

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, старшого наукового співробітника,
виконуючого обов'язки Генерального директора
Національного наукового центру «Інститут метрології»
Склярова Володимира Васильовича

на дисертацію Шпака Олександра Володимировича
на тему «Підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка,
галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Отримана на опонування дисертаційна робота Шпака Олександра Володимировича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 145 сторінок друкованого тексту, який містить 121 сторінки основного тексту, 29 таблиць і 47 рисунків, список використаних літературних джерел з 67 найменувань на 10 сторінках і 3 додатків на 16 сторінках.

Дисертацію написано українською мовою, оформлено відповідно до вимог чинного документу «Вимоги до оформлення дисертації», затвердженого Наказом МОН України від 12.01.2017 р. № 40.

Дисертаційна робота, що опонується, є завершеною кваліфікаційною працею, яка характеризується єдністю змісту і містить в собі нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу метрології складних акустичних систем, підвищенню точності калібрування гідрофонів, що використовуються для визначення параметрів акустичного виходу ультразвукового медичного обладнання під час процедур оцінки відповідності та калібрування.

Актуальність роботи обумовлена тим, що наявний спектр ультразвукового медичного обладнання закордонних і вітчизняних виробників в Україні обумовлює необхідність досліджень, 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 з метою забезпечення єдності та простежуваності

ультразвукових вимірювань в Україні та визнання їх результатів на міжнародному рівні.

Створення національного еталона не забезпечує простежуваність ультразвукових вимірювань. Для визнання еталона та результатів калібрування міжнародною метрологічною спільнотою, необхідно встановити ступінь еквівалентності національного еталона з національними еталонами інших держав за допомогою звірення. Для успішного проходження звірення, актуальним залишається питання підвищення точності національного еталона НДЕТУ AUV-02-2018, шляхом зменшення його розширеної невизначеності результату вимірювання. Отже, підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Основний зміст роботи складають результати досліджень, які проводились протягом 2017–2022 років, відповідно до наукового напрямку Державного підприємства «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем» в рамках науково-дослідних робіт: «Створення державного первинного еталона одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі» 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).

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукове значення роботи полягає в розробленні теоретичних та практичних висновків і рекомендацій, які викладені в науковому дисертаційному дослідженні. Вони є достатніми та належним чином обґрунтованими.

Автором на високому рівні, у достатньому обсязі, проведені теоретичні та експериментальні дослідження, запропоновані відповідні розрахункові теоретичні підходи та розроблені експериментальні методики оцінки складових

бюджету невизначеності результату вимірювань гідрофонів у водному середовищі. Обґрунтованість та достовірність наукових положень і результатів, рекомендацій і висновків підтверджується коректною постановкою завдань досліджень, високим збігом даних, що отримані в результаті комп'ютерного моделювання та результатами проведених експериментальних досліджень, а також апробацією результатів дисертаційної роботи у виробничих умовах.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій отриманих у дисертації, підтверджена забезпеченням комплексної дослідницької методології, обґрунтованістю вихідних позицій автора, застосуванням комплексу репрезентативних методів, адекватних предмету, меті та поставленим завданням, об'єктивним аналізом одержаних результатів експериментального дослідження, а також їх всебічною апробацією на науково-практичних заходах, успішним упровадженням результатів науково-дослідної роботи та застосуванням на практиці.

Наукову новизну наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації засвідчують наступні найбільш значущі наукові положення, що винесені на захист:

- за результатами аналізу математичної моделі калібрування гідрофонів, встановлено, що домінуючими складовими невизначеності відтворення одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі, є неточність визначення ефективної площі ультразвукового перетворювача, визначення границь похибок коефіцієнтів дифракційних втрат і визначення вимірювальної відстані випромінювач - приймач;
- вперше запропоновано удосконалену математичну модель передавальної характеристики гідрофона, з якої вилучено параметр струм збудження ультразвукового перетворювача, а струм короткого замикання використано як поправку до напруги відбитого від рефлектора ультразвукового сигналу, яку вимірюють на виході ультразвукового перетворювача;

- вперше розроблено та адаптовано алгоритми дослідження ефективної площі та ефективного радіусу ультразвукового перетворювача з метою підвищення точності визначення передавальної характеристики гідрофона.

Робота пройшла необхідну апробацію, оскільки її основні наукові положення, висновки та рекомендації доповідались та обговорювались на багатьох міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях та семінарах.

Основні положення та практичні результати дисертації доповідалися і обговорювались на таких конференціях:

- XI міжнародна науково-технічна конференція «Метрологія та вимірвальна 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-вимірвальних 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-вимірвальні технології IBT-2024 (13–14 листопада 2024 року, м. Львів).

Основні результати дисертації викладено у 12 публікаціях, з них: 4 статі у наукових фахових виданнях України та 8 тезконференцій.

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.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертації порушень академічної доброчесності не виявлено.

