

## ВІДГУК

офіційного опонента – генерального директора  
Національного наукового центру «Інститут метрології»,

д.т.н., професора, Несжмакова Павла Івановича

на дисертацію Костерова Олександра Олексійовича  
«Удосконалення та дослідження державного первинного еталона  
одиниці звукового тиску в повітряному середовищі», подану на  
здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15  
«Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152  
«Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Акустичні вимірювання виконують у багатьох галузях промисловості, вони широко застосовуються в охороні довкілля, охороні праці та охороні здоров'я людини. Для всіх цих сфер спільним знаменником є покращення оцінення та пом'якшення впливу шуму на людину та середовище, що її оточує. Точність та достовірність результатів акустичних вимірювань значною мірою залежить від характеристик еталона що відтворює одиницю та системи передавання розміру одиниці. Серед основних напрямків розвитку вимірювань у повітряній акустиці слід відзначити удосконалення відповідної метрологічної інфраструктури та створення нових типів та методик їх калібрування.

Дисертація Костерова О.О. присвячена вирішенню важливої науково-прикладної задачі покращенню метрологічних характеристик державного первинного еталону України одиниці звукового тиску в повітряному середовищі через удосконалювання еталона, виявлення та дослідження найбільш впливових складових невизначеності для вдосконалювання методів і засобів вимірювання, які дають змогу зменшувати невизначеність відтворення та передавання одиниці звукового тиску, комплексне аналізування складових невизначеності під час калібрування мікрофонів.

### **2. Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами та темами**

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка»:

розроблення методів та методик вимірювання; метрологія і метрологічне забезпечення в інформаційно-вимірювальних технологіях.

Дисертаційне дослідження базується на результатах, які отримано під час виконання науково-дослідних робіт відповідно до тематичного плану державного підприємства «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем» за такими темами: «Удосконалення державного первинного еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі» (номер державної реєстрації 0107U004934); «Проведення звірень державного первинного еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі з національними еталонами інших держав і міжнародними еталонами» (номер державної реєстрації 0116U007243); «Дослідження стабільності відтворення та зберігання одиниці звукового тиску у повітряному середовищі державним первинним еталоном ДЕТУ 10-01-11» (номер державної реєстрації 0116U007241).

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

У дисертаційній роботі вперше:

- встановлено, що основними чинниками, які визначають метрологічні характеристики державного первинного еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі є оцінки електричного передавального імпедансу, параметрів довкілля, параметрів мікрофонів та розмірів камери малого об'єму;
- за результатами проведених досліджень математичної моделі процесу калібрування мікрофонів, запропоновано та впроваджено удосконалену структуру державного первинного еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі, що дозволило зменшити невизначеність калібрування мікрофонів;
- встановлено частотні залежності впливу шумів із нормальним розподілом у вимірювальних каналах на стандартний відхил результатів калібрування мікрофонів із використанням моделювання методом Монте-Карло та показано суттєве зростання їх впливу на інфранизьких частотах;
- запропоновано метод для оцінення значення частоти спряження під час уведення поправки на теплопровідність та запропоновано використання в частотній смузі нижче від цього значення - низькочастотну модель поправки, а у

високочастотній області – широкосмугову модель, що забезпечує зменшення невизначеності результатів калібрування у робочому діапазоні частот.

#### **4. Практичне значення одержаних результатів**

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

- виконанні порівняльного аналізу існуючих методів та засобів відтворення ОЗТ в провідних акустичних лабораторіях світу та визначанні теоретичних засад удосконалення еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі;
- визначанні структури побудови для удосконалення еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі;
- створенні та введенні в експлуатацію удосконаленої еталонної установки для калібрування лабораторних еталонних мікрофонів за тиском в діапазоні частот від 2 Гц до 25 кГц Державного первинного еталону одиниці звукового тиску в повітряному середовищі;
- розробленні та впровадженні методик калібрування еталонних мікрофонів;
- проведенні міжнародних ключових звірень COOMET.AUV.A-K5 за результатами яких оновлено 15 рядків випробувальних та калібрувальних можливостей України (СМС-рядків) в царині акустичних вимірювань в базі даних ключових звірень Міжнародного бюро мір і ваг (KCDV BIPM).

**Мова та стиль викладення дисертації** дозволяє зрозуміти суть розроблених наукових положень та одержаних практичних результатів. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та Тимчасовому порядку присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167).

#### **5. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у роботі**

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій базується на кваліфікованому підході до постановки завдань досліджень, логічно правильному обґрунтуванні прийнятих допущень під час вибору математичних моделей і коректному використанні

математичного апарату. Крім того, достовірність підтверджується результатами міжнародних ключових звірень COOMET.AUV.A-K5.

#### **6. Повнота оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

За темою дисертації опубліковано 20 наукових праць, зокрема 3 статті у наукових фахових виданнях України, 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до міжнародних наукометричних баз, та 14 тез доповідей.

Перераховані публікації з достатньою повнотою відбивають наукові та практичні результати дисертації. З праць, що їх опубліковано у співавторстві, у дисертації використано лише ті результати, які отримано здобувачем самостійно.

