

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Семеніхіна Валерія Сергійовича
**„Удосконалення методик калібрувань засобів вимірювання
та відтворення електричного опору”,**

представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування,
виконаної під науковим керівництвом доктора технічних наук, професора
Захарова Ігора Петровича

Відгук приготовлено на підставі Наказу №130 від 30.04.2024 р.
затвердженого в.о. ректора Харківського національного університету
радіоелектроніки д.т.н., проф. І. Рубаном „Про утворення разової спеціалізованої
вченої ради з правом прийняття до розгляду та проведення разового захисту
дисертації здобувача з метою присудження ступеня доктора філософії”

Дисертаційна робота має загальний обсяг 174 сторінки і містить титульну
сторінку, анотації українською та англійською мовами, зміст, перелік умовних
позначень, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел зі 102
позицій та два додатки: А (Список публікацій здобувача за темою дисертації) та
Б (довідки впровадження результатів дисертації).

ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА РОБОТИ

Оцінка актуальності теми

Актуальність дисертаційного дослідження Семеніхіна В.С.
підкреслюється зростаючими вимогами до точності та достовірності
результатів електричних вимірювань і необхідності дослідження питань
метрологічної простежуваності результатів вимірювання. Автор
зосереджується на сфері вимірювання електричного опору, роблячи акцент на

процедурах оцінювання невизначеності вимірювань, які мають свої особливості в цій галузі.

У дисертації поставлено науково-технічну задачу розробки процедур оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні засобів вимірювання та відтворенні електричного опору на основі методу ексцесів.

Дисертаційна робота Семеніхіна В.С. є актуальною та доцільною, адже вона спрямована на вирішення науково-практичного завдання розробки процедури оцінювання невизначеності вимірювань для існуючих методів калібрування засобів вимірювання та відтворення електричного опору з урахування особливостей цих методів вимірювань на основі методу ексцесів з подальшою експериментальною перевіркою розроблених методик.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

При вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач, створенні наукових положень, висновків та рекомендацій здобувачем застосовані методи математичної статистики при удосконаленні існуючих методів опрацювання результатів та оцінювання невизначеності вимірювань, теорії вимірювань для розробки прикладних аспектів оцінювання невизначеності вимірювань при виконанні метрологічних робіт; методів статистичного моделювання при перевірці достовірності результатів. Вважаю, що створенні наукові положення, висновки та рекомендації можна вважати достатньо обґрунтованими.

Крім того, обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі підтверджується результатами моделювань та проведених практичних експериментів.

Достовірність результатів досліджень

Достовірність результатів теоретичних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій представлених у дисертації підтверджена результатами теоретичних та експериментальних досліджень, коректним застосуванням математичного апарату, сучасних методів моделювання, а саме

експериментально та за допомогою численного моделювання отримані результати оцінок невизначеності вимірювання перевірено шляхом порівняння із результатами отриманих методом Монте-Карло.

До наукової новизни результатів дисертації слід віднести наступне:

- вперше обґрунтована доцільність використання методу ексцесів для отримання оцінок розширеної невизначеності вимірювань під час калібрування засобів вимірювання та відтворення електричного опору;
- удосконалені існуючі методики калібрування засобів вимірювання та відтворення значень електричного опору шляхом впровадження оцінювання невизначеності вимірювань на основі методу ексцесів;
- вперше розроблена методика ідентифікації не поліноміальних калібрувальних залежностей з урахуванням інструментальних невизначеностей засобів вимірювальної техніки;
- вперше розроблена методика компенсації похибок відліку при калібруванні аналогових омметрів з нелінійною шкалою, яка також може бути застосована для інших приладів з нелінійною шкалою;
- отримала розвиток методика корегування міжкалібрувального інтервалу ЗВТ за результатами їх перекалібрувань;
- удосконалена методика оцінювання ймовірності відповідності відкаліброваних засобів вимірювання та відтворення значень електричного опору вимогам технічної документації.

Крім того, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується результатами моделювань та практичними результатами, які підтверджуються наведеними довідками впровадження.

