



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи  
Національного університету  
«Львівська політехніка»

Іван ДЕМИДОВ

18 " 04 2025 р.

### **Висновок**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів  
дисертації «Підвищення точності калібрування гідрофонів  
у водному середовищі»**

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

**Шпака Олександра Володимировича**

**наукового семінару кафедри інформаційно-вимірювальних технологій  
Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики  
та метрології**

#### **1. Актуальність теми дисертації**

Через надзвичайно широкий спектр ультразвукового медичного обладнання закордонних і вітчизняних виробників в Україні існує потреба як у системах для вимірювання параметрів акустичного виходу ультразвукових випромінювачів під час процедур оцінки відповідності та калібрування, так і у створенні еталонної бази для калібрування гідрофонів з метою забезпечення єдності та простежуваності ультразвукових вимірювань в Україні та визнання їх результатів на міжнародному рівні.

До 2017 р. в Україні не було ні первинного, ні вторинного еталонів одиниці ультразвукового тиску, що не давало змоги калібрувати гідрофони в Україні та забезпечити простежуваність вимірювань параметрів акустичного виходу ультразвукового медичного обладнання. Створення у 2017 році національного державного первинного еталона одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі НДЕТУ AUV-02-2018 частково вирішило цю проблему. Однак, лише створення еталона не забезпечує простежуваність ультразвукових вимірювань. Для визнання еталона та результатів калібрування на ньому міжнародною метрологічною спільнотою, необхідно встановити ступінь еквівалентності еталона НДЕТУ AUV-02-2018 з аналогічними еталонами інших держав за допомогою звірення. Для успішного проходження звірення актуальним залишається питання підвищення точності еталона НДЕТУ AUV-02-2018 шляхом зменшення його розширеної невизначеності вимірювання.

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

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології» Національного університету «Львівська політехніка»: «метрологія та інформаційно-вимірювальні технології в кібер-фізичних, робототехнічних та інших системах». Дисертаційна робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» та у Державному підприємстві "Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем" в рамках науково-дослідних робіт: «Створення державного первинного еталона одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі» (державний реєстраційний номер: № 0117U004690, 2017), «Дослідження стабільності відтворення та зберігання одиниць вимірювання державними первинними еталонами, що зберігаються в Державному підприємстві "Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем"» (державні реєстраційні номери №0118U004979, № 0119U001742, № 0120U104001, № 0121U111759, № 0122U002401, 2018-2022 роки).

## **3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів**

Основний зміст роботи, всі теоретичні та практичні результати, висновки і дослідження, що представлено до захисту, отримано автором самостійно. Здобувачем особисто проведено аналіз методів калібрування гідрофонів у водному середовищі та запропоновано на основі досліджень удосконалену математичну модель передавальної характеристики гідрофона на основі методу взаємності з двома перетворювачами. Зокрема, реалізував методи вимірювання ефективного радіуса та ефективної площі ультразвукового перетворювача; провів порівняльний аналіз розрахунків коефіцієнтів дифракційних втрат із застосуванням методів, запропонованих Феєм та Бейснером, та провів оцінку границь похибок коефіцієнтів дифракційних втрат; обґрунтував застосування коефіцієнта шунтування як поправки до вимірної напруги, згенерованої ультразвуковим перетворювачем.

Ідеї, висновки, гіпотези чи досягнення інших авторів, використані лише для підкріплення результатів та ідей здобувача та мають відповідні посилання. Постановку завдань, обговорення результатів та підготовку публікацій до друку здійснено під керівництвом к.т.н., доц. Паракуди В.В.

## **4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій**

Достовірність представлених у дисертації рішень, висновків та рекомендацій базується на кваліфікованому підході до постановки завдань досліджень, логічно правильному обґрунтуванні прийнятих допущень під час вибору математичних моделей і коректному використанні математичного апарату. Крім того, достовірність підтверджується коректністю розрахунків, проведених за допомогою сучасних прикладних програмних пакетів та 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 *підвищення точності калібрування гідрофонів на національному державному первинному еталоні одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі НДЕТУ АUV-02-2018, за результатами дослідження метода відтворення одиниці ультразвукового тиску та зменшення розширеної невизначеності еталона.*

Отримано такі наукові результати:

- вперше отримано удосконалену математичну модель передавальної характеристики гідрофона;
- розроблено алгоритми дослідження ефективної площі та ефективного радіусу ультразвукового перетворювача з метою підвищення точності визначення передавальної характеристики гідрофона;
- проведено порівняльний аналіз методів розрахунку коефіцієнтів дифракційних втрат та зменшено їх вклад у сумарну стандартну невизначеність калібрування гідрофона;
- зменшено розширену невизначеність вимірювання передавальної характеристики гідрофона з 14 % до 9 %.

