

**ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
**Ільницької Тетяни Мар'янівни**  
**“НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ЗАСАДИ РОЗРОБЛЕННЯ ЕТАЛОНА ОДИНИЦІ  
ПОТУЖНОСТІ УЛЬТРАЗВУКУ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ”,**  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне  
забезпечення

***Актуальність теми дисертації***

На сьогодні, у зв'язку з розширенням міжнародної співпраці та глобалізацією економіки, стоїть проблема створення глобальної системи єдності вимірювань, щоб результати вимірювань визнавалися в усьому світі та простежувалися до еталонів системи одиниць SI.

Ультразвук у водному середовищі широко використовують практично в усіх галузях національної економіки, у науці, соціальній сфері та медицині. Неодмінною умовою ефективного застосування ультразвуку є точні вимірювання його характеристик і надійний контроль вихідних акустичних параметрів апаратури. І якщо за кордоном діє розгалужена метрологічна інфраструктура вимірювання акустичних величин у мегагерцовому діапазоні частот, функціонують первинні та робочі еталони одиниці потужності ультразвуку, одиниці звукового тиску і швидкості ультразвуку у водному середовищі, розроблені відповідні нормативні документи, то в Україні донедавна не існувало системи метрологічного забезпечення одиниці вимірювання акустичних величин у мегагерцовому діапазоні частот.

Тому постала потреба створення системи метрологічного забезпечення вимірювання основних параметрів мегагерцового ультразвуку і побудови, у першу чергу, еталонів одиниць вимірювання фізичних величин, які характеризують ультразвукове поле. Одним з основних параметрів акустичного поля, який нормується для всіх видів ультразвукової апаратури, є потужність ультразвукового променя, який генерується ультразвуковим випромінювачем.

Також важливим питанням є розроблення ефективного методу побудови еталонів, який би дав можливість в умовах обмежених ресурсів створювати еталони міжнародного науково-технічного рівня.

У зв'язку з цим дисертаційна робота Т.М. Ільницької, яка присвячена вирішенню важливого наукового завдання розвитку метрологічного забезпечення вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі шляхом розроблення науково-технічних засад створення еталонної бази, у тому числі розроблення раціонального методу побудови еталонів, створення еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі та розроблення нормативних документів, зокрема, повірочної схеми, є актуальною та своєчасною.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується відповідністю її проблематики пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України,

що визначені в Концепції розвитку Державної метрологічної системи на період до 2015 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.06.2008 р., № 874-р.), Державній програмі розвитку еталонної бази на 2006-2010 роки (Постанова Кабінету Міністрів України від 01.03 2006 р., № 228), та Розпорядженні Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. № 844-р «Про схвалення стратегії розвитку системи технічного регулювання на період до 2020 року».

### ***Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій***

Обґрунтованість основних положень, висновків та рекомендацій, наведених у дисертації, достатньо переконлива. Ступінь обґрунтованості та достовірності забезпечується строгістю постановки і вирішення задач, коректністю виконаних експериментів і розрахунків та підтверджується малими значеннями розбіжностей між результатами теоретичного аналізу та експериментальних досліджень, позитивними результатами широкої апробації основних результатів, положень та висновків на міжнародних конференціях.

