

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Семеніхіна Валерія Сергійовича

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

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Актуальність теми

Актуальність теми дисертаційної роботи Семеніхіна В.С. є значущою у зв'язку із зростанням сучасних вимог до точності електричних вимірювань і зростаючої необхідності дослідження питань простежуваності результатів вимірювання до електричних одиниць SI із оцінюванням характеристик їх точності. У роботі розглянута така область електричних вимірювань як вимірювання електричного опору і акцент зроблено саме на процедури оцінювання невизначеності вимірювань, які у цій області мають свої специфічні особливості.

Тому дисертаційна робота Семеніхіна В.С., що спрямована на вирішення науково-практичних задач розробки процедури оцінювання невизначеності вимірювань для існуючих методів калібрування засобів вимірювання та відтворення електричного опору на основі методу ексцесу із експериментальною перевіркою розробленої процедури оцінювання невизначеності вимірювань є доцільною і актуальною.

У дисертаційній роботі поставлена науково-технічна задача розробки процедур оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні засобів вимірювання та відтворення електричного опору на основі методу ексцесів.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Інформаційно-вимірювальних технологій» Харківського Національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) у межах НДДКР 20-04 (державний реєстраційний номер 0121U107763) «Розробка процедур системи управління калібрувальної лабораторії» для ТОВ «Калібрувальна лабораторія

«Метрологія», в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

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

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Семеніхіна Валерія Сергійовича у достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного апарату теорії імовірності та математичної статистики задля удосконалення 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 розроблених положень.

Результати роботи перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень, а саме експериментально та за допомогою численного моделювання перевірено розроблені процедури оцінювання невизначеності вимірювань шляхом порівняння із результатами оцінок невизначеності отриманих методом Монте-Карло.

До основних нових наукових 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 розробки процедур оцінювання невизначеності вимірювань на основі методу ексцесів;
- вперше розроблена методика ідентифікації не поліноміальних калібрувальних залежностей з урахуванням інструментальних невизначеностей засобів вимірювальної техніки (ЗВТ);
- вперше розроблена методика компенсації похибок відліку при калібруванні аналогових омметрів з нелінійною шкалою;
- отримала подальший розвиток методика корегування міжкалібрувального інтервалу ЗВТ за результатами їх перекалібрувань;
- удосконалена методика оцінювання ймовірності відповідності відкаліброваних мір електричного опору та омметрів постійного струму вимогам технічної документації.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень:

- на основі методу ексцесів розроблені бюджети невизначеності вимірювань, які можуть бути основою для створення програмних засобів для автоматизації оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні всіма 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;
- розроблено методики визначення міжкалібрувального інтервалу та оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування ЗВТ в рамках НДДКР 20-04 (державний реєстраційний номер 0121U107763) для ТОВ «Калібрувальна лабораторія «Метрологія»;

– розроблено методики калібрування омметрів та мір електричного опору для калібрувальної лабораторії Приватного підприємства «Науково-виробничий центр оцінки відповідності «Юг»;

– методика ідентифікації не поліноміальної калібрувальної залежності з урахуванням інструментальних невизначеностей ЗВТ впроваджена в навчальний процес на кафедрі ІВТ ХНУРЕ, де вона використовується під час виконання курсової роботи за дисципліною «Основи метрології та вимірювальних технологій».

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, 10 – у матеріалах апробаційного характеру (3 проіндексовані у базах даних Scopus).

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Семеніхіна В. С. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, двох додатків.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, приведена апробація дисертаційної роботи і публікації.

У першому розділі дисертаційної роботи здобувачем докладно проаналізовано існуючі методи калібрування засобів вимірювання та

відтворення електричного опору, розглянуто класифікацію цих засобів вимірювання та відтворення, наведено основні етапи калібрування, проаналізовано методи оцінювання невизначеності вимірювань, розглянуто базовий алгоритм GUM та його недоліки, реалізацію методу Монте-Карло для оцінювання невизначеності вимірювань і застосування методу ексцесів для отримання достовірних оцінок невизначеності вимірювань під час калібрувань ЗВТ.

