

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу  
Чайки Олександра Сергійовича  
на тему «Формування акустичного поля у хвилеводі»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації  
за спеціальністю 171 Електроніка

### **Актуальність теми дисертації**

Актуальність даного дослідження обумовлена потребою у більш детальному вивченні акустичного поля в регулярному плоскопаралельному рідинному хвилеводі. Попередні наукові дослідження не враховували багатомодовість джерела як одного з важливих факторів, що впливають на зміну опору випромінювача. При цьому важливо враховувати розсіювання звуку на випромінювачах, дисперсію, а також багатомодовість та мінливість його структури.

Отримані результати цього дослідження можуть знайти широке практичне застосування у різних галузях, зокрема, у підводних комунікаційних системах, телеметричних системах та гідроакустичних пошукових засобах.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розглянуті сучасні дослідження з формування акустичного поля в хвилеводі враховують багатомодовість джерел та їх різноманітну конфігурацію. Використано метод часткових областей для визначення розподілу акустичного тиску у вертикальних перетинах хвилеводу. Визначено границю ближнього поля випромінювача, розроблені епюри, що відповідають класичним підходам.

2. Розроблено модель для акустичного поля в інформаційних гідроакустичних каналах системи "надводний і підводний об'єкти". Вивчено частотні залежності питомого імпедансу та зміни режиму роботи випромінювача. Створено математичну модель акустичного поля в мілкому морі, розроблено розрахункові співвідношення.

3. Проведено розрахунки, які узгоджено з експериментальними дослідженнями. Для розвитку теми, чисельних експериментів та подальшого вдосконалення моделі створено пакет програм в середовищі MATLAB. Зазначене дослідження розкриває наукові аспекти акустики та є повноцінним виконанням наукового завдання, яке було сформоване в дисертаційній роботі.

Результати дисертаційного дослідження обґрунтовано шляхом застосування здобувачем даних, отриманих із наукових літературних джерел, а також за допомогою проведених розрахунків хвильоводу за різних акустичних умов.

Достовірність обраних методів розв'язку сформульованих у дисертаційній роботі задач забезпечено шляхом зіставлення теоретичних результатів із результатами експериментальних досліджень, а також шляхом коректного застосування математичного апарату та методів комп'ютерного моделювання.

Наукові дослідження було виконано здобувачем на кафедрі акустичних та мультимедійних електронних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР «Проблеми звукопідводного зв'язку», номер державної реєстрації 0113U008183 та «Сучасні задачі гідроелектропружності», номер державної реєстрації 0113U008184 під керівництвом доктора технічних наук, професора Коржика Олексія Володимировича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання формування акустичного поля в регулярному плоско-паралельному рідинному хвильоводі виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Чайки О. С. 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 «Розробка інформаційних гідроакустичних систем для системи зв'язку між надводними та підводними об'єктами».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Чайки Олександра Сергійовича 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. Стиль написання науковий. Присутні, відповідно до стилю, складні мовні конструкції та термінологія, тому робота може бути малодоступною широкому колу читачів і призначена обізнаним фахівцям в області акустики та електроніки.

Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 163 сторінки.

У вступі чітко визначено значення обраного об'єкта дослідження, обґрунтовано його актуальність та визначено мету, якою є проведення глибокого аналізу проблеми та розробка нових підходів для вирішення наукових завдань. Виокремлено завдання, такі як аналіз джерел, збір і обробка даних, і вказано використання методів дослідження. Відзначено наукову новизну та практичне значення проведеної роботи. Зазначено використання програмного забезпечення MATLAB для моделювання та чисельних експериментів, що підкреслює методологічний підхід дослідження.

У першому розділі представлено аналітичний огляд наукової літератури, в межах якого викладено сучасний стан проблематичних аспектів в галузі акустики рідини. Особливу увагу приділено огляду літератури, пов'язаної з поширенням акустичних хвиль у мілких морях, де звукова хвиля відбивається від дна та поверхні води, спричиняючи утворення відлуння. В розділі представлено основні наукові праці та вказано прізвища їхніх авторів, які будуть використовуватись в подальших дослідженнях здобувача.

Зазначено роботу Гуннара Таральдсена, який у 2005 році узагальнив досягнення з відбиття сферичних хвиль від плоскої поверхні. Виділено вже проведені дослідження Аттенборо, Емблтон, Рудника, Бреховських, Соломона, Банноса, Баєса, Міхеля, Інгарда, Чента, Сороки щодо проблеми поширення звукових хвиль у відкритому просторі. здобувач відзначає, що ці класичні роботи стали фундаментом для його власних подальших досліджень.

Потому Чайка О. С. розглядає фундаментальні наукові роботи, присвячені методу часткових областей. Це має велике значення для здобувача, оскільки його власні дослідження базуються на використанні цього методу.

Висновки, які Чайка О. С. робить в кінці першого розділу, доволі значущі. Автор відзначає, що внаслідок аналізу сучасного стану проблеми є підстави для очікування здобути нові результати та просування запропонованих підходів. Зазначається, що доцільним буде проведення наукового дослідження, спрямованого на вивчення можливостей використання методу часткових областей для аналізу формування акустичного поля у складних джерелах в плоскопаралельному регулярному хвилеводі з урахуванням багатомодовості джерела. Автор визначає межі теоретичного розвитку теми для подальших досліджень.

Визначено методологію для власного дослідження, включаючи методи часткових областей, уявне джерело та зону Фур'є. Сформовано важливі підсумки, які вказують на перспективи подальших наукових зусиль у зазначеній області.

Огляд літератури є достатнім для проведення автором самостійних робіт.



