



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»,
д.т.н., проф.

Іван ДЕМІДОВ
22" 04 2024 р.

Висновок

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Калібрування УЗ сенсорів лінійного переміщення лазерним інтерферометром»

**здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування)**

Назаркевича Ігоря Богдановича

наукового семінару кафедри інформаційно-вимірювальних технологій

1. Актуальність теми дисертації

Для успішного вступу України в Європейський Союз необхідно розвивати і впроваджувати методи та засоби метрологічного забезпечення, зокрема вимірювання лінійних розмірів. Особливо це стосується об'єктів нанотехнологій, що формують основу прогресу у Промисловості 4.0. У той час як впроваджуються квантові еталони метричних одиниць, до числа вторинних і робочих засобів вимірювання все частіше відносять лазерні інтерферометри. Останні й вивчав здобувач підчас навчання в Технічному університеті м. Ільменау, де він отримав диплом магістра в 2020 р. У тому ж місті Німеччини фірма SIOS розвиває лазерні інтерферометри, які широко впроваджуються у світі, навіть для вивчення космічних ефектів та підтвердження положень гравітації.

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

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

забезпечення».

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Здобувачем особисто сформульовано та поставлено завдання з вивчення можливості впровадження лазерних інтерферометрів у галузі; досліджено лазерні інтерферометри, як елементи забезпечення метрологічної єдності при передаванні розміру; вивчено забезпечення метрологічної надійності при передаванні розміру еталонної одиниці від робочого еталону до каліброваного засобу вимірювання; уточнено та розвинуто методологію калібрування засобів вимірювальної техніки – смарт-сенсорів провідних європейських фірм, розроблено спеціальні програмно-технічні засоби для навчання в онлайн-режимі метрологів особливостями роботи з інтерферометричним устаткуванням.

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 та 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.

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

У дисертаційній роботі вирішено конкретне наукове завдання розроблення метрологічного забезпечення передавання розміру одиниці довжини від робочого еталону на основі лазерного інтерферометра до ультразвукового смарт-засобу вимірювання для потреб Промисловості 4.0.

У дисертаційній роботі отримано наступні *наукові результати*:

- На підставі вивчення обладнання для еталонного та технічного забезпечення вимірювань одиниці довжини, визначено метрологічні характеристики еталонного засобу, методи їх формування й використання для калібрування ультразвукових сенсорів відстані, розвинуто і вдосконалено методику підготовки робочого інтерферометричного еталону та каліброваних сенсорів до проведення калібрування, установлення їх на оптичній лаві, обґрунтовано використання прямого методу калібрування, а також уточнено процедури оцінювання

непевності отриманих результатів, що дало змогу оптимізувати метрологічні характеристики режимів передавання розміру одиниці довжини зміною контрольованих чинників впливу.

- На основі проведених досліджень метрологічних параметрів вперше показано, що лазерний інтерферометр типу LM-20/50 може використовуватись у метрологічному забезпеченні галузі для перевірки, калібрування й випробування ультразвукових сенсорів, як пристроїв для вимірювання відстані у робототехніці. Для калібрування УЗ сенсора необхідно попередньо уточнити його метрологічні параметри та їх підкоректувати, використовуючи програмно-технічні можливості, закладені у інтерфейсі УЗ сенсора сервісною оболонкою ІО - Link.
- Для покращення параметрів передавання розміру одиниці відстані визначено чинники впливу (температура, вологість, вібрація тощо) на калібрований ультразвуковий сенсор і удосконалено методику його калібрування, що дало змогу знизити похибку калібрування на нижній межі вимірювання відстані, тобто у «мертвій зоні». Окрім того, вперше запропоновано онлайн ігрові методи на базі інсталяційного програмного забезпечення, розробленого у вигляді мобільного застосунку-аналогу ПЗ Duolingo зі сформованим словником термінів, що дало змогу навчати фахівців із метрології роботі з лазерним інтерферометром.
- За результатами калібрування, визначене граничне значення абсолютної похибки каліброваного робочого ЗВТ - 0,68 мм, яке потрапляє у межі 0,05 мкм – 20,2 мм, зазначені у пункті 4.2.2. ДСТУ 3741:2015. Зведена похибка вимірювання з допомогою ультразвукового сенсора зменшилась. Для оцінювання якості калібрування УЗ сенсорів застосовано СКВ-метрологічний підхід, який відповідає положенням ISO/IEC Guide 98-4:2018 «Невизначеність вимірювань. Частина 4»: СКВ результатів вимірювання зменшилось на 25 % - від 4,4 % (дані фірми-виробника) до 3,3 % (результати досліджень), що підкреслило коректність обраного методу і підбору метрологічних інструментів для перенесення розміру одиниці довжини.

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, I. Nazarkevych, R. Mastylo, Calibration of the Ultrasonic Sensor-Range Finder by the Laser Interferometer, Measuring Equipment and Metrology, Volume 81, Number 4, pp.10-17, 2020, <https://doi.org/10.23939/istcmtm2020.04.010>. Особистий внесок – постановка задачі з вивчення можливості калібрування ультразвукових сенсорів з допомогою лазерного інтерферометра.

2. S. Yatsyshyn, I. Nazarkevych, Learning interferometric equipment through the integration of game methods into a mobile application, Energy Engineering and Control Systems, Volume 9, Number 2, pp.131–135, 2023. <https://doi.org/10.23939/jeeecs2023.02>. Особистий внесок – методологія калібрування засобів вимірювальної техніки з допомогою лазерного інтерферометра та навчання операторів цьому унікальному засобу з допомогою спеціальних додатків – навчальних програм мобільних засобів спілкування.

