

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента **Мощенко Інни Олексіївни**, к.т.н., старшого викладача кафедри
інформаційно-вимірювальних технологій

Харківського національного університету радіоелектроніки

на дисертаційну роботу **Семеніхіна Валерія Сергійовича** за темою:

**«Удосконалення методик калібрувань засобів вимірювання та відтворення
електричного опору»**,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування

1. Актуальність та обґрунтування вибору теми дослідження

Актуальність теми дисертаційного дослідження Семеніхіна В.С. зумовлена все більш зростаючим доступом користувачів до засобів вимірювальної техніки, зокрема у сфері вимірювання електричного опору, для яких необхідно ефективно забезпечувати простежуваність вимірювань для впевненості у результатах вимірювань та їх визнання.

Незважаючи на наявність великої кількості методик калібрування засобів вимірювальної техніки електричного опору в багатьох з них відсутні процедури оцінювання невизначеності вимірювань або не розглянуті специфічні особливості під час калібрування цих засобів вимірювань. У зв'язку з цим у дисертації було поставлено науково-практичну задачу щодо розробки процедур оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування засобів вимірювання та відтворення електричного опору на основі методу ексцесів з урахуванням всіх особливостей даного типу засобів вимірювання.

Отже, вважаю, що дисертаційна робота Семеніхіна В.С., яка присвячена удосконаленню методик калібрувань засобів вимірювання та відтворення електричного опору є актуальною та доцільною, адже вона спрямована на вирішення науково-практичного завдання розробки процедур оцінювання невизначеності вимірювань для існуючих методів калібрування засобів

вимірювання та відтворення електричного опору на основі методу ексцесів з урахування особливостей цих вимірювань.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та оформлення

Дисертація має наступну структуру: вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел, додатки.

У *першому розділі* наведено класифікацію засобів вимірювання та відтворення значень електричного опору та проаналізовано їх особливості, розглянуто і систематизовано основні етапи калібрування засобів вимірювання та їх особливості, проаналізовано існуючі методи калібрування засобів вимірювання та відтворення значень електричного опору. Проведено аналіз методів оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування засобів вимірювання, розглянуто особливості та недоліки існуючих методів і запропоновано застосування методу ексцесів для оцінювання невизначеності з метою усунення розбіжностей між існуючими методами під час оцінювання невизначеності.

У *другому розділі* наведено розроблені здобувачем на основі методу ексцесів процедури оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування мір електричного опору. Представлено результати дослідження невизначеності вимірювань під час калібрування мір електричного опору з використанням цифрового омметра, потенціометра та компаратора, для кожної процедури розроблено бюджет невизначеності та проведено розрахунок невизначеності з використанням методу ексцесів. Результати перевірено шляхом порівняння з оцінками розширеної невизначеності, отриманими методом Монте-Карло.

У *третьому розділі* наведено розроблені здобувачем на основі методу ексцесів процедури оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування омметрів. Розглянуто особливості калібрування аналогових омметрів з нелінійною шкалою, запропоновано алгоритм оцінювання числового значення вимірюваного опору за нелінійною шкалою омметра. Розглянуто всі суттєві складові невизначеності під час калібрування аналогових омметрів.

Розроблено алгоритм ідентифікації не поліноміальних калібрувальних залежностей, що приводяться до лінійних залежностей методом заміни змінних.

У четвертому розділі здобувачем розглянуто основні засади процесу відтворення одиниці електричного опору за допомогою еталона Ома на квантовому ефекті Холла і масштабування одиниці електричного опору для подальшої передачі робочим еталонам. Представлено процедуру оцінювання відповідності засобів вимірювань метрологічним вимогам за результатами їх калібрування. Проведено аналіз існуючих методів корегування міжкалібрувальних інтервалів та запропоновано удосконалений підхід до їх корекції.

Вважаю, що дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», який затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44) та «Вимогам до оформлення дисертації», які затверджено Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами

Дисертаційна робота виконана в рамках в рамках НДДКР 20-04 (державний реєстраційний номер 0121U107763) «Розробка процедур систем управління калібрувальної лабораторії», яка виконувалась Харківським національним університетом радіоелектроніки для ТОВ ««Калібрувальна лабораторія «Метрологія». Автор брав у них участь як безпосередній виконавець.

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

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій у роботі забезпечено застосованими методами математичної

статистики, теорії вимірювань для подання результатів оцінювання невизначеності вимірювань під час виконання метрологічних робіт за удосконаленими методиками калібрування та процедурами оцінювання невизначеності вимірювань; методами статистичного моделювання під час перевірки достовірності результатів.

Також, обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується результатами моделювань та проведених практичних експериментів, які враховують усі основні фактори впливу. Запропоновані удосконалення щодо оцінювання невизначеності були порівняні з існуючими методами оцінювання невизначеності та показали високий рівень збігу.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

Матеріали дисертації досить повно викладено у 17 наукових працях автора за темою дисертації, зокрема 7 статей (індексуються у Web of Science) з них – 6 статей у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, 1 стаття у закордонному виданні (США), наявними є 10 тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій (з них 3 індексуються у Scopus).