Практичне значення отриманих результатів

На основі методу ексцесів розроблені бюджети невизначеності вимірювань, які можуть бути основою для створення програмних засобів для автоматизації оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні всіма запропонованими методами калібрування ЗВТ електричного опору.

Удосконалені процедури валідації методик калібрування мір електричного опору та омметрів постійного струму.

Запропоновано алгоритм порівняння значень розширеної невизначеності, отриманих методом ексцесів з результатами, розрахованими веб-додатком NIST Uncertainty Machine для відсутнього в ньому рівня довіри 0,9545.

Результати дисертаційного дослідження були використані в рамках НДДКР 20-04 (державний реєстраційний номер 0121U107763), а саме розроблено методику визначення міжкалібрувального інтервалу та методику оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування ЗВТ для ТОВ «Калібрувальна лабораторія «Метрологія».

Також результати дисертаційного дослідження були впроваджені при розробці методики калібрування омметрів та мір електричного опору для калібрувальної лабораторії Приватного підприємства «Науково-виробничий центр оцінки відповідності «Юг», а методика ідентифікації не поліноміальної калібрувальної залежності з урахуванням інструментальних невизначеностей ЗВТ була впроваджена в навчальний процес на кафедрі ІВТ ХНУРЕ, де вона використовується під час виконання курсової роботи за дисципліною «Основи метрології та вимірювальних технологій».

Таким чином, результати виконання дисертаційної роботи можуть бути використані як в науковій і освітній діяльності, та і у практичній діяльності з калібрування ЗВТ.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Результати досліджень опубліковані у 17 друкованих працях, серед яких: 7 статей у наукових періодичних фахових виданнях проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та 10 – у матеріалах апробаційного характеру (3 проіндексовані у базах даних Scopus), які подані у додатку А. Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Основні положення і результати дисертаційної роботи обговорювались на наступних конференціях:

- XXXIII, XXXII Міжнародних наукових симпозіумах “International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)” (Созопол, Болгарія, 2023, 2022);
- XIX Міжнародному науковому і технічному семінарі “Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects” (Софія, Болгарія, 2022);
- XVIII Міжнародному науковому і технічному семінарі “Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects” (Харків, 2021);
- 13-й Міжнародній конференції з вимірювань “2021 13th International Conference on Measurement” (Братіслава, Словачія, 2021);
- VIII Міжнародній науково-технічній конференції “Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи (MIBTC-2021)” (Харків, 2021);
- 25-му і 24-му Міжнародному молодіжному форуму “Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті” (Харків, 2021, 2020);
- XII Міжнародній науково-технічній конференції “Метрологія та вимірювальна техніка” (“МЕТРОЛОГІЯ–2020”), (Харків, 2020).

Таким чином, дотримано вимоги Постанови КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» до кількості публікацій виконано.

ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтована актуальність вирішення поставленої задачі дослідження. Визначено об'єкт, предмет, задачі та методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, висвітлено особистий внесок здобувача.

У *першому розділі* проведено аналіз існуючих методів калібрування засобів вимірювання та відтворення електричного опору, розглянуто класифікацію цих засобів вимірювання та відтворення, наведено основні етапи

калібрування. Проведено порівняльний аналіз методів оцінювання невизначеності вимірювань, а саме розглянуто базовий алгоритм GUM та його недоліки, реалізацію методу Монте-Карло для оцінювання невизначеності вимірювань і запропоновано застосування методу ексцесів для отримання достовірних оцінок невизначеності вимірювань під час калібрування ЗВТ.

У *другому розділі* запропоновано розроблені здобувачем процедури оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні мір електричного опору розроблені на основі методу ексцесів. Для кожної процедури здобувачем складено бюджет невизначеності, проведено експериментальне дослідження невизначеності вимірювань, яка оцінювалась при калібрування мір електричного опору на основі методу ексцесів, проведено порівняння отриманих результатів з оцінками розширеної невизначеності, які отримують методом Монте-Карло.

