

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу  
Коржика Максима Олексійовича  
на тему «Дослідження характеристик електропружних перетворювачів в  
режимах випромінювання та прийому»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації  
за спеціальністю 171 – Електроніка

**Актуальність теми дисертації** полягає в подальшого розвитку методології розв'язання наскрізних задач прийому і випромінювання звукових хвиль акусто-електричного перетворювача з врахуванням взаємного перетворення акустичної, механічної та електричної енергії. При цьому досліджуваний сферичний п'єзокерамічний перетворювач розглядається як об'єкт з ускладненими фізичними властивостями, зовнішнім навантаженням перетворювача якого є надлишковий тиск, а внутрішня область вакуумована або заповнена рідинним чи газоподібним середовищем.

В такій постановці виникають підзадачі визначення частотної залежності основних характеристик сферичного п'єзокерамічного перетворювача, оцінювання нерівномірності характеристик його діаграми направленості та визначення обставин, за яких виникає демпфування коливального процесу та розширення робочого частотного діапазону. Результати розв'язання цих задач можуть бути використані для формування акустичного поля в галузях підводної телеметрії та звукопідводного зв'язку, синтезу акустичних антен і перетворювачів.

Отже, сукупність поставлених задач дослідження випромінювання та прийому звуку сферичним п'єзокерамічним перетворювачем та очікувані наукові результати їх розв'язання надає можливість вважати дисертаційну роботу Коржика М.О. актуальною та такою, що має перспективу розвитку та практичного впровадження.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. За допомогою методу часткових областей та методу Фур'є визначені та розраховані основні характеристики сферичного п'єзокерамічного перетворювача з повністю електродованими поверхнями, а також показані особливості їх взаємодії.

2. Вперше розроблена методологія розв'язання наскрізних задач для сферичних п'єзокерамічних перетворювачів, що використовуються у вільних та обмежених просторах з визначенням особливостей імпедансів акусто – електричного типу.

3. На прикладі сферичного п'єзокерамічного перетворювача вперше показано можливість збільшення частотного діапазону роботи порожнинних електроакустичних перетворювачів.

4. Вперше встановлено та аналітично описано ефект впливу акусто-механічної системи на електричне поле, що проявляється в зміні режиму протікання струму у зовнішньому колі через втрату узгодження опорів перетворювача і внутрішнього опора генератора.

5. Виконані вимірювання дозволили кількісно встановити значення параметрів характеристики направленості, надати рекомендації щодо раціонального використання позитивних та виключення негативних особливостей і просторових характеристик обраного сферичного перетворювача.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі акустичних та мультимедійних електронних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР «Новий ширококутовий автоматизований портативний електроакустичний апаратно-програмний комплекс з підвищеними точністю і безпечністю для ранньої диференційної аудіологічної експрес-діагностики в медицині» (номер державної реєстрації НДР: 0121U109609).

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані для дослідження процесів трансформації акустичної і електричної енергії гідроакустичним перетворювачем, який працює в режимах прийому і випромінювання. Поставлено та розв'язано наскрізні задачі про прийом та випромінювання звукових хвиль електропружним електродованим джерелом нульового порядку. З метою наближення розрахункових та постановочних умов випромінювання і прийому звуку до реальних умов роботи п'єзокерамічного перетворювача розглянуто сферичний перетворювач, внутрішня область якого заповнена або рідиною або газом.

В дисертаційній роботі розглянуті імпедансні залежності сферичних електропружних перетворювачів, які заповнені рідинними наповнювачами та проведено аналіз модової структури акустичного поля відповідно до типу електродування та наповнювача.

Визначені умови узгодження елементів кола “середовище - електричне навантаження” та “генератор - акустичне навантаження” з урахуванням взаємодії трьох фізичних полів - електричного, механічного та акустичного, а також встановлено, що отримані експериментальні результати відповідають результатам розрахунків, що підтверджує правильність зроблених припущень, вибору умов проведення розрахунків, а також висновків в теоретичній частині роботи.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання розвитку методології розрахунку прийому і випромінювання звукових хвиль з врахуванням взаємного перетворення акустичної, механічної та електричної енергії виконане повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.



## **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Коржика М.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 171 Електроніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Електроніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Гідроакустики.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Коржика Максима Олексійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

## **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертаційна робота написана доступною мовою із використанням сучасної наукової термінології.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури. Загальний обсяг дисертації 86 сторінок.

У вступі проведено обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання дослідження і наукову новизну, наведено практичне значення отриманих результатів, розкрито питання висвітлення результатів роботи в друкованих спеціалізованих виданнях.