### ***Наукова новизна та практична цінність***

Наукова новизна дисертаційної роботи, в першу чергу, полягає в удосконаленні математичної моделі відтворення еталоном одиниці потужності ультразвуку, яка враховує конструктивні параметри еталона та умови його експлуатації, що дозволило підвищити точність результатів вимірювань. Автором також удосконалено процедуру керування невизначеністю (методику мінімізації непевності, назва яка використовується автором) шляхом використання методів імітаційного моделювання та числового диференціювання, що дозволило застосувати її на початковій стадії розроблення еталона одиниці потужності ультразвуку для визначення структури вимірювальних каналів еталона при заданих значеннях апріорної невизначеності. Вперше розроблено й застосовано адаптивний метод побудови еталонів одиниць вимірюваних величин із заданими характеристиками точності за умов обмежених ресурсів, який базується на ітеративному уточненні модельного рівняння та використанні удосконаленої методики мінімізації непевності у вимірюванні під час відтворення одиниці фізичної величини з урахуванням кореляційного зв'язку показників точності з вартістю вимірювальної апаратури. Розвинуто застосування методу Монте-Карло для оцінювання невизначеності еталонів, а також використання методу Монте-Карло не лише для оцінювання невизначеності вже діючого еталона, а й у процесі розроблення еталона, що дозволило зменшити трудомісткість оцінювання невизначеності вимірювання створюваного еталона одиниці потужності ультразвуку та оцінити внесок невизначеності кожної вхідної величини у сумарну стандартну невизначеність вихідної потужності ультразвуку.

Практична цінність полягає в тому, що за результатами дисертаційної роботи розроблено та введено в дію еталон одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі ВЕТУ 10-169-01-11, який проходить міжнародні звірення; розроблено і затверджено повірочну схему для засобів вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі ЛПУ 10-01-2011; розроблено та впроваджено методики атестації еталона, калібрування ультразвукових випромінювачів та повірки вимірювачів потужності ультразвуку.

### ***Структура та обсяг дисертації***

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 8 додатків, містить 119 сторінок основного тексту, 32 рисунки, 14 таблиць та список використаних джерел зі 122 найменувань.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, поставлено мету і завдання дослідження, а також коротко сформульовано основні результати, одержані в роботі, вказано їх значення для науки та практики, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

**Перший розділ** присвячено аналізу стану метрологічного забезпечення вимірювання акустичних величин в ультразвуковому мегагерцовому діапазоні частот в Україні та за кордоном, методів вимірювання потужності ультразвуку. Розглянуто проблеми побудови еталонів одиниць вимірювання.

Визначено основні недоліки відомих методів вимірювання потужності ультразвуку, визнано прийнятним для реалізації в еталоні одиниці потужності ультразвуку методу балансу радіаційної сили з використанням прецизійних електронних ваг.

Сформульовано напрям досліджень та завдання, які необхідно вирішити при побудові еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі в умовах обмежених ресурсів.

**У другому розділі** викладено особливості процесу випромінювання ультразвуку та поширення його у водному середовищі, подано основні рівняння, які описують акустичний радіаційний тиск, проведено теоретичні дослідження та уточнено математичну модель вимірювання під час відтворення одиниці потужності ультразвуку, випромінюваного у водне середовище, подано математичну модель визначення акустичної потужності ультразвукового променя, випромінюваного ультразвуковим випромінювачем.

На основі проведених теоретичних досліджень особливості процесу поширення ультразвуку у водному середовищі удосконалено математичну модель вимірювання під час відтворення одиниці потужності ультразвуку, випромінюваного у водне середовище, яка враховує конструктивні параметри еталона, зокрема, конструкцію ультразвукових випромінювачів, мішені з підвісками, вимірювальної посудини, та умови експлуатації, що дозволило підвищити точність результатів вимірювання.

Подано особливості побудови фізичної моделі ультразвукового випромінювача та математичну модель визначення акустичної потужності ультразвукового променя, випромінюваного ультразвуковим випромінювачем.

**У третьому розділі** дисертаційної роботи удосконалено методику мінімізації непевності, подано розроблений адаптивний метод створення еталонів одиниць вимірюваних величин із заданими високими характеристиками точності в умовах обмежених ресурсів; з використанням адаптивного методу визначено оптимальний варіант структурно-функціональної схеми еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі.

Методику мінімізації непевності (процедуру керування невизначеністю – PUMA) удосконалено шляхом використання методу числового диференціювання і/або методу імітаційного моделювання (методу Монте-Карло) замість аналітичного способу оцінювання непевності. Для удосконаленої методики мінімізації непевності подано алгоритм складання бюджету невизначеності (непевності).