Здобувач на основі своїх досліджень отримав наступні нові наукові результати:

1) Вперше обґрунтована доцільність використання методу ексцесів для отримання оцінок розширеної невизначеності вимірювань під час калібрування засобів вимірювання та відтворення електричного опору;

2) Удосконалено існуючі методики калібрування засобів вимірювання та відтворення значень електричного опору в частині оцінювання невизначеності вимірювань на основі методу ексцесів;

3) Вперше розроблена методика ідентифікації не поліноміальних калібрувальних залежностей з урахуванням інструментальних невизначеностей засобів вимірювальної техніки;

- 4) Вперше розроблено алгоритм і методика компенсації похибок відліку під час калібрування аналогових омметрів з нелінійною шкалою;
- 5) Отримала подальший розвиток методика корегування міжкалібрувального інтервалу засобів вимірювань за результатами їх попередніх калібрувань;
- 6) Удосконалена методика оцінювання ймовірності відповідності відкаліброваних засобів вимірювання вимогам технічної або нормативної документації.
- 7) Удосконалені процедури валідації методик калібрування мір електричного опору та омметрів постійного струму.

6. Практичне значення одержаних результатів

Одержані в дисертації результати можуть бути використані під час розробки і впровадження методик калібрування засобів вимірювання на основі методу ексцесів, автоматизації розрахунків під час оцінювання невизначеності на базі розроблених бюджетів невизначеності, а також для розробки процедур валідації методик калібрування, визначення відповідності засобів вимірювання за результатами їх калібрувань і корегування міжкалібрувального інтервалу.

Це підтверджено використанням результатів дисертаційної роботи під час розробки методики визначення міжкалібрувального інтервалу та методики оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування ЗВТ для ТОВ «Калібрувальна лабораторія «Метрологія» в рамках НДДКР і розробленні методик калібрування омметрів та мір електричного опору для калібрувальної лабораторії ПП «НВЦ ОВ «Юг», також впровадженням методики ідентифікації не поліноміальної калібрувальної залежності з урахуванням інструментальних невизначеностей ЗВТ в навчальний процес на кафедрі ІВТ ХНУРЕ, де вона використовується під час виконання курсової роботи за дисципліною «Основи метрології та вимірювальних технологій».

7. Дотримання академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертації та публікацій автора порушення

академічної доброчесності не виявлено.

8. Зауваження до змісту дисертації

Дисертація є достатньо вагомою науковою працею, спрямована на розв'язання актуальних прикладних задач, але не позбавлена деяких недоліків. Серед недоліків слід відзначити наступні:

1) На стор. 46 у пункті 5 списку неузгоджене речення «...як оцінка вихідної величини буде змінюється зі зміною оцінки вхідних величин та знаходиться...».

2) На стор. 49 у п. 1.3.1 при вказанні діапазону «від 10^{-5} до 10^9 » не вказано одиниці вимірювань – потрібно додати Ом.

3) На стор. 76 у таблиці 2.3 в коефіцієнті чутливості фігурують Кельвіни, а у вхідній величині Цельсій – незрозуміло чи це правильно вказано, чи є помилкою.

4) Застосування розмірності для температурного коефіцієнту опору потребує пояснення, оскільки на стор. 75 він має розмірність $1/K$, а на стор.94 – $1/^\circ C$.

5) На стор. 96 результат розрахунку сумарної стандартної невизначеності виражений в одиницях вимірювання в квадраті – $мОм^2$.

6) На рисунках 3.3 – 3.7, 4.1 на координатних осях повинні бути наведені одиниці вимірювання величин.

7) Стор. 111 пункт висновків 7. Написано, що похибка інтерполяції може досягати 81 %. Доречно вказати, що саме -81 %.

8) У табл. 4.15 – 4.17 потужність вказана у Вольтах.

Проте, виявлені недоліки жодним чином не впливають на високу оцінку дисертації як наукової роботи.

9. Загальні висновки щодо дисертації

Вважаю, що дисертаційна робота Семеніхіна Валерія Сергійовича на тему: «Удосконалення методик калібрувань засобів вимірювання та відтворення електричного опору», представлена на здобуття ступеня доктора

філософії зі спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування, являє собою завершене самостійно виконане дослідження, яке виконано на належному рівні.

В дисертації розв'язано важливу науково-практичну задачу, що полягає в удосконаленні методик калібрування засобів вимірювання та відтворення електричного опору на основі методу ексцесів та врахування під час оцінювання невизначеності всіх складових, що мають місце при калібруванні мір електричного опору і омметрів, а також в цілому підвищення ефективності і якості калібрувальних робіт за рахунок удосконалення існуючих методик калібрування, розрахунку невизначеності, корегування міжкалібрувального інтервалу і оцінювання відповідності засобів вимірювань технічній документації.

З вищевказаного, вважаю, що здобувач Семеніхін Валерій Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Рецензент:

старший викладач кафедри
інформаційно-вимірвальних технологій
Харківського національного університету
радіоелектроніки, к.т.н.



Інна МОЩЕНКО

Підпис Мощенко І. О. засвідчую
Учений секретар



Ірина ЖАРІКОВА