В І Д Г У К
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА
НА ДИСЕРТАЦІЙНУ РОБОТУ ЧЕРВОТОКИ ОЛЕГА ВІКТОРОВИЧА «ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТА КОГНІТИВНОЇ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

1. Актуальність теми дисертації

Сучасний розвиток лабораторних випробувань характеризується істотним ускладненням вимірювального середовища, збільшенням кількості сенсорних каналів, переходом до розподілених інформаційно-вимірювальних систем та широким застосуванням інтелектуальних методів обробки даних. Водночас із метрологічної точки зору саме збільшення обсягу вимірювальної інформації не гарантує підвищення якості результатів вимірювань. Для випробувальних лабораторій визначальними залишаються точність, відтворюваність, метрологічна простежуваність, достовірність результатів та їх стійкість до впливу шумів, аномальних значень і змін режимів функціонування вимірювальної системи.

У цьому контексті тема дисертаційної роботи Червотоки О.В. є актуальною, оскільки присвячена розв'язанню важливої науково-практичної задачі, що знаходиться на стику метрології, інформаційно-вимірювальної техніки та інтелектуальної обробки даних. На відміну від традиційних підходів, у роботі запропоновано інформаційно-вимірювальну технологію лабораторних випробувань, у якій інтелектуальне вимірювання, когнітивна обробка результатів та адаптивна реконфігурація сенсорної мережі розглядаються як взаємопов'язані засоби забезпечення якості вимірювальної інформації.

Актуальність дослідження зумовлена також тим, що в реальних умовах функціонування випробувальних лабораторій результати вимірювань формуються за наявності метрологічного шуму, нестабільності окремих вимірювальних каналів, локальних відхилень параметрів та інших факторів, які негативно впливають на точність і повторюваність вимірювань. За таких умов традиційні методи накопичення, усереднення або фільтрації даних не завжди забезпечують отримання метрологічно обґрунтованих результатів. Це обумовлює необхідність застосування інтелектуальних методів, здатних оцінювати інформативність і надійність окремих вимірювальних каналів, адаптивно враховувати їх внесок у формування кінцевого результату та підтримувати метрологічну простежуваність отриманих оцінок.

Запропонована у дисертації інформаційно-вимірювальна технологія відповідає сучасним тенденціям розвитку цифрової метрології та інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем, оскільки спрямована на

підвищення точності, відтворюваності, достовірності та метрологічної простежуваності результатів лабораторних випробувань, а також забезпечує підвищення ефективності когнітивної обробки вимірювальної інформації в умовах невизначеності та змінного вимірювального середовища.

2. Наукова новизна

У результаті проведеного дослідження здобувачем отримано наукові результати, які мають значення для розвитку інформаційно-вимірювальних технологій лабораторних випробувань, зокрема в частині забезпечення якості вимірювальної інформації в розподілених сенсорних мережах.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні методів і моделі, в яких інтелектуальні процедури вимірювання, когнітивної обробки і реконфігурації сенсорної мережі підпорядковані метрологічній меті – підвищенню точності, відтворюваності й трасованості вимірювальних результатів та достовірності їх обробки у складних умовах функціонування вимірювального середовища.

У роботі вперше розроблено метод інтелектуального вимірювання в сенсорних мережах лабораторних випробувань на основі формалізованого механізму локального та глобального зважування вимірювальних коефіцієнтів шляхом використання бутстрепової агрегації за рахунок прогнозування вибірок, що дозволило забезпечити стійкість інтегрального результату вимірювання до впливу метрологічного шуму та аномалій і підвищити точність та відтворюваність результатів інтелектуальних вимірювань. З метрологічної точки зору цінність цього результату полягає в тому, що вимірювальна інформація оцінюється з урахуванням впливу метрологічного шуму, аномалій та різної інформативності окремих каналів.

Вперше розроблено метод когнітивної обробки результатів інтелектуальних вимірювань на основі дворівневого зважування за рахунок когнітивного агрегування, інтегрованого з онтологічною інтерпретацією шляхом урахування метрологічних вимог, що дозволило підвищити достовірність результатів обробки. Наукове значення цього результату полягає у переході від формальної обробки вимірювальних даних до їх змістовної інтерпретації в контексті стану сенсорної мережі та вимог до результату вимірювання.

Удосконалено модель когнітивної реконфігурації сенсорної мережі на основі дворівневого інтелектуального зважування вимірюваних параметрів за рахунок когнітивного управління, що дозволило підвищити точність і трасованість результатів вимірювань при забезпеченні адаптивності на всіх етапах замкненого інформаційно-вимірювального циклу OODA. Важливість цього результату полягає в тому, що реконфігурація сенсорної мережі розглядається як складова замкненого інформаційно-вимірювального циклу, спрямована на підтримання точності, трасованості та адаптивності вимірювань на відміну від суто технічного переналаштування її структури.