У *третьому розділі* запропоновано розроблені здобувачем процедури оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні омметрів постійного струму розроблені на основі методу ексцесів. Наведено алгоритм калібрування аналогових омметрів з нелінійною шкалою та розглянуто всі суттєві складові невизначеності при калібруванні аналогових омметрів; ідентифікацію не поліноміальної калібрувальної залежності з урахуванням інструментальних невизначеностей вимірювальних приладів електричного опору; валідацію методик калібрувань омметрів постійного струму.

У *четвертому розділі* здобувачем розглянуто особливості забезпечення метрологічної простежуваності вимірювань електричного опору в Україні. Наведено процедуру оцінювання відповідності ЗВТ електричного опору метрологічним вимогам за результатами їх калібрування. Розглянуто існуючі методи корекції міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювань та запропоновано удосконалений підхід до корекції міжкалібрувальних інтервалів.

У *висновках* до розділів та за результатами роботи сформульовані основні результати дисертаційної роботи.

Список використаних джерел складається зі 102 найменувань і включає як вітчизняні так і зарубіжні публікації, які стосуються теми роботи.

Анотація коректно і достатньо повно відображає основні положення дисертації.

Робота написана на хорошому мовно-стилістичному рівні.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Семеніхіна Валерія Сергійовича повністю відповідає Стандарту освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії зі спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування та напрямкам досліджень відповідно до третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Академічна доброчесність

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

На основі детального ознайомлення зі змістом, висновками та публікаціями можна виділити наступні зауваження і недоліки представленої дисертаційної роботи:

1. За своїм обсягом 1-й розділ становить близько 36% всього тексту дисертації, враховуючи лише матеріал 4-х розділів. Він перевантажений великою кількістю загальновідомого матеріалу, який детально описано практично у всіх підручниках з методів та засобів вимірювань.

2. У підрозділі 1.2 „Основні етапи калібрування ЗВТ” забракло означення одного з найбільш важливих щодо теми цієї дисертації терміну „Калібрування”.

3. У 1-му розділі слід було представити методику оцінювання невизначеності калібрування засобів з функційною залежністю, принаймні лінійною та параболічною.

4. У пункті 1.4.3 глибоко не проаналізовано результати досліджень інших авторів стосовно використання ексцесу для опрацювання результатів вимірювань, у т.ч. оцінювання довірчих інтервалів.

5. З аналізу виразу (2.4), а також з бюджету невизначеності (Таблиця 2.1) виходить, що температурний коефіцієнт міри опору (магазину) відомий абсолютно точно, або його невизначеністю порівняно з іншими складовими можна знехтувати. Чи це завжди так? Про це слід було оговорити у роботі.

6. Згідно вимог GUM числові значення невизначеності в результатах переважно представляються максимально 2-ма значущими цифрами. На стор.76 стандартна невизначеність представлена 4-ма значущими цифрами, а розширена у Таблиці 2.3, 2.5, 3.2, 3.3 – 3-ма цифрами. Подібно представлені числові значення невизначеності на стор. 82, 87.

7. Прийнята термінологія „омметр постійного струму” за своїм змістом трохи дивна. Амперметр постійного струму – зрозуміло, а омметр постійного струму?

8. Назва пункту 3.1 „Процедура оцінювання невизначеності прямих вимірювань омметром, що калібрується еталонної міри електричного опору” не цілком коректна. Правильніше мало б бути: 3.1 „Процедура оцінювання невизначеності прямих вимірювань еталонної міри електричного опору омметром, що калібрується”.

9. На стор. 43 у пункті 4 назва „Верифікація (валідація) методик калібрування” виглядає не цілком коректно, оскільки запис у дужках означає, що це різні назви однієї і тієї ж процедури але це різні процедури, тому їх слід було розділити, тобто у назві дужки не є коректними. Цей підхід також стосується пункту 4.5 розділу 4.

10. Матеріал у пункті 3.2.2 Ідентифікація не поліноміальної калібрувальної залежності з урахуванням інструментальних невизначеностей вимірювальних приладів електричного опору в основній частині є відтворенням оцінювання невизначеності коефіцієнтів та самої лінійної залежності за допомогою класичного МНК. Як добре відомо, класичний МНК базує на врахування випадкових впливів лише у вихідній величині. Натомість вплив

випадкових змін у вхідній величині класичний МНК не враховує. Само собою у такому МНК не враховуються нескориговані систематичні впливи у вхідній та вихідній величинах. Для цього були запропоновані різні методи, що описані у низці публікацій.

