

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора

Походила Євгена Володимировича

на дисертацію Шпака Олександра Володимировича

на тему «Підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка в галузі знань

15 – Автоматизація та приладобудування

1. Актуальність теми дисертації

Ультразвукові технології відіграють ключову роль у сучасній медичній діагностиці, зокрема в неінвазивному обстеженні пацієнтів. В Україні спостерігається значне розмаїття ультразвукового медичного обладнання, представленого як вітчизняними, так і зарубіжними виробниками. Така ситуація зумовлює необхідність у створенні ефективних систем для вимірювання параметрів акустичного виходу випромінювачів ультразвукового медичного обладнання як і під час процедур оцінювання відповідності, так і під час калібрування.

Особливої уваги потребує формування еталонної бази, яка забезпечує точне калібрування гідрофонів у водному середовищі. У цьому контексті розроблення національного еталона НДЕТУ AUV-02-2018 стала важливим етапом у розвитку метрологічної інфраструктури України. Проте для забезпечення єдності та простежуваності ультразвукових вимірювань, а також для досягнення міжнародного визнання, необхідно встановити ступінь еквівалентності зазначеного еталона шляхом його звірення з аналогічними еталонами інших країн.

Актуальність дослідження Шпака О.В. полягає у підвищенні точності калібрування гідрофонів на еталоні НДЕТУ AUV-02-2018 та підготовці еталона до міжнародних звірень, що сприятиме інтеграції України у глобальну метрологічну спільноту.

2. Аналіз структури та змісту дисертації

Дисертаційне дослідження Шпака Олександра Володимировича являє собою завершену наукову роботу, що відзначається чіткою логічною структурою та послідовним викладом отриманих результатів. Робота містить вступ, чотири розділи основної частини, висновки, список використаних джерел, який налічує 67 найменувань, а також три додатки. Загальний обсяг основного тексту дисертації становить 121 сторінку, що містить 47 рисунків та 29 таблиць, які візуалізують та доповнюють виклад матеріалу.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовано мету та основні завдання роботи, окреслено методологічні підходи, застосовані для досягнення поставлених цілей. Визначено зв'язок дослідження з чинними науковими програмами, представлено наукову новизну отриманих результатів, їхнє практичне значення, а також наведено особистий внесок здобувача у виконанні дослідження.

У *першому розділі* проведено систематизований огляд методів калібрування гідрофонів у водному середовищі, а також класифікацію типів гідрофонів, що застосовуються в акустичних вимірюваннях. Для кожного з методів наведено функціональну схему калібрування, проаналізовано їхні технічні особливості, переваги та недоліки. Особливу увагу приділено оцінюванню точності, складності реалізації та практичній придатності методів у різних умовах експлуатації. На основі проведеного аналізу сформульовано висновки щодо оптимальних підходів до калібрування, з урахуванням типу гідрофона та вимог до точності калібрування гідрофона.

У *другому розділі* представлено реалізацію обраного методу калібрування, з детальним аналізуванням технічних параметрів обладнання та умов проведення калібрування. Представлено математичну модель методу взаємності із застосуванням двох ультразвукових перетворювачів. Визначено складові невизначеності, притаманні даному методу, та отримано їхню кількісну оцінку. На основі отриманих даних сформовано бюджет невизначеності, який забезпечує комплексну оцінку сумарної невизначеності калібрування гідрофона,

що, у свою чергу, гарантує достовірність і відтворюваність результатів вимірювань.

У *третьому розділі* розроблено та реалізовано методи визначення ефективної площі випромінювання та ефективного радіуса ультразвукових перетворювачів. Отримано числові значення цих параметрів для ультразвукових перетворювачів, що входять до складу еталона НДЕТУ-AUV-02-2018, на робочих частотах, а також проведено оцінювання відповідної невизначеності. Здійснено порівняльний аналіз двох підходів до розрахунку коефіцієнтів дифракційних втрат: перший базується на чисельному моделюванні акустичного поля з урахуванням внеску кожного кільця випромінювача до тиску на кожному кільці приймача (реалізований у програмному забезпеченні «Calculation of P/P »), другий — на використанні інтегрального виразу для стаціонарного плоского поля при співвісному розташуванні передавача та приймача. Показано високу узгодженість результатів, отриманих обома методами. Додатково проведено вимірювання електричних характеристик ультразвукових перетворювачів і підсилювача потужності з метою перевірки коректності застосування коефіцієнта шунтування як поправки у математичній моделі.

У *четвертому розділі* наведено результати калібрування гідрофонів, виконаного на базі еталона НДЕТУ AUV-02-2018 (Україна) та національного еталона Німеччини (РТВ). Здійснено порівняльний аналіз отриманих даних з метою верифікації удосконаленої математичної моделі передавальної характеристики гідрофона. Підтверджено обґрунтованість використання ефективного радіуса та ефективної площі ультразвукового перетворювача замість його геометричних параметрів, та доцільність зменшення стандартної невизначеності при розрахунку коефіцієнтів дифракційних втрат. Отримані результати калібрування гідрофонів свідчать про їхню узгодженість.