3. Практична цінність роботи

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у доведенні інформаційно-вимірювальної технології лабораторних випробувань до рівня алгоритмічного

забезпечення, структурно-функціональних і системотехнічних рішень, придатних для використання під час проєктування та реалізації інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем на основі сенсорних мереж. Отримані результати можуть бути використані в інженерній практиці інформаційно-вимірювального забезпечення лабораторних випробувань, зокрема для підвищення точності, відтворюваності, трасованості та достовірності результатів вимірювання в умовах функціонування розподілених сенсорних мереж.

З практичної точки зору важливим результатом роботи є розроблення алгоритмічного забезпечення блоку інтелектуального вимірювання в сенсорній мережі лабораторних випробувань. Його застосування дає змогу визначати локальні та глобальні вагові коефіцієнти, знижувати вплив метрологічного шуму й аномалій та формувати більш стійкий інтегральний результат вимірювання.

Окрему практичну цінність має алгоритмічне забезпечення блоку когнітивної обробки результатів інтелектуальних вимірювань. Воно забезпечує когнітивне агрегування вимірювальної інформації, її онтологічну інтерпретацію та формування підґрунтя для прийняття рішень щодо реконфігурації сенсорної мережі. Завдяки цьому результати вимірювання можуть розглядатися як інформаційна основа для оцінювання стану вимірювального середовища та підтримання належної якості випробувального процесу.

Практично значущим є також розроблення інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи лабораторних випробувань на основі адаптивно реконфігурованої сенсорної мережі. Запропонована системна реалізація поєднує процедури інтелектуального вимірювання, когнітивної обробки, прийняття рішень і реконфігурації сенсорної мережі в межах замкненого інформаційно-вимірювального циклу, що створює основу для побудови лабораторних систем, здатних адаптуватися до поточного стану сенсорної мережі та підтримувати необхідний рівень точності, достовірності й трасованості результатів вимірювання.

Розроблені структурно-функціональні рішення та алгоритмічні процедури можуть бути використані під час моделювання, проєктування, впровадження та подальшого удосконалення автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем лабораторних випробувань. Практична спрямованість роботи підтверджується доведенням отриманих результатів до рівня структурно-функціональних схем, алгоритмів, сценаріїв натурного стендового експерименту та матеріалів впровадження.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено в діяльність ТОВ “МОРОЗ ТЕХ”, а також у навчальний процес Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького, що підтверджується відповідними актами впровадження.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі Червотоки О.В., що стосуються розроблення методу

інтелектуального вимірювання в сенсорних мережах лабораторних випробувань, методу когнітивної обробки результатів інтелектуальних вимірювань та удосконалення моделі когнітивної реконфігурації сенсорної мережі, є логічно послідовними, науково обґрунтованими і не викликають сумнівів.

Обґрунтованість наукових положень забезпечується коректною постановкою науково-практичної задачі, чітким визначенням об'єкта, предмета, мети та задач дослідження, а також узгодженістю між сформульованими задачами і запропонованими шляхами їх вирішення. У роботі послідовно розкрито перехід від аналізу обмежень існуючих інформаційно-вимірювальних систем лабораторних випробувань до формування власних методів і моделі, спрямованих на підвищення точності, відтворюваності, трасованості та достовірності результатів вимірювання.

Наукова обґрунтованість отриманих результатів також забезпечується використанням сучасного наукового апарату, зокрема положень теорії вимірювань, системного аналізу, математичного моделювання, інтелектуального вимірювання, когнітивної обробки даних, алгоритмізації та формалізації процесів функціонування сенсорних мереж.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням у галузі метрології та інформаційно-вимірювальної техніки. Висновки до розділів і загальні висновки дисертації логічно випливають із викладеного матеріалу, відповідають поставленій меті та задачам дослідження, а сформульовані наукові положення і рекомендації мають належний рівень обґрунтованості.

5. Достовірність результатів дисертації

Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі Червотоки О.В., що стосуються розроблення методу інтелектуального вимірювання в сенсорних мережах лабораторних випробувань, методу когнітивної обробки результатів інтелектуальних вимірювань та удосконалення моделі когнітивної реконфігурації сенсорної мережі, є логічно послідовними, науково обґрунтованими і не викликають сумнівів.