У другому розділі здобувачем представлено розроблені процедури оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні мір електричного опору (далі – МЕО) розроблені на основі методу ексцесів, а саме: процедура оцінювання невизначеності прямих вимірювань значення МЕО, що калібрується за допомогою еталонного омметра; процедура оцінювання невизначеності при звірненні значення МЕО, що калібрується зі значенням еталонної МЕО за допомогою компаратора; процедура оцінювання невизначеності непрямих вимірювань значення МЕО за допомогою потенціометра. Для кожної процедури здобувачем складено бюджет невизначеності, проведено експериментальне дослідження невизначеності вимірювань, яка оцінювалась при калібрування МЕО на основі методу ексцесів, проведено порівняння отриманих результатів з оцінками розширеної невизначеності, які отримують методом Монте-Карло.

У третьому розділі здобувачем представлено процедури оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні омметрів постійного струму розроблені на основі методу ексцесів. Докладно розглянуті особливості калібрування аналогових омметрів з нелінійною шкалою, ідентифікація не поліноміальної калібрувальної залежності з урахуванням інструментальних невизначеностей вимірювальних приладів електричного опору, валідація методик калібрувань омметрів постійного струму.

У четвертому розділі здобувач обговорює практичне застосування результатів дослідження, розглядаючи запропоновану методику корекції міжкалібрувальних інтервалів ЗВТ електричного опору. Також розглянуто відтворення одиниць електричного опору за допомогою еталона Ома на

квантовому ефекті Холла, масштабування одиниці електричного опору у державному первинному еталоні України, оцінювання відповідності ЗВТ електричного опору метрологічним вимогам за результатами їх калібрування.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 102 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. Обсяг першого розділу дисертаційної роботи становить 45 сторінок і є перебільшений порівняно з іншими розділами роботи.

2. У першому розділі дисертаційної роботи та при виборі напрямку досліджень слабо проаналізований внесок вчених із розвинутих країн світу (США, європейських країн, тощо), що підтверджують зацікавленість світової спільноти обраним напрямком наукових досліджень. У списку використаних джерел замало посилань на роботи іноземних вчених у зазначеному напрямку.

3. По результатам другого розділу доцільно було б привести програму автоматизації оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні міри електричного опору, що суттєво підвищило б практичну цінність роботи.

4. У висновках другого розділу зазначено, що отримані в усіх розглянутих прикладах оцінки розширеної невизначеності методом ексцесів та

методом Монте-Карло показали, що розбіжність між ними не перевищує $\pm 2,5 \%$, але не зрозуміло – наскільки ефективно використання вказаних методів для вирішення поставлених задач у порівнянні із базовим алгоритмом GUM і який ефект досягнуто впровадженням методів ексцесів і Монте-Карло.

5. У третьому розділі на сторінці 94 дрейф опору котушки з моменту останнього калібрування позначено як δ_s – не більше 0,002 %, тобто у відсотках, а на сторінці 96 у формулі для визначення критерія знехтування до поправки $|\delta_i|$ відсутні позначення одиниць фізичної величини, тому не зрозуміла у яких одиницях ведено поправку – чи то відносні одиниці, чи відсотки, чи одиниці фізичної величини (МОм).

6. На сторінці 97 рис. 3.2 осі координат підписано англійською мовою, що вказує на додавання рисунку із англomовної публікації. Доцільно було використовувати державну мову для підписання рисунку, бо усі інші підписи по тексту дисертаційної роботи зроблено українською мовою.

7. Із третього розділу не є очевидним, чому всі вклади невизначеності, що входять до моделі вимірювань, оцінені тільки за типом В без урахування невизначеності по типу А, що було б більш зрозумілим при розрахунку розширеної невизначеності.

8. У третьому розділі не зрозуміло яким вимірювальним засобом проводився контроль температури 20 °С при проведенні калібрування цифрового омметра типу 2318 бо стандартна невизначеність температури при цьому, що вказана у табл. 3.2 становить 1,154 °С.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Семеніхіна Валерія Сергійовича «Удосконалення методик калібрувань засобів вимірювання та відтворення електричного опору» за своїм змістом відповідає спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою,

яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає у розробці процедур оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні засобів вимірювання та відтворення електричного опору на основі методу ексцесів.

Подана дисертаційна робота «Удосконалення методик калібрувань засобів вимірювання та відтворення електричного опору» Семеніхіна Валерія Сергійовича відповідає спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка та вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Семеніхін Валерій Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Офіційний опонент

професор кафедри «Інформаційно-вимірювальних технологій та систем»

НТУ «ХПІ», к.т.н., доц.



Ігор ГРИГОРЕНКО

Підпис засвідчую

Вчений секретар

проф. Ігор Григоренко
[Signature]

Юрій ЗАЙЦЕВ