## **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. Дувіряк Д., Шпак О., Паракуда В. Еталон одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі // Вимірювальна техніка та метрологія. 2019. Том 80, вип. 3, С. 58–63. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.058>

2. Duviriak D.; Shpak O.; Parakuda V., Kizlivskyi I. Experimental investigation on the effective radiating area of ultrasonic transducers with the aim of increasing the reproduction accuracy of the unit of ultrasonic pressure in water // Ukrainian Metrological Journal. 2022. Vol. 1, P. 44–50. DOI: [10.24027/2306-7039.1.2022.258819](https://doi.org/10.24027/2306-7039.1.2022.258819) (WoS Q4)

3. Shpak O., Duviriak D. Study of the effective radii of ultrasonic transducers // Measuring Equipment and Metrology. 2024. Vol. 85, No. 3, pp. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2024.03.010>

4. Шпак О., Дувіряк Д. Верифікація результатів калібрування голкових гідрофонів на еталоні НДЕТУ АUV-02-2018 // Український метрологічний журнал. 2024. вип. 3, С. 11–21. (WoS Q4) DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2024.312327>

*Матеріали міжнародних наукових та науково-практичних конференцій:*

5. Дувіряк Д.В., Шпак О.В. «Створення еталона одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі» ст. 23; Тези доповідей // XI міжнародна науково-технічна конференція «Метрологія та вимірювальна техніка», 9-11 жовтня 2018 року, м. Харків.

6. Паракуда В.В., Дувіряк Д.В., Шпак О.В., «Сучасний стан і розвиток еталонів акустичних величин в Україні», ст. 27; Тези доповідей // XI міжнародна наукова-технічна конференція «Метрологія та вимірювальна техніка», 9-11 жовтня 2018 року, м. Харків.

7. Шпак О.В., Паракуда В.В., «Забезпечення єдності та простежуваності вимірювань в Україні ультразвукового тиску у водному середовищі», ст. 95; Тези доповідей // V Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2019» 29 січня - 2 лютого 2019 року, смт. Славське.

8. Шпак О.В., Кізлівський І.Г., «Єдність вимірювань потужності ультразвукового випромінювання в Україні», ст. 93; Тези доповідей // V Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2019» 29 січня - 2 лютого 2019 року, смт. Славське.

9. Кізлівський І., Шпак О., Бубела І., «Оцінювання непевності у вимірюванні електроакустичної провідності на еталоні потужності ультразвуку», ст. 120; Тези доповідей // Міжнародна конференція метрологів МКМ'2019: XXIII Міжнародного семінару метрологів (МСМ'2019) до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, 10–12 вересня 2019 року, – Львів, 2019.

10. Вінниченко О.М., Шпак О.В., Кізлівський І.Г., Демчук Т.В., «Вплив швидкості розповсюдження звукової хвилі на непевність вимірювання ультразвукової потужності», ст. 36-38., Тези доповідей; // VI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement-2020», 4-7 лютого 2020 року, смт. Славське.

11. Паракуда В., Кізлівський І., Шпак О., Копча М., Бубела І., «Впровадження національних стандартів для забезпечення якості вимірювання ультразвукових параметрів», ст. 16-17 // Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції, 20–21 травня 2021 року, м. Львів (ISBN 978-966-441-654-9, <http://science.lpnu.ua/qm-2021>).

12. Oleksandr Shpak, Dariia Duviriak, Vasyl Parakuda «Effective radii of ultrasonic transducers for hydrophone calibration», ст. 78, тези доповідей // II Міжнародна науково-практична конференція: Інформаційно-вимірювальні технології IBT-2024, 13–14 листопада 2024 року, м. Львів (ISBN 978-966-941-972-9, <https://science.lpnu.ua/ivt-2024/proceedings> <http://science.lpnu.ua/qm-2021>).

**Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації.** У кожному розділі дисертації вказані публікації, у яких відображено результати досліджень цього розділу. Опубліковані роботи відображають основні положення дисертації. Аналіз їх змісту свідчить, що усі результати є повністю опубліковані та апробовані.

