

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

Середюка Ореста Євгеновича

на дисертаційну роботу

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-вимірвальна техніка в галузі знань

15 – Автоматизація та приладобудування

1. Актуальність теми дисертації

Серед напрямків розвитку і вдосконалення інформаційно-вимірвальних технологій сьогодення все більшого застосування набувають методи ультразвукових технологій у сферах вимірювання, контролю, моніторингу, діагностування та ін. Це стосується практично всіх галузей виробництва, науки, техніки, а також медицини, оскільки вимірювання з використанням ультразвукових технологій в більшості випадків забезпечують досягнення необхідної точності при реалізації неінвазивного дослідження внутрішньої структури різних об'єктів і процесів, в тому числі органів та тканин людини. Ці фактори зумовлюють необхідність розроблення нових і вдосконалення існуючих інформаційно-вимірвальних систем для вимірювання параметрів акустичного виходу ультразвукових випромінювачів як компонента спеціалізованого обладнання при реалізації метрологічного забезпечення при оцінці відповідності та при калібруванні. Вказані обставини обґрунтовують потребу у вдосконаленні сучасної еталонної бази, в тому числі для забезпечення точного калібрування гідрофонів, а також встановлення ступеня еквівалентності національного державного первинного еталона одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі НДЕТУ AUV-02-2018 для забезпечення єдності та простежуваності ультразвукових вимірювань і міжнародного визнання вказаного еталона.

Тому вдосконалення технічних засобів і методів для підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі є актуальною задачею, яка характеризує актуальність дисертаційної роботи і стосується напряму наукового дослідження у сфері метрології інформаційно-вимірвальної техніки.

2. Аналіз структури та змісту дисертації

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел (67 найменувань), а також трьох додатків, 47 рисунків та 29 таблиць. Загальний обсяг основного тексту дисертації становить 121 сторінку.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, вказані мета і основні задачі досліджень, об'єкт, предмет та методи дослідження, наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, наведено дані про апробацію, публікації та особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** поданий аналіз гідрофонів, які є об'єктами дослідження в дисертаційній роботі, і методів їх калібрування. Розглянуті найбільш поширені типи гідрофонів, їхні технічні характеристики, особливості конструктивного виконання і застосування для практичних цілей. Досить детально викладені методи калібрування гідрофонів з наведенням функціональних схем і алгоритмічних залежностей визначення їх чутливості. На основі проведеного аналізу зроблений висновок щодо вибраного для дослідження методу калібрування гідрофонів з урахуванням вимог точності, надійності та доступності технічної реалізації.

У **другому розділі** розглянута реалізації методу взаємності для калібрування гідрофонів. При цьому наведена технічна реалізація вказаного методу з двома перетворювачами з використанням національного державного первинного еталону одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі НДЕТУ АUV-02-2018. Подана математична модель методу взаємності з розглядом джерел невизначеності еталона, на підставі чого сформований бюджет невизначеності калібрування гідрофона, чим досягається достовірність і відтворюваність результатів вимірювань.

Третій розділ присвячений дослідженню характеристик ультразвукових перетворювачів, які стосуються визначення і метрологічного аналізу їх ефективної площі та ефективного радіусу. Отримані алгоритмічні вирази для обчислення ефективної площі випромінювання ультразвукового перетворювача з наведеними результатами сканування ультразвукового поля чотирьох типів перетворювачів на різних частотах. Проведений розрахунок невизначеності вимірювання ефективної площі таких перетворювачів. Розроблена методологія визначення ефективного радіуса ультразвукового перетворювача з відповідним програмним забезпеченням і здійснений розрахунок невизначеності вимірювання цієї характеристики. Здійснений порівняльний аналіз двох підходів (методики Фея і Бейснера) для розрахунку коефіцієнтів дифракційних втрат і показано їх достатню узгодженість.

Наведено результати вимірювання електричних параметрів ультразвукового перетворювача та підсилювача потужності для перевірки коректності застосування коефіцієнта шунтування як поправки у математичній моделі.