Подано детальний опис розробленого адаптивного методу створення еталонів одиниць вимірюваних величин із використанням удосконаленої методики мінімізації непевності. Застосовано розроблений адаптивний метод для створення еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі, що дозволило визначити оптимальний варіант структурно-функціональної схеми еталона, сформулювати вимоги до конструкції еталона та до приміщення, в якому його встановлюють.

За результатами теоретичних досліджень розроблено та виготовлено еталонну установку.

**У четвертому розділі** дисертації подано результати експериментальних досліджень, які дозволили визначити робочий діапазон частот еталонної установки і діапазон відтворюваних потужностей випромінюваного ультразвуку та оцінити характеристики точності: систематичну і випадкову похибки та розширену невизначеність у вимірюванні під час відтворення одиниці вимірювання; розглянуто питання розроблення нормативної бази для забезпечення простежуваності результатів вимірювань при передаванні розміру одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі.

За результатами експериментальних досліджень визначено метрологічні характеристики еталонної установки, що дозволило її перевести в еталон одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі. Розроблено методику та прикладне програмне забезпечення для оцінювання невизначеності вимірювання при відтворенні одиниць фізичних величин еталонами в галузі акустика та ультразвук. Невизначеність у вимірюванні при відтворенні одиниці потужності ультразвуку еталонам оцінювали аналітичним методом та методом Монте-Карло.

Встановлено, що застосування методу Монте-Карло дозволило зменшити трудомісткість оцінювання невизначеності вимірювання при відтворенні одиниці потужності ультразвуку еталонам та оцінити внесок невизначеності кожної вхідної величини в сумарну стандартну невизначеність.

Розроблено повірочну схему для засобів вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі ЛПУ 10-01-11, методику атестації еталона,

методику калібрування ультразвукових випромінювачів на еталоні та методику повірки вимірювачів потужності ультразвуку.

Подано рекомендації щодо подальшого вдосконалення системи метрологічного забезпечення вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі в мегагерцовому діапазоні в Україні.

У **висновках** сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

**Додатки** містять: оцінку необхідних ресурсів для створення еталона та вибір обладнання, розрахунок коефіцієнтів чутливості; текст програми для імітаційного моделювання процесу вимірювання на еталоні за методом Монте-Карло; методику атестації еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі; локальну повірочну схему для засобів вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі; свідоцтва метрологічної атестації еталона; висновки, акти випробувань та впровадження виконаних робіт.

Дисертаційна робота має логічну структуру, написана чіткою технічною мовою. Робота повною мірою відповідає вимогам до дисертаційної роботи, встановленим МОН України.

### ***Публікації та апробація за темою дисертаційної роботи***

За темою дисертації опубліковано у 16 наукових праць, у тому числі 7 статей опубліковано у фахових виданнях України, в яких наведено основні результати роботи, з них: 1 стаття опублікована у виданні України та 1 стаття – у закордонному періодичному виданні, що належать до наукометричної бази.

Апробація основних результатів дослідження була здійснена на V Міжнародному науково-технічному семінарі «Неопределенность измерения: научные, прикладные и методические аспекты» (УМ-2008) (м. Судак, 2008); науково-технічній конференції до 40-річчя створення ДП НДІ «Система», (м. Львів, 2008); III Міжнародному конкурсі «Лучший молодой метролог КООМЕТ-2009» (Білорусь, м. Мінськ, 2009); IV Міжнародному конкурсі «Лучший молодой метролог КООМЕТ-2011» (Росія, м. Москва, 2011); Міжнародній науково-технічній конференції «Система-2013» «Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань» (м. Львів, 2013); IX Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія та вимірювальна техніка» («Метрологія-2014») (м. Харків, 2014).

Публікації та апробація достатньо повною мірою відображають тему дисертаційної роботи.

Автореферат дисертації адекватний їй за змістом і відповідає вимогам МОН України, що ставляться до авторефератів.