Обґрунтованість наукових положень забезпечується коректною постановкою науково-практичної задачі, чітким визначенням об'єкта, предмета, мети та задач дослідження, а також узгодженістю між сформульованими задачами і запропонованими шляхами їх вирішення.

У роботі послідовно розкрито перехід від аналізу обмежень існуючих інформаційно-вимірювальних систем лабораторних випробувань до формування власних методів і моделі, спрямованих на підвищення точності, відтворюваності, трасованості та достовірності результатів вимірювання. Наукова обґрунтованість отриманих результатів також забезпечується використанням сучасного наукового апарату, зокрема положень теорії вимірювань, системного аналізу, математичного моделювання, інтелектуального вимірювання, когнітивної обробки даних, алгоритмізації та формалізації процесів функціонування сенсорних мереж.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням у галузі

метрології та інформаційно-вимірювальної техніки. Висновки до розділів і загальні висновки дисертації логічно випливають із викладеного матеріалу, відповідають поставленій меті та задачам дослідження, а сформульовані наукові положення і рекомендації мають належний рівень обґрунтованості.

6. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях не викликає сумнівів.

За темою дисертації здобувачем опубліковано 10 наукових праць, серед яких 3 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б», 2 статті у наукових виданнях, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus, а також 5 публікацій у матеріалах міжнародних і всеукраїнських науково-технічних та науково-практичних конференцій.

Опубліковані праці повністю відповідають тематиці дисертації, відображають її основні наукові результати, характеризують рівень наукової новизни, практичної цінності та апробації отриманих результатів.

Основні положення дисертаційної роботи достатньою мірою висвітлені в опублікованих працях, що відповідає чинним вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

7. Структура дисертації та зміст її підрозділів

Дисертаційна робота викладена на 173 сторінках основного тексту та складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Структура дисертації є логічною, внутрішньо узгодженою та повністю відповідає поставленій меті й завданням дослідження. Побудова роботи забезпечує послідовний перехід від аналізу сучасного стану інформаційно-вимірювальних технологій лабораторних випробувань до розроблення нових методів, їх системної інтеграції та експериментального підтвердження ефективності.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено об'єкт, предмет, мету й завдання роботи, наведено методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, висвітлено питання апробації, публікацій і особистого внеску здобувача. Зміст вступу відповідає встановленим вимогам до дисертаційних досліджень і забезпечує необхідне методологічне підґрунтя для подальшого викладення матеріалу.

У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз сучасного стану інформаційно-вимірювальних технологій лабораторних випробувань, розглянуто особливості їх метрологічного забезпечення, сучасні архітектурні рішення та нормативні вимоги. На основі критичного аналізу існуючих підходів автором обґрунтовано необхідність створення інформаційно-вимірювальної технології, здатної забезпечувати високу точність, відтворюваність, метрологічну простежуваність і адаптивність результатів вимірювань.

Другий розділ присвячено розробленню методу інтелектуального вимірювання в сенсорних мережах лабораторних випробувань. Послідовно сформовано модель впливу метрологічного шуму та аномалій, визначено структуру вхідних даних, формалізовано метод і алгоритм його реалізації, а

також наведено результати експериментальної та порівняльної перевірки. Розділ формує перший основний науковий результат дисертації та закладає методичну основу подальших досліджень.

У третьому розділі розроблено метод когнітивної обробки результатів інтелектуальних вимірювань. Автором послідовно побудовано модель інформаційної взаємодії між результатами вимірювань і когнітивним рівнем їх інтерпретації, формалізовано метод когнітивної обробки, запропоновано модель узагальнення та інтерпретації вимірювальної інформації, а також виконано експериментальну перевірку її ефективності. Важливою особливістю розділу є поєднання інтелектуальної обробки даних із метрологічними вимогами до якості результатів вимірювань.

Четвертий розділ має узагальнювальний і системотехнічний характер. У ньому запропоновано модель адаптивної реконфігурації сенсорної мережі, розроблено структурно-функціональну організацію інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи та досліджено її функціонування в замкненому циклі вимірювання й адаптивного керування. Завершує розділ експериментальна перевірка системної реалізації, яка підтверджує можливість інтеграції запропонованих методів у єдину інформаційно-вимірювальну технологію лабораторних випробувань.

Загальні висновки логічно узагальнюють результати проведеного дослідження, відображають ступінь досягнення поставленої мети та розв'язання визначених наукових завдань.

Додатки містять матеріали, що підтверджують практичну цінність роботи, зокрема документи про впровадження результатів дослідження, алгоритмічне забезпечення запропонованих методів, матеріали натурних стендових експериментів, а також перелік наукових публікацій та відомості про апробацію результатів дисертації. Їх зміст органічно доповнює основний текст роботи та підтверджує завершеність проведеного дослідження.