У другому розділі поставлено задачу випромінювання звуку сферичним джерелом в плоскопаралельному регулярному хвилеводі з акустично м'якими границями. Дослідження поширення звуку від сферичного джерела має практичне значення для розуміння та моделювання акустичних систем. У моделі мілкого моря розглянуто хвилевід з комбінованими границями.

Сформовано математичну модель та вирішено задачі формування акустичного поля, зокрема, враховуючи відбиту сферичну хвилю від акустично м'якої границі. Розглянуті дві паралельні задачі: перша – пошук розподілу амплітуд і фаз акустичних тисків біля випромінювача, друга – обчислення відбитого сферичного поля джерела звуку на нульовій моді.

Виконано порівняння дослідження поширення звуку від сферичного джерела з іншими дослідженнями для перевірки отриманих результатів.

У третьому розділі дисертації розглянуто задачу формування відбитого акустичного поля у хвилеводі з симетричними м'якими границями. Представлено вихідні та розрахункові співвідношення для прямого та відбитого поля акустичного тиску у такому хвилеводі. Описано основні етапи виведення співвідношень, а також метод аналізу поля у хвилеводі, враховуючи сферичне джерело звуку, яке не є точковим, а має сферичну форму.

Для аналізу відбитого поля застосовано плоске розкладання сферичної хвилі, що дозволило знайти співвідношення для відбитого поля, розкладаючи сферичну хвилю на плоскі. Описано коефіцієнт відбиття вздовж вертикальної осі і вказано його використання для подальших обчислень.

Модель хвилеводу заповнена водою та обмежена повітрям – ці границі покладено акустично м'якими. Отримані співвідношення становлять корисний інструмент для розширення обчислень поля відбиття на всі чотири квадранти за допомогою методу уявного джерела. В даному місці було б доцільним обґрунтувати використання законів та співвідношень класичної оптики та надати посилання на відому літературу, що підтримує висновки здобувача. Розрахунки проведено для різних глибин хвилеводу та робочих частот.

У четвертому розділі викладено розв'язок та обговорення результатів задачі формування відбитого акустичного поля у хвилеводі з симетричними м'якими границями, використовуючи метод часткових областей. Висвітлено основні кроки отримання математичних співвідношень, розглянуто симетричну задачу в межах першого квадранту та розширено результати на весь хвилевід. Алгоритм розв'язання ґрунтується на використанні рівняння Гельмгольца та методу Фур'є для кожної частини області з умовами спряження на їх межах. Зазначено використання граничних умов на поверхні та дні моря, а також умови Зоммерфельда, що покращили точність розподілу поля у вертикальних перетинах хвилеводу. Автор вирішив задачу в різних системах координат: теоретичні більше в сферичних, для розрахунків – у плоских декартових.

Надано вихідні співвідношення для знаходження та обчислення акустичного імпедансу на поверхні джерела, базуючись на відомих результатах гідроакустичних досліджень.

Відзначимо, що автор успішно вирішив складні математичні завдання та застосував їх для вирішення конкретних проблем у визначених межах.

У п'ятому розділі представлено моделювання та обговорення задачі формування відбитого акустичного поля у хвилеводі з симетричними м'якими границями за допомогою методу часткових областей. Проведені аналізи містили вертикальні перетини регулярного плоскопаралельного хвилеводу та питомих опорів середовища для комбінаційних хвиль певної моди. Задача мала центральну симетрію, що дозволило обмежитися розрахунками лише для одного квадранту з подальшим симетричним розповсюдженням результатів. Для розрахунків коливальної швидкості використовувалася методика на основі аналітичного розв'язку рівняння коливань у сферичних координатах, базуючись на вже знайдених співвідношеннях для акустичного тиску. Дослідження показали, що коливальна швидкість залежить від розмірів випромінювача, питомих опорів середовища, частоти коливань та глибини хвилеводу.

Автор надав значну кількість хвильових картин, які відображають зміни амплітуди тиску у робочому середовищі, а також активних і реактивних частин імпедансів. Ці зображення охоплюють різні випадки радіусів сфери, глибин каналу та відстаней від джерела до точок розрахунку. Важливо відзначити, що достовірність проведених автором розрахунків підтверджується збігом активних та реактивних частин імпедансів з теоретичними основами акустики.

Шостий розділ присвячено порівнянню теоретичних моделей з результатами експериментальних досліджень. Проведено експерименти з вимірювання спрямованості багатомодових перетворювачів, заснованих на сценаріях перемикання електродів та видів випромінювання. Виміряно модовий склад вихідної напруги на електродах та характеристики спрямованості дискретних решіток в циліндричних кругових перетворювачах. Експеримент проведений у вимірювальному басейні Державного підприємства «Київський науково-дослідний інститут гідроприладів». Результати вказують на відповідність просторових залежностей амплітуд тисків, виміряних в робочому просторі, розрахунковим моделям з різницею не більше 3 дБ. Отримані результати підтверджують обраний підхід до розв'язання задачі випромінювання.

У додатках подано програмні коди для моделювання прямого та відбитого поля акустичного тиску в хвилеводі з акустично м'якими границями, враховуючи інтегральне розкладення поля, а також для інших обчислень, таких як імпеданс та поліноми Лежандра.

Дисертаційну роботу оформлено 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 висвітлено у 12 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до першого-третього квартилів (Q1-Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації було апробовано на 4 наукових фахових конференціях.

Публікації високого рівня, а кількість видань, де вони були опубліковані, та спектр висвітлених у них тем свідчать про широку сферу застосувань результатів досліджень.

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

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

Дисертація використовує важку наукову мову, іноді вимагає повторного читання для повного розуміння авторської думки. Читач повинен орієнтуватися в широкій термