

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора

Яцука Василя Олександровича

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-вимірювальна техніка в галузі знань

15 – Автоматизація та приладобудування

1. Актуальність теми дисертації

Через великий спектр ультразвукового медичного обладнання закордонних і вітчизняних виробників в Україні існує нагальна 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 проведення калібрування гідрофонів. Створення еталона НДЕТУ AUV-02-2018 стало важливим етапом розвитку національної метрологічної бази. Однак для забезпечення єдності та простежуваності ультразвукових вимірювань в Україні та міжнародного визнання необхідно встановити ступінь еквівалентності еталона НДЕТУ AUV-02-2018 з аналогічними еталонами інших держав за допомогою звірення. Дослідження Шпака О.В. є актуальним, оскільки зосереджене на підвищенні точності калібрування гідрофонів у водному середовищі та підготовці еталона до звірень.

2. Аналіз структури та змісту дисертації

Дисертаційна робота Шпака Олександра Володимировича є цілісним науковим дослідженням, логічно структурованим та з послідовним викладенням результатів проведеної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновку, списку використаних джерел з 67 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг основного тексту становить 121 сторінку і містить 47 рисунків та 29 таблиць.

Вступ підтверджує актуальність теми дослідження, визначає мету і задачі

роботи, описує методи дослідження, необхідні для його виконання, показує зв'язок дослідження з науковими програмами та темами, містить наукову новизну результатів, їх практичне значення та особистий внесок дисертанта.

У *першому розділі* представлено огляд методів калібрування гідрофонів у водному середовищі та типів гідрофонів. Детально описано схему калібрування для кожного з методів, включаючи їх переваги та недоліки. Особлива увага приділена аналізу точності, складності реалізації та застосовності кожного методу в різних умовах експлуатації. Зроблено висновки щодо найбільш ефективних підходів до калібрування залежно від типу гідрофона та вимог до точності вимірювань у водному середовищі.

У *другому розділі* описано реалізацію обраного методу калібрування з детальним розглядом технічних характеристик та умов проведення калібрування. Виведено математичну модель методу взаємності із двома перетворювачами. Визначено та описано основні складові невизначеності методу калібрування гідрофона. На основі цих складових складено бюджет невизначеності, що дозволяє оцінити сумарну невизначеність калібрування гідрофона, забезпечуючи надійну оцінку результатів.

У *третьому розділі* запропоновано та реалізовано методи вимірювання ефективної площі та ефективного радіусу ультразвукових перетворювачів. Отримано значення ефективних площ випромінювання та ефективного радіусу ультразвукових перетворювачів, які входять до складу еталона НДЕТУ-AUV-02-2018 на робочих частотах, та оцінена їх невизначеність. Проведено порівняльний аналіз розрахунку коефіцієнтів дифракційних втрат двома методами та визначено їх границю похибки. Перший метод чисельного розрахунку дифракційних втрат в звуковому полі ультразвукових перетворювачів полягав у визначенні внесків до результуючого тиску на кожному кільці приймача від кожного кільця випромінювача на основі створеної програми «Calculation of P/P0». За другим методом використано інтегральний вираз для визначення дифракційних втрат у стаціонарному стані плоского поля ультразвукового перетворювача, коли акустичні осі

передавача та гідрофона збігаються. Показано добру збіжність результатів розрахунків за цими обидвома методами. Виміряно електричні параметри ультразвукових перетворювачів та підсилювача потужності з метою дослідження коректності застосування коефіцієнта шунтування, як поправки у математичній моделі.

У *четвертому розділі* подано результати калібрування гідрофонів на еталоні НДЕТУ AUV-02-2018 (Україна) і на національному еталоні Німеччини в НМІ РТВ. Виконано їх порівняння з метою перевірки коректності застосування удосконаленої математичної моделі передавальної характеристики гідрофона. Підтверджено доцільність заміни геометричних параметрів ультразвукового перетворювача (радіуса та площі) на ефективний радіус і ефективну площу, та показано зменшення стандартної невизначеності коефіцієнтів дифракційних втрат.