11. З описаного у пункті 3.2.2 алгоритму оцінювання не зрозуміло, чи він враховує факт, що МДП (максимально допустимі похибки) засобів можуть бути описані не лише сталою (адитивною, offset error) функцією, але також лінійно змінною, так званою: offset error+gain error?

12. Чи вирази для реалізації методу заміни змінної у таблиці 3.5 є авторською пропозицією, чи вони відомі? Якщо відомі, то слід було навести джерело, з якого взято ці вирази.

13. Відсутність прикладу до опрацювання експериментальних результатів щодо калібрування засобу навіть з лінійною функцією, однак із впливом нескоригованих систематичних та некорельованих випадкових впливів у вхідній та вихідній величині, не дає змоги оцінити відповідним чином ефективність запропонованої автором методики оцінювання невизначеності.

14. Вступна частина 1-ї секції пункту 4.1 „Відтворення одиниці електричного опору за допомогою еталона Ома на квантовому ефекті Холла” є описом відомого матеріалу щодо квантового ефекту Холла.

15. У пунктах 4.1, 4.2 бракує посилань на джерела інформації до рисунків і таблиць характеристик мір електричного опору та іншого обладнання.

16. Рисунок холлівської структури міри 6800 А на стор. 119 має неправильну нумерацію – Рис. 4.10, замість Рис.4.11.

17. У наведених у розділі 4 таблицях характеристики точності засобів подані у різний спосіб. Зокрема, у Таблиці 4.3 числові значення в останній колонці з назвою „Похибка вимірювань” подані так, що невідомо що вони означають: відносна чи абсолютна МДП, тоді бракує знаку „ \pm ”, одиниці величини чи у % або ppm.

18. Ще одне зауваження стосується вживання термінології „невизначеність”. У базовому документі GUM у пункті 2.2.1 дається означення суті цього слова: The word “uncertainty” means doubt, and thus in its broadest sense

“uncertainty of measurement” means doubt about the validity of the result of a measurement. Тобто тут слово “uncertainty” означає сумнів, і, таким чином, у найширшому розумінні “uncertainty of measurement” означає сумнів щодо достовірності результату вимірювання. Як бачимо, жодного натяку на „undeterminity”, що означає буквально „невизначеність”, у цьому означенні в GUM не йдеться. Тому вживання такого словосполучення „значення невизначеності” є безсенсовним. Тому термін “uncertainty” слід перекладати як „непевність” (сумнівність), а не „невизначеність”, що означає брак кількісного значення.

19. У Списку публікацій здобувача за темою дисертації, які подані у Додатку А, було би добре у явний спосіб подати авторський вклад у публікаціях зі співавторством, наприклад, у змістовній формі, а також відсотково. Це сприяло би можливості кращого оцінювання наукового досягнення Автора дисертаційної роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЇ

Перелічені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати дослідження та ніяким чином не зменшують наукову і практичну цінність роботи та позитивне враження від впровадження її результатів.

Дисертаційна робота, яка представлена на розгляд, є закінченою кваліфікаційною науковою працею, яка містить раніше не захищені наукові положення і одержані автором нові науково обґрунтовані результати.

В підсумку, з огляду на актуальність проблеми, внесок автора, рівень виконаних досліджень та результати практичного впровадження, вважаю, що дисертаційна робота «Удосконалення методик калібрувань засобів вимірювання та відтворення електричного опору» відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор Семеніхін

Валерій Сергійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Офіційний опонент

професор кафедри «Інформаційно-вимірвальних технологій»

Національний університет

«Львівська політехніка», д.т.н., проф.

Михайло ДОРОЖОВЕЦЬ

30.05.2024r.

Підпис засвідчую:

Учений секретар



Роман БРИЛИНСЬКИЙ