.

8. Зауваження по дисертаційній роботі

1. У підрозділі 1.4 на стор. 39 розглянуто обмеження існуючих методів та інформаційно-вимірювальних систем лабораторних випробувань. Для посилення логічного переходу від аналітичного огляду до постановки науково-практичної задачі доцільно було б окремо акцентувати, які з виявлених обмежень мають суто інформаційно-технологічну природу, а які безпосередньо впливають на метрологічну якість результату вимірювання.

2. У формулі (2.4) на стор. 50 запропоновано модель впливу факторів похибок в умовах лабораторних випробувань, де враховано калібрувальний зсув, дрейф, інструментальний шум, зовнішні фактори, повторюваність та аномалії. Додаткове пояснення щодо розподілу зазначених складових за окремими класами: властивості конкретного сенсора, умови випробувального середовища, процедури проведення випробувань полегшило б використання моделі у разі її практичного застосування для оцінювання невизначеності, наприклад під час

побудови бюджету невизначеності.

3. На рисунку 2.2 (стор. 58) наведено структурно-логічну схему методу інтелектуального вимірювання з п’ятьма взаємопов’язаними етапами, яка достатньою мірою відображає алгоритмічну логіку методу, однак для більшої очевидності метрологічної ролі доцільно було б додатково позначити, на яких саме етапах відбувається метрологічна оцінка якості даних, а на яких – суто інформаційна або статистична обробка.

4. У підрозділі 3.1 на стор. 78 мінімальний набір вхідних даних для когнітивної обробки визначено через початковий вектор спостережень і вектор локальних вагових коефіцієнтів. З позицій метрологічної простежуваності доцільно було б додатково уточнити межі достатності такого набору для різних режимів лабораторних випробувань, а також зазначити, у яких випадках доцільним є залучення калібрувального статусу сенсорного каналу, часової прив’язки вимірювання та ознаки чинності метрологічних даних.

5. У формулі (3.22) на стор. 88 для формування пріоритету реконфігурації використано критерій, пов’язаний із середньоквадратичною помилкою прогнозованої зміни точності або ефективності вимірювального процесу. Доцільно було б ширше прокоментувати можливість урахування вимог до метрологічної трасованості та відтворюваності під час застосування цього критерію для ширшого кола ситуацій і окремих нетипових випадків.

6. На стор. 115 під час опису структурно-функціональної організації системи наведено можливі сенсорні канали, зокрема температурні, вологісні, вібраційні, акселерометричні та гіроскопічні. Доцільно було б додатково подати узагальнений метрологічний профіль таких каналів із зазначенням діапазону вимірювання, допустимої похибки, дискретності, частоти опитування, калібрувального інтервалу, чутливості до зовнішніх впливів тощо, що полегшило б зіставлення загальної структурно-функціональної організації системи з конкретним профілем експериментальної реалізації, описаним на стор. 132.

7. У таблиці 4.4 на стор. 137 наведено порівняння натурного та симуляційного експериментів. Доцільно було б дещо розширити інтерпретацію відхилень між ними, зокрема за показниками MAE та середнього часу реконфігурації, з метою повнішого пояснення внеску фізичного середовища, затримок передавання даних і нестабільності каналів зв’язку у відмінності між симуляційними та натурними результатами.

Вказані зауваження мають рекомендаційний характер, не стосуються принципових положень дисертаційної роботи, не зменшують значимість отриманих наукових результатів і не знижують загальної позитивної оцінки.

9. Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України

Дисертаційна робота Червотоки Олега Вікторовича «Інформаційно-вимірювальна технологія лабораторних випробувань на основі інтелектуального вимірювання та когнітивної обробки результатів» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності мають значення для розвитку метрології та інформаційно-

вимірювальної техніки та вирішують важливу науково-практичну задачу підвищення точності, відтворюваності та метрологічної трасованості вимірювань, а також інтегральної достовірності результатів когнітивної обробки при забезпеченні адаптивності на всіх етапах замкненого інформаційно-вимірювального циклу.

Враховуючи, що дисертаційна робота Червотоки О.В. за актуальністю теми, ступенем обґрунтованості наукових положень, науковою новизною, практичним значенням, структурою та повнотою викладення основних результатів у наукових публікаціях 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, а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40, робота заслуговує позитивної оцінки.

На підставі вищезазначеного вважаю, що автор дисертації Червотока Олег Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
заслужений працівник сфери послуг України,
професор кафедри метрології, якості та стандартизації
Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку

Леонід КОЛОМІЄЦЬ

Начальник ВІДДІЛ КАДРІВ