Висновки містять інформацію щодо основних наукових результатів роботи. У додатках представлено акти впровадження та додаткові матеріали про проєкт технічного протоколу пілотних звірень. Анотація дисертації відображає її основні положення. Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим МОН України вимогам.

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

Аналіз поданої до захисту дисертаційної роботи показує, що наукові положення, висновки та рекомендації є обґрунтованими, достовірними і змістовними.

Обґрунтованість наукових положень та висновків у дисертації є достатньою і базується на детальному аналізі джерел за даною проблемою, чіткій постановці задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, правильним застосуванням математичного апарату під час теоретичного розгляду наукових положень дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації Шпака О.В. є комплексними та виходять із її вмісту, відображаючи одержані дослідником результати.

Достовірність та обґрунтованість запропонованих методів і засобів підтверджується результатами теоретичних та експериментальних досліджень, а також впровадженням наукових результатів.

4. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Огляд змісту дисертації та науково-довідкової літератури дозволяє виокремити основні наукові положення, висновки та пропозиції, висунуті здобувачем, ці положення характеризуються науковою новизною та є індивідуальним внеском дисертанта.

Основні положення наукової новизни досліджень дисертанта:

1. Вдосконалено математичну модель калібрування гідрофонів з урахуванням неточності визначення ефективної площі ультразвукового перетворювача, границь похибок коефіцієнта дифракційних втрат і вимірювальної відстані випромінювач - приймач, що дозволило зменшити невизначеність відтворення 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, що дає можливість спрощення процесу калібрування.

3. Вдосконалено методику визначення ефективних площі та радіусу ультразвукового перетворювача, що дає можливість підвищення точності визначення передавальної характеристики гідрофона.

Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в дисертації, є достовірними, містять наукову новизну і є індивідуальним внеском дисертанта.

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 використано та апробовано на НДЕТУ AUV-02-2018 (ДП НДІ «Система»), що демонструє практичну цінність дослідження 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. Таким чином, 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 наукова-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 написана 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 перевірки дисертації на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна 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. Не достатньо повно проведено порівняльний аналіз математичної моделі передавальної характеристики гідрофона з використанням різних методів.

2. Не обґрунтований вибір кроку сканування для визначення ефективних площ випромінення під час дослідження коефіцієнтів дифракційних втрат.

3. Не зовсім зрозуміло необхідність використання програми “Calculation of R/P_0 ”, не показано її наукових особливостей, наприклад, з метою визначення коректних кількостей кілець (стор. 77-78 дисертації).

4. Чи залежать отримані в розділі 3 дисертації результати розрахунку

коефіцієнтів дифракційних втрат G_1 та G_2 від можливостей використаної обчислювальної техніки для підтвердження надійності та взаємозамінності методик Фея та Бейснера (стор. 84 дисертації).

5. Не достатньо чітко сформульовано рекомендації стосовно визначення ефективного радіусу і його впливу на вибір точки вимірювання, що безпосередньо впливає на точність отриманих даних під час калібрування гідрофона (стор. 84 дисертації).

6. Є низка граматичних, стилістичних неточностей та помилок.

Однак, ці зауваження суттєво не зменшують загальну наукову новизну та практичну цінність результатів та загальну позитивну оцінку роботи.

10. Висновки щодо дисертації

Дисертація Шпака Олександра Володимировича 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 AUV-02-2018. Отримані наукові та практичні результати мають значення для метрології, інформаційно-вимірювальної техніки, приладобудування та в галузі автоматизації. 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»

 Василь ЯЦУК

Підпис д.т.н., професора Василя ЯЦУКА
«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Національного
університету «Львівська політехніка»

« 11 » 06 2025 р.



 Роман БРИЛИНСЬКИЙ