3. O. Seheda, I. Nazarkevych, Series termination of single-ended LVCMOS signals, Measuring Equipment and Metrology, Volume 84, Number 4, pp.5-9, 2023, <https://doi.org/10.23939/istcmmt2023.04.005>. Особистий внесок – вивчення можливості передачі сигналів по шинах даних мікроконтролера, уникаючи їх спотворення і сприяючи підвищенню точності вимірювального устаткування.

4. I. Nazarkevych, O. Seheda, Features of transferring size of length unit from working standard to measuring device, Measuring Equipment and Metrology, Volume 85, Number 1, 2024, pp.16-24, 2024, <https://doi.org/10.23939/istcmmt2024.01.016>. Особистий внесок – вивчення впливу непевності результатів на якість УЗ сенсорів.

Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, збірники яких входять до міжнародних наукометричних баз:

5. I. Nazarkevych, S Yatsyshyn, The Exactness of Ultrasound Sensors of Robotics, IX International Scientific and Practical Conference «World science priorities», March 28 – 29, 2024, Vienna. Austria. P. 111-112, ISBN 978-92-44513-95-8. DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.10912325>.

Матеріали міжнародної наукової конференції:

6. І. Б. Назаркевич, С. П. Яцишин, Розвиток ігрового методу вивчення інтерферометрії з допомогою мобільного застосунку, Матеріали 2-ї Міжнародної наукової конференції «Цифрове наукове суспільство: соціально-економічні, правові та міжнародні аспекти», 05.04.2024; м. Рівне, Україна.

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації.

У кожному із 4-х розділів дисертації вказуються публікації, у яких відображено результати досліджень конкретного розділу. Опубліковані роботи відображають основні положення дисертації. Аналіз їх вмісту свідчить, що усі результати 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 калібрування УЗ сенсора, обґрунтовано доцільність використання прямого методу калібрування сенсора, що дав змогу зменшити випадкову складову похибки визначення координат [1]; доведено, що використання рекомендацій ISO/IEC Guide 98-4:2018 «Невизначеність

вимірювань. Частина 4» дає змогу застосувати рекомендований підхід для обґрунтування якості вимірювань [4]; вивчено та розвинуто методи калібрування щодо УЗ сенсорів, зокрема фірми IFM [2-3]; розроблено алгоритм мінімізації впливу імпакт-факторів, зокрема температури та вологості та виготовлено відповідну схему, чим істотно оптимізовано проведення експериментальних досліджень [4, 5]; здійснено дослідження систематичного та випадкового компонентів сумарної похибки [1, 3, 4]; на базі інсталяційного програмного забезпечення розроблено мобільний застосунок-аналог ПЗ Duolingo зі сформованим словником термінів, що дало змогу навчати фахівців із метрології роботі з лазерним інтерферометром [2, 6].

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

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на семінарах та конференціях: наукових семінарах кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології» Національного університету «Львівська політехніка». Викладені в роботі наукові положення й результати досліджень доповідалися та обговорювалися на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних і науково-технічних конференціях: 2-й Міжнародній науковій конференції «Цифрове наукове суспільство: соціально-економічні, правові та міжнародні аспекти», 05.04.2024; м. Рівне, Україна, а також 9-й Міжнародній науковій конференції, 28-29.03.2024 р., Відень, Австрія. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10912325>.

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 вагомe 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 при їх використанні для потреб Промисловості 4.0.

Державне підприємство ДП ДНДІ «Система», що є зберігачем Національного еталону одиниці звукового тиску в повітряному середовищі НДЕТУ АUV-03-2019; Національного еталону одиниці потужності ультразвуку в водному середовищі НДЕТУ АUV-01-2018; Національного еталону одиниці ультразвукового тиску в водному середовищі НДЕТУ АUV-02-2018 – використало дані сенсори під час контролю коректності встановлення мікрофонів в еталонах при визначенні розміру одиниць.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

До структури 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. З урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри Інформаційно-вимірювальних технологій ухвалили:

11.1. Дисертація Назаркевича Ігоря Богдановича «Калібрування УЗ сенсорів лінійного переміщення лазерним інтерферометром» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальне наукове завдання *дослідження та розроблення сучасного метрологічного забезпечення при передаванні розміру одиниці довжини до промислового засобу вимірювальної техніки з допомогою лазерного інтерферометра*, 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, 1 матеріал міжнародної наукової конференції, яка індексується у наукометричній базі бази даних Google Академія, 1 матеріал міжнародної науково-практичної конференції.

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.

11.6.3 урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Назаркевича Ігоря Богдановича дисертація «Калібрування УЗ сенсорів лінійного переміщення лазерним інтерферометром» рекомендується для подання до розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

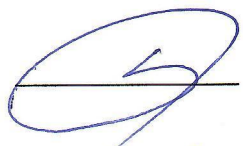
за	-	<i>Дев'ятнадцять</i>
проти	-	<i>(немає)</i>
утримались	-	<i>(немає)</i>

Головуюча на науковому семінарі
кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій,
зав. кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій,
д.т.н., професор



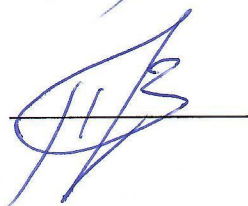
Тетяна БУБЕЛА

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



Пилип СКОРОПАД

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



Сергій ПРОХОРЕНКО

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



Оксана ГОНСЬОР

«8» квітня 2024 р.