Аналіз змісту та форми дисертації.

У *вступі* аргументовано викладено актуальність теми дисертації, окреслено мету дослідження та науково-технічні завдання, необхідні для його виконання, представлені методи досліджень, вказані новизна і практичне значення отриманих результатів, наведені відомості про апробацію, публікації та реалізацію результатів дослідження.

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* істотна увага приділена реалізації 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 вимірювання.

У *третьому розділі* запропоновано та реалізовано методи вимірювання ефективної площі ультразвукового перетворювача та ефективного радіусу ультразвукового перетворювача. Отримано значення ефективних площ випромінювання УП та ефективного радіусу УП, які входять до складу

національного 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. Виміряно електричні параметри УП та підсилювача потужності з метою дослідження коректності застосування коефіцієнта шунтування, як поправки у математичній моделі.

Четвертий розділ присвячений результатам калібрування гідрофонів на національних еталонах НДЕТУ AUV-02-2018 (Україна) й РТВ (Німеччина) та виконано їх порівняння з метою перевірки коректності застосування удосконаленої математичної моделі передавальної характеристики гідрофона, доцільності заміни геометричних параметрів ультразвукового перетворювача (радіуса та площі) на ефективний радіус і ефективну площу, та зменшення стандартної невизначеності коефіцієнтів дифракційних втрат.

Висновки містять інформацію про сформульовані основні результати дисертаційної роботи.

Список використаних літературних джерел містить 67 посилань.

Додатки містять інформацію щодо проєкту Технічного протоколу пілотних звірень (чутливість холостого ходу гідрофона у вільному полі), список публікацій здобувача за темою дисертації, Акт впровадження результатів дослідження у ДП НДІ «Система».

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

Незважаючи на те, що дисертаційна робота Шпака Олександра Володимировича, в цілому, оцінюється вельми позитивно, їй властиві ряд недоліків:

Стосовно мети роботи. Метою роботи має бути *«Розроблення технічних засобів й методів підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі»*. Підготовка еталонів до міжнародних звірень не може бути метою дисертаційного дослідження.

Стосовно наукової новизни одержаних результатів. Перший пункт має бути *«За*

результатами аналізу.....вперше запропоновано математичну модель калібрування гідрофонів, що дозволяє.....» далі по тексту.

Неметрологічний термін «типова невизначеність» стор. 39, таблиця 1.2.

Некоректні переноси аббревіатур НДЕТУ-AUV-02-2018, ДСТУ-Н РМГ 43:2006

Незбалансований обсяг експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків.

Застосовані програмні засоби моделювання (Acoustic etalon) відносяться до інформаційного відображення результату вимірювання (стор. 46, рис. 2.4) й не відображають модель процесу вимірювання із застосуванням гідрофонів.

З тексту дисертаційного дослідження не зрозуміло, чи є вимоги (ДСТУ, ISO) до чіткого дотримання вхідних величин бюджету невизначеності результату вимірювань передавальної характеристики гідрофона (стор. 61 таблиця 2.7). Саме моделювання процесу вимірювання з урахуванням змін складових вхідних величин дає можливість виявити додаткові складові у бюджеті невизначеності результату вимірювань.

Однак, незважаючи на те, що зроблені зауваження дещо знижують, як відмічалося раніше, високу оцінку роботи, можна констатувати, що вони носять частковий характер і не стосуються основних положень дисертаційного дослідження, що виносяться на захист.

Загальні висновки та оцінка дисертації.

Дисертація Шпака Олександра Володимировича «Підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі» є завершеною науковою роботою, яка містить обґрунтовані наукові результати. У дисертації вирішено важливу науково-прикладну задачу метрології складних акустичних систем; підвищенню точності калібрування гідрофонів, що використовуються для визначення параметрів акустичного виходу ультразвукового медичного обладнання під час процедур оцінки відповідності та калібрування.

Отримані наукові положення та практичні результати є значущими для галузі автоматика та приладобудування в цілому та метрології і інформаційно-вимірювальної техніки зокрема. Тема, зміст дисертації та отримані наукові результати відповідають предметній області спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Таким чином, враховуючи актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх наукову новизну та практичну цінність, відповідність предметній області спеціальності, повноту викладу у наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор Шпак Олександр Володимирович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Офіційний опонент – доктор технічних наук,
старший науковий співробітник, виконуючий обов'язки
Генерального директора
Національного наукового центру
«Інститут метрології»



Володимир СКЛЯРОВ

Підпис виконуючого обов'язки Генерального директора ННЦ «Інститут метрології»
доктора технічних наук, старшого наукового співробітника
Володимира СКЛЯРОВА завіряю.

Заступник генерального директора
ННЦ «Інститут метрології»
з науково-метрологічної роботи,
д-р. фіз.-мат. наук, проф.



Олександр ПРОКОПОВ