У **четвертому розділі** представлено результати калібрування гідрофонів на базі національного еталона НДЕТУ AUV-02-2018 (Україна) та національного еталона Німеччини (РТВ). Здійснений порівняльний аналіз отриманих даних, який підтвердив коректність застосування удосконаленої математичної моделі передавальної характеристики гідрофона. За даними результатів калібрування гідрофонів підтверджено вимірювальні та калібрувальні можливості національного еталона НДЕТУ, його відповідність сучасним метрологічним вимогам і можливість застосування у міжнародних звіреннях.

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

3. Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтування наукових положень дисертації забезпечується коректністю постановки і вирішення завдань дослідження, достатньо чітким формулюванням мети і вибору методу досліджень, використанням нормативно затверджених методик щодо вимірювання характеристик ультразвукових перетворювачів, коректним використанням основних положень теорії генерування і поширення ультразвуку, теорії автоматичного керування при проектуванні і дослідженнях ультразвукових перетворювачів, а також цифрових методів обробки вимірювальної інформації при апаратно-програмних дослідженнях акустичних полів ультразвукових перетворювачів.

Експериментальні дослідження і узагальнення результатів здійснювалося із застосуванням методів планування експерименту, теорії вимірювань, методології оцінювання невизначеності при вимірюваннях, а також з використанням методів числового опрацювання результатів експериментів за допомогою персональних комп'ютерів.

Отримані автором наукові результати у відповідності до поставлених задач є логічними, не суперечать фундаментальним фізичним і математичним закономірностям, повністю відображають отримані автором результати, а також підтверджуються достатньою апробацією основних положень і висновків на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Достовірність отриманих в роботі положень і наукових результатів визначається їх теоретичним обґрунтуванням та експериментальним підтвердженням результатів досліджень, достатньою збіжністю результатів математичного і фізичного моделювання та результатами метрологічних досліджень, а також впровадженням результатів досліджень в ДП НДІ “Система”.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у подальшому розвитку та вдосконаленні гідрофонів шляхом їх теоретичних, метрологічних і експериментальних досліджень при дослідженні ультразвукових полів у водному середовищі.

Найважливішими складовими наукової новизни є наступні:

1) удосконалено математичну модель калібрування гідрофонів, яка враховує визначення ефективної площі ультразвукового перетворювача і визначення вимірювальної відстані між випромінювачем і приймачем, а також границі похибок коефіцієнтів дифракційних втрат, що дозволяє зменшити невизначеність при відтворенні одиниці звукового тиску у водному середовищі;

2) удосконалено математичну модель передавальної характеристики гідрофона, в якій використано струм короткого замикання як поправку до вимірюваної напруги відбитого від рефлектора ультразвукового сигналу, а параметр струму збудження ультразвукового перетворювача вилучено, що підвищує точність розрахунків;

3) удосконалено методику визначення ефективної площі та ефективного радіуса ультразвукового перетворювача, що сприяє підвищенню точності визначення передавальної характеристики гідрофона;

4) набула подальшого розвитку теорія метрологічних досліджень гідрофонів у водному середовищі на базі теорії невизначеності з метою коректного оцінювання їх метрологічних характеристик.

4. 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. Виконаний 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 АUV-02-2018 до міжнародних звірень шляхом порівняння результатів калібрування гідрофонів з НМІ РТВ Німеччина.

5. Здійснена апробація результатів дисертаційних досліджень шляхом впровадження в умовах ДП НДІ «Система».

5. Повнота викладу наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації

За темою дисертації з викладенням її основних результатів опубліковано 12 наукових праць, з яких 4 - публікації у наукових фахових виданнях України, в тому числі 2 включені до бази даних Web of Science, та 8 тез доповідей на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях.

У загальному представлені основні наукові результати висвітлені у наукових працях здобувача і достатньою мірою відображають отримані результати дисертаційної роботи.