#### **7. Загальна характеристика структури та змісту дисертаційної роботи**

Дисертація за структурою складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку використаних джерел. Робота викладена на 136 сторінках основного тексту, містить 50 рисунків та 25 таблиць. Перелік використаних джерел містить 60 найменувань.

У **вступі** висвітлено актуальність задачі, мету і завдання дослідження, наукову новизну отриманих результатів і їх практичну цінність, а також відомості про особистий внесок здобувача, показаний зв'язок роботи з науковими планами і програмами.

**Перший розділ** дисертації присвячено порівняльному аналізу наявних методів та засобів відтворювання одиниці звукового тиску. Розглянуто первинний метод калібрування мікрофонів за тиском. Зазначено, що калібрування мікрофонів методом взаємності сьогодні є фактично єдиним первинним методом калібрування який дає змогу досягати найвищого рівня точності. Проаналізовано метрологічні характеристики державного еталона ДЕТУ 10-01-00 та зазначено, що вони не відповідали сучасному стану вимірювань. За результатами аналізування визначено теоретичні засади вдосконалювання еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі.

**Другий розділ** дисертації присвячено визначенню та оцінюванню впливу джерел невизначеностей вимірів під час калібрування еталонних мікрофонів.

Наведено детальну математичну модель процесу калібрування мікрофонів методом взаємності. Подано математичну модель та еквівалентну схему мікрофона; еквівалентну схему вимірювання під час визначання чутливості мікрофонів за тиском.

Проаналізовано вплив параметрів довкілля на акустичний передавальний імпеданс системи «мікрофони—камера малого об'єму» і визначено, що найбільший вплив на невизначеність результатів калібрування мікрофонів має невизначеність визначання температури повітря в камері малого об'єму. Також проаналізовано вплив інших чинників на невизначеність вимірів під час калібрування мікрофонів.

У третьому розділі дисертації проаналізовано існуючі моделі та проведено теоретичні дослідження впливу невизначеності оцінювання поправки на теплопровідність на результати калібрування мікрофонів для різних моделей та визначено метод обчислювання чутливості мікрофонів за тиском на державному первинному еталоні.

У четвертому розділі дисертації на основі аналізу чинників, що впливають на невизначеність виміру під час калібрування мікрофонів подано розроблену структурну схему вдосконаленої еталонної установки для калібрування мікрофонів за тиском та результати експериментальних досліджень метрологічних характеристик удосконаленої еталонної установки для калібрування мікрофонів за тиском.

Подано аналіз результатів двосторонніх ключових регіональних звірень із національним метрологічним інститутом Польщі (GUM), який брав участь у звіреннях SSAUV.A-K5, і який виконав функцію зв'язуючої лабораторії, що дало змогу приєднати отримані результати до опорного значення ключового звірення (KCRV) та оцінити ступінь еквівалентності вдосконаленій еталонній установці відносно інших учасників звірень.

**Загальні висновки** дисертаційної роботи узгоджуються з метою та завданням дослідження. Висновки за результатами дисертаційного дослідження відповідають поставленим завданням. Отримані результати характеризуються

практичною цінністю, обґрунтовані теоретично та підтверджені на міжнародному рівні. В цілому, дисертація Костерова Олександра Олексійовича є завершеним і повним дослідженням, яке містить теоретичні розробки та необхідні експериментальні перевірки.

#### **8. Зауваження до дисертаційної роботи**

1. В першому розділі дисертаційної роботи недостатньо широко розкрито питання теоретичного обґрунтування шляхів удосконалення державного первинного еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі.

2. В третьому розділі було б бажаним навести коментарі отриманих різниць між рівнями та фазами чутливості мікрофонів для різних моделей визначення поправки на теплопровідність.

3. В четвертому розділі дисертаційної роботи приділено недостатньо уваги теоретичному обґрунтуванню вибору структури удосконаленого еталона.

4. Детальні таблиці результатів експериментальних досліджень (четвертий розділ) бажано було б винести в додаток, а в самій дисертації залишити більш узагальнені результати.

5. Не на всіх рисунках наведено границі невизначеності отриманих результатів.

6. В дисертаційній роботі не розглянуто питання розширення робочого діапазону в бік інфранизьких частот.

7. Недостатньо розкрито питання можливості використання в якості первинних перетворювачів мікрофонів різних виробників.

8. Не завжди використовується загальноприйнята форма представлення чисельних значень невизначеності (максимум з двома значущими цифрами після коми).

#### **9. Загальний висновок на дисертаційну роботу**

В цілому зроблені зауваження не впливають на отримані наукові результати, не зменшують наукову новизну та практичну значимість дисертаційної роботи.

Таким чином, дисертаційна робота Костерова О.О. «Удосконалення та дослідження державного первинного еталона одиниці звукового тиску в

повітряному середовищі» є, завершеною науковою працею і присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання, що стосується удосконалення та дослідження державного первинного еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі для забезпечення простежуваності акустичних вимірювань в Україні, а її автор, Костеров Олександр Олексійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

### Офіційний опонент

Генеральний директор  
Національного наукового центру  
«Інститут метрології»,  
д.т.н., професор



Павло НЕСЖМАКОВ