В першому розділі розглянуті задачі приймання та випромінювання звукових хвиль, з врахуванням ефектів взаємовпливу і взаємодії основних полів, що беруть участь в процесах взаємного перетворення акустичної енергії на електричну, або електричної на акустичну. Розвиток задач електропружності розглянуто в історичному екскурсі від здобутків Кюрі і до сучасних шкіл механіки, гідромеханіки та акустики. Висвітлено труднощі в питаннях нарощування різноманітності типорозмірів та форм п'єзоелементів. Окремий шлях для розрахунків наскрізних характеристик перетворювачів представляють задачі електродування та комутації електродів на поверхнях п'єзоелементів певного типу. При цьому було визначено суто акустичний напрямок розвитку, який є перспективним. В якості коливальної системи перетворювача в основному обиралися циліндр нескінченної довжини або сфера, з нанесеними на їхні поверхні пружними шарами та наповнювачами.

Другий розділ присвячений розв'язанню наскрізної задачі випромінювання звуку сферичним електропружним перетворювачем, що розглядається як джерело нульового порядку. На прикладі сферичного перетворювача у вільному полі проведено постановку задачі, визначені основні вихідні співвідношення, обрано та використано граничні умови й умови спряження каналів. Сумісне розв'язання рівнянь для акустичного, механічного та



електричного полів приведено до алгебраїчної системи рівнянь, з якої визначені невідомі коефіцієнти розкладань зазначених полів. Виконано розрахунки амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) коефіцієнта передачі, імпедансу перетворювача та тиску, що створюється в робочому середовищі.

В третьому розділі поставлена та розв'язана задача прийому звукових хвиль сферичним перетворювачем і проаналізовано отримані результати. Застосовано модель сферичного п'єзокерамічного перетворювача, що заповнений ідеальними середовищами рідинного та газоподібного складу. Розглядалися ефекти демпфування сферичної коливальної системи. При цьому виникає можливість розширення робочої смуги частот, що не суперечить втраті ефективності зі збільшенням добротності коливальної системи. В розділі була обчислена чутливість перетворювача у вигляді АЧХ, яку можна вважати чутливістю по полю.

Четвертий розділ присвячено підготовці, проведенню та отриманню результатів вимірювань АЧХ. При цьому детально описано процес підготовки до проведення вимірювань АЧХ перетворювача, вибір перетворювача, його розміщення, вибір методу вимірювань та збирання схеми проведення вимірювань. Вказано на ймовірнісні аспекти обробки отриманих результатів. Встановлено, що результати вимірювань в частині дослідження АЧХ внутрішнього опору та коефіцієнта передачі – відповідають отриманим теоретично, що підкреслює достовірність та працездатність зроблених постановок. Окремо, розглянуто просторові особливості сформованого акустичного поля сферичного приймача. Розглянута модова структура колювання системи та відповідні характеристики направленості для нижніх мод. При цьому визначено ситуацію можливого впливу типу електродування на результати вимірювань чутливості сфери в обраному діапазоні частот.

Дисертаційна робота в основному оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України за спеціальністю 171 Електроніка; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 3 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Назва 2 розділу на стор. 31 не відповідає змісту на стор. 13; формула (2.6) та рис. 2.2 відсутні в тексті 2 розділу дисертації; між формулами (2.9) та (2.10) повторно вставлені формули (2.2), (2.3), (2.4); а значення  $D_r$  не збігаються у виразах (2.21) та (2.22).
2. Матеріали дисертації в основному опубліковані у джерелах, позначених 3, 4 у списку здобувача, причому вони стосуються виключно сферичного п'єзокерамічного перетворювача, що було б доцільно винести у назву дисертації.
3. В процесі виведення виразів (2.28), (2.33), (2.38) є посилання на невідображені аналітичні перетворення, які було б доцільно навести в додатках.
4. У виразі (2.2) двічі помилково записані індекси у величини  $\varepsilon_{nm}$ , не розшифровані позначення після першого згадування для величин  $\gamma$ ,  $c_{01}$ ,  $c_{03}$ ,  $K_{nc}$ , що погіршує сприйняття змісту дисертації.
5. В тексті дисертації наявні граматичні й смислові помилки та русизми: “збитковий тиск”, “перетворювач подано у якості сферичної тонкостінної оболонкою”, “приймник”, “холостий хід”.

Наведені зауваження здебільшого стосуються оформлення дисертації і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

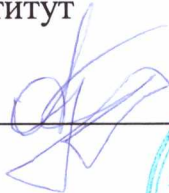
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Коржика Максима Олексійовича на тему «Дослідження характеристик електропружних перетворювачів в режимах випромінювання та прийому» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для електроніки та телекомунікації. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.



Здобувач Коржик Максим Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 171 - Електроніка.

**Рецензент:**

Професор кафедри  
акустичних та мультимедійних електронних систем,  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”  
д.т.н., професор

/  /



Михайло АРТЕМЕНКО

М.П.

«24» січня 2024 року