6. Мова та стиль дисертаційної роботи

Текст дисертаційної роботи викладено українською мовою. Стиль викладення матеріалів дослідження відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, вирізняється науковістю, системністю, обґрунтованістю, логічністю та послідовністю.

Дисертаційну роботу оформлено відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

7. Оцінка змісту дисертації та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота є цілісною, завершеною та самостійно виконаною науковою працею, яка містить особистий внесок здобувача, має теоретичну цінність і практичну значущість для розвитку сучасної науки за спрямуванням інформаційно-вимірювальних технологій.

Ознайомившись зі звітом подібності за результатами перевірки дисертації на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Шпака О.В. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень, що відповідає принципам академічної доброчесності. Використання ідей,

результатів і текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела, яке подано з дотриманням норм законодавства про авторське право.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Недостатня кількість посилань на вітчизняні наукові дослідження у сфері розроблення і вдосконалення ультразвукових перетворювачів, які використовуються при функціонуванні у рідинних середовищах, в тому числі дослідження стосовно гідрофонів.

2. Недостатньо відображено з точки зору композиції метрологічних складових результати підвищення точності калібрування гідрофонів, що відображено в темі дисертації.

3. З дисертаційної роботи є незрозумілим питання наявності чи врахування похибки від взаємного орієнтування ультразвукового перетворювача та гідрофона при досягненні суміщення їх акустичних осей при експериментальних дослідженнях, пов'язаних з калібруванням гідрофонів.

4. Відсутній алгоритм розрахунку сумарної стандартної невизначеності передавальної характеристики гідрофона з обґрунтуванням кількісних значень граничних похибок вхідних величин, що подано в табл. 2.7.

5. Не конкретизовані особливості практичної реалізації автоматичного растрового сканування при визначенні ефективної площі ультразвукових перетворювачів, що наведено на рис. 3.3...3.6, зокрема в діапазоні обмеження значень мінімальних використовуваних напруг.

6. Недостатньо конкретно поданні коментарі до результатів дослідження розподілу ультразвукового тиску перетворювачів з врахуванням їх геометричного і ефективного радіусу (рис. 3.17... 3.26).

7. Незрозумілим є суть терміну «відносний метод калібрування» (стор. 27).

8. Висновки до дисертаційної роботи недостатньо відображають її наукову новизну і не містять у формулюванні їх трьохелементних компонентів.

9. При викладенні використовуваних методів досліджень в дисертації не відображені методи, які стосуються метрологічних аспектів спеціальності 152, зокрема невизначеності вимірювань.

10. Є ряд зауважень щодо оформлення дисертації:

10.1 Некоректно сформульовано предмет досліджень, мета досліджень, завдання досліджень (відсутня наукова складова напрямків досліджень).

10.2 Відсутні назви або коментарі при поданні рисунків 1.2а і 1.2б.

Проте висловлені зауваження, не є принциповими та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

9. Загальні висновки за дисертаційним дослідженням

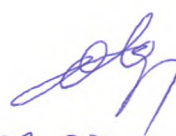
Дисертація здобувача Шпака Олександра Володимировича на здобуття ступеня доктора філософії на тему «Підвищення точності калібрування гідрофонів у водному середовищі» виконано на достатньому науковому рівні, містить наукові результати дослідження, які вирішують актуальне науково-прикладне завдання підвищення точності калібрування гідрофонів. Робота не порушує принципів академічної доброчесності та є самостійним, цілісним, закінченим науковим дослідженням. Дисертаційна робота за актуальністю, теоретичною значущістю, практичною цінністю, науковою новизною відповідає спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». В цілому дисертація також відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Кабінетом Міністрів України, №44 від 12 січня 2022 року (із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 502 від 19.05.2023 року).

В дисертації забезпечено повноту викладу у наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, наукових положень, висновків і рекомендацій.

Вище викладене є достатньою підставою вважати, що здобувач Шпак Олександр Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Офіційний опонент:

професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу д.т.н., проф.

 Орест СЕРЕДЮК
02.07.2025р.