У *висновках* узагальнено основні наукові результати, отримані в ході дослідження. У додатках наведено акти впровадження результатів дослідження, а також додаткові матеріали, зокрема проект технічного протоколу пілотних

звірень. Анотація дисертації стисло відображає її зміст, ключові положення та досягнуті результати. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка оформлена відповідно до чинних вимог Міністерства освіти і науки України.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

Аналіз дисертаційної роботи, поданої до захисту, свідчить про те, що наукові положення, висновки та рекомендації є змістовними, обґрунтованими та достовірними. Їх обґрунтованість базується на глибокому аналізуванні наукових джерел з відповідної тематики, чітко сформульованих завданнях дослідження, застосуванні сучасних методів дослідження, а також коректному використанні математичного апарату при теоретичному обґрунтуванні положень дисертації. Наукові результати, викладені у роботі Шпака О.В., мають комплексний характер і логічно випливають зі змісту дослідження, відображаючи отримані автором результати.

Достовірність і наукова обґрунтованість запропонованих методів та технічних рішень підтверджується результатами як теоретичних, так і експериментальних досліджень, а також фактом практичного впровадження отриманих наукових результатів.

4. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Аналіз змісту дисертаційної роботи та опрацьованої науково-довідкової літератури дозволяє виокремити основні положення наукової новизни досліджень дисертанта:

1. Удосконалено математичну модель калібрування гідрофонів, яка враховує неточності у визначенні ефективної площі ультразвукового перетворювача, межі похибок коефіцієнтів дифракційних втрат та вимірювальної відстані між випромінювачем і приймачем. Це дозволило знизити невизначеність при відтворенні одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі.

2. Вперше запропоновано в математичній моделі передавальної характеристики гідрофона використати струм короткого замикання як поправку до напруги відбитого від рефлектора ультразвукового сигналу, яку вимірюють на виході ультразвукового перетворювача. При цьому з моделі вилучено параметр струму збудження ультразвукового перетворювача, що підвищує точність розрахунків.

3. Удосконалено методику визначення ефективної площі та ефективного радіуса ультразвукового перетворювача, що сприяє підвищенню точності визначення передавальної характеристики гідрофона.

Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені у дисертації, є достовірними, мають наукову новизну та становлять індивідуальний внесок здобувача у вирішення актуальних задач метрологічного забезпечення ультразвукових вимірювань.

5. Практичне значення одержаних результатів та впровадження результатів роботи

1. Реалізовано методи вимірювання ефективного радіусу та ефективної площі ультразвукових перетворювачів на еталоні НДЕТУ AUV-02-2018.

2. Проведено порівняльний аналіз методів розрахунку коефіцієнтів дифракційних втрат та зменшено їх вклад у сумарну стандартну невизначеність калібрування гідрофона на еталоні НДЕТУ AUV-02-2018.

3. Зменшено розширену невизначеність еталона НДЕТУ AUV-02-2018 з 14 % до 9 %.

4. Підготовлено еталон НДЕТУ AUV-02-2018 до міжнародних звірень шляхом порівняння результатів калібрування гідрофонів з НМІ РТВ Німеччина.

Результати дослідження апробовано на еталоні НДЕТУ AUV-02-2018 (ДП НДІ «Система»), що демонструє їх практичну цінність для підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі. Впровадження результатів на еталоні НДЕТУ AUV-02-2018 ДП НДІ «Система» підкреслює їх значення для

забезпечення єдності вимірювань одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі та їх простежуваності в Україні.

6. Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертації працях

Основні результати дисертації опубліковано у 12 наукових працях, з них: 4 статті у наукових фахових виданнях України, з яких 2 включені до бази даних Web of Science та 8 тез конференцій. Отже, вимоги «Порядку 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.

Основні положення та практичні результати дисертації доповідалися і обговорювалися на таких 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).

7. Мова та стиль дисертаційної роботи

Дисертація виконана українською мовою, зрозуміло, доступно, на належному технічному рівні з використанням сучасної термінології. Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 152

«Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», галузі знань 15 - Автоматизація та приладобудування.

8. Відсутність порушень академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертації на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що робота Шпака О. В. є результатом самостійних досліджень і не містить елементів фальсифікації, плагіату чи запозичень, і відповідає принципам академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

9. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Робота містить огляд існуючих методів калібрування гідрофонів, однак відсутній поглиблений порівняльний аналіз щодо їхньої точності.

2. Чи досліджувалася поведінка перетворювачів при різних рівнях вхідного сигналу? Варто було б навести результати такого дослідження, оскільки метод взаємності чутливий до нелінійності ультразвукового перетворювача.

Попри зазначені зауваження, результати дослідження є цінними з практичної точки зору та не змінюють загальної позитивної оцінки роботи.

10. Висновки щодо дисертації

Дисертація Шпака Олександра Володимировича на тему «Підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі» є завершеною науковою працею, яка вирішує актуальне завдання - підвищення точності калібрування гідрофонів.

Робота характеризується науковою новизною, ґрунтовною теоретичною базою та практичною цінністю, підтвердженою апробацією на еталоні НДЕТУ АUV-02-2018. Отримані наукові та практичні результати мають значення для метрології та інформаційно-вимірювальної техніки. Тема та зміст дисертаційної роботи відповідають спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

З урахуванням актуальності теми дисертації, обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх наукову новизну та практичну цінність, повноту викладення матеріалу у наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затверджених постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року, а її автор Шпак Олександр Володимирович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка.

Рецензент

доктор технічних наук, професор, професор
кафедри інформаційно-вимірвальних
технологій Національного університету
«Львівська політехніка»

 Євген ПОХОДИЛО

Підпис д.т.н., професора Євгена
ПОХОДИЛА «ЗАСВІДЧУЮ»
Вчений секретар Національного
університету «Львівська політехніка»

«___» _____ 2023 р.



 Роман БРИЛИНСЬКИЙ