### ***Недоліки та зауваження по роботі***

1. Як відомо, важливим параметром, що використовується в ультразвуковій діагностиці, є інтенсивність опромінення у  $\text{мВт/см}^2$ . Так для контролю безпеки ультразвукових діагностичних приладів використовується граничне значення інтенсивності ультразвуку і зокрема в

ГОСТ 26831 - 50 мВт/см<sup>2</sup>. У дисертації недостатньо висвітлено перехід від потужності ультразвуку на еталоні до максимальної інтенсивності приладів. Мова йде лише про потужність, а інтенсивність ніде не фігурує. Це потребує пояснення.

2. Недостатньо коректно використовуються терміни «похибки», «невизначеності» («непевності»). Так, наприклад, навіть в авторефераті, стор. 13, наведені характеристики точності - систематична і випадкова похибка, а невилучена систематична похибка не наведена. На цій же сторінці написано «оцінку сумарної стандартної непевності обчислюють як експериментальний СКВ», тобто, без стандартної невизначеності типа В за даними літератури.

3. У п. 2.4 дисертації та на стор. 6, перший абзац автореферату використано жаргонний вислів «математична модель процесу випромінювання акустичної потужності ультразвуковим випромінювачем». Ультразвуковий випромінювач випромінює ультразвуковий промінь, характеристикою якого є акустична потужність. Доцільно подати у такій редакції: «математична модель визначення акустичної потужності ультразвукового променя».

4. На стор. 6 відзначено, що «на вимірювання, результати яких використовуються під час робіт з охорони здоров'я, захисту життя і здоров'я громадян, поширюється державний метрологічний нагляд». Але поняття «державний метрологічний нагляд» не існує в Законі України «Про метрологію та метрологічну діяльність» №1314 від 05.06.2014 р. на який зроблено посилання. Автору слід врахувати необхідність використання словосполучень «метрологічний нагляд» та «законодавчо регульовані ЗВТ» при посиланні на цей Закон.

5. Хоча формули (1.1), (2.1) – (2.8) є загальновідомими, наводити їх треба з посиланням на джерела.

6. На стор. 36 найменування одиниці потужності «ват» слід писати з маленької літери, на відміну від позначення «Вт».

7. Незрозуміло, чому складові стандартної невизначеності та коефіцієнту чутливості, що відповідають  $F_v$  вхідних величин в таблицях 3.2, 3.3 однакові? Але ж під час другої ітерації використано ваги більшої точності.

Наведені зауваження **не зменшують** наукову новизну та практичну значимість дисертаційної роботи.

До суттєвих наукових результатів роботи Ільницької Тетяни Мар'янівни слід віднести запропонований в розділі 3 дисертації адаптивний метод створення еталонів із заданими високими характеристиками точності за умови обмежених ресурсів. Хоча термін «адаптивний», на мій погляд, є не зовсім коректним. Взагалі адаптація – це процес пристосування, підстроювання. Краще було б використати інший термін, наприклад «ітеративний метод». Однак питання термінології не повинні впливати на висновок щодо важливості отриманого результату. У рамках запропонованого методу гармонічно поєднуються принципи економічної доцільності та оптимального вибору за

комплексним критерієм «максимальна точність при мінімальній вартості». Важливо те, що такий підхід має універсальний характер і може застосовуватися для будь-якого виду вимірювань.

### **Висновки**

Дисертаційна робота Ільницької Т.М є завершеною науковою працею і присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання, що стосується розроблення науково-технічних засад метрологічного забезпечення вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі для забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань в Україні.

Дисертаційна робота Ільницької Тетяни Мар'янівни «Науково-технічні засади розроблення еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі» за актуальністю теми, науковою новизною і практичною цінністю отриманих результатів відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Офіційний опонент,  
генеральний директор  
Національного наукового центру  
«Інститут метрології»  
д-р техн. наук, с.н.с.



П.І. Несжмаков