Основний зміст роботи, теоретичні та практичні результати, висновки, які представлено до захисту, одержані автором особисто. Особисто здобувачеві належать наступні наукові результати: [1] – формування структури еталона та його функціональної схеми, вибір оптимального методу калібрування та проведення експериментальних досліджень складових еталона, дослідження

метрологічних характеристик еталона; [2] – участь у розробленні програмного забезпечення, проведення вимірювань та опрацювання отриманих результатів; [3] – участь у розробленні програмного забезпечення, проведення вимірювань, опрацювання та аналіз отриманих результатів; [4] – проведення калібрування гідрофонів, розрахунок невизначеності вимірювання, апробація отриманих результатів калібрування.

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

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на семінарах та конференціях: XI міжнародна науково-технічна конференція «Метрологія та вимірювальна техніка» (9-11 жовтня 2018 року, м. Харків); V Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement (2019)» 29 січня - 2 лютого 2019 року, смт. Славське); Міжнародна конференція метрологів МКМ'2019: XXIII Міжнародного семінару метрологів (МСМ'2019) до 100-річчя кафедри інформаційно-вимірювальних технологій (10–12 вересня 2019 року, Львів); VI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement-2020» (4-7 лютого 2020 року, смт. Славське); V Міжнародна науково-практична конференція: «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (20–21 травня 2021 року, м. Львів); II Міжнародна науково-практична конференція: Інформаційно-вимірювальні технології IBT-2024 (13–14 листопада 2024 року, м. Львів).

#### **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 вагоме наукове значення у спеціальності *«Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»*, а також в галузі знань *«Автоматизація та приладобудування»*, а саме: покращення метрологічних характеристик засобів вимірювання. Результати досліджень дисертації впроваджено у навчальний процес кафедри інформаційно-вимірювальних технологій науково-навчального інституту інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисциплін: «Мобільні робото-технічні пристрої» для магістрів спеціальності 175 Інформаційно-вимірювальні технології та «Машинний інтелект в робототехніці» для бакалаврів спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

#### **9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані**

Запропоновані алгоритми дослідження ефективної площі та ефективного радіусу ультразвукового перетворювача сприяють підвищенню точності визначення передавальної характеристики гідрофона. Проведений порівняльний аналіз методів розрахунку коефіцієнтів дифракційних втрат дозволив значно зменшити їхній внесок у сумарну стандартну невизначеність калібрування гідрофона. Запропоновано удосконалену математичну модель передавальної

характеристики гідрофона. Як наслідок, розширена невизначеність вимірювання передавальної характеристики гідрофона була зменшена з 14 % до 9 %.

Практична цінність результатів дослідження полягає у їх безпосередньому застосуванні у сфері калібрування гідрофонів, які є ключовими в галузях, пов'язаних з виробництвом та обслуговуванням ультразвукового медичного обладнання.

Результати дисертаційної роботи впроваджено та апробовано на національному державному первинному еталоні одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі НДЕТУ AUV-02-2018 (ДП НДІ «Система», м. Львів).

## **10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення**

Дисертаційна робота складається із анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Усі 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.**

**11.3 урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри Інформаційно-вимірювальних технологій ухвалили:**

**11.1** Дисертація Шпака Олександра Володимировича «Підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальне наукове завдання *підвищення точності калібрування гідрофонів на національному державному первинному еталоні одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі НДЕТУ AUV-02-2018, за результатами дослідження метода відтворення одиниці ультразвукового тиску та зменшення його розширеної невизначеності*, що є важливим для забезпечення єдності та простежуваності вимірювань одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі в Україні.

**11.2** Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

**11.3** У 12 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них: 4 статті у наукових фахових виданнях України, з яких 2 включені до наукометричної бази даних Web of Science, та 8 наукових публікацій у збірниках матеріалів та тез конференцій.

**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.

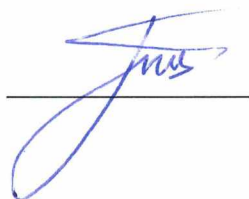


**11.6** З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Шпака Олександра Володимировича дисертація «Підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

|            |   |                     |
|------------|---|---------------------|
| за         | - | <b>вісімнадцять</b> |
| проти      | - | (немає)             |
| утримались | - | (немає)             |

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



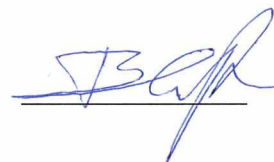
Тетяна БУБЕЛА

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



Євген ПОХОДИЛО

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



Василь ЯЦУК

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



Оксана ГОНСЬОР

«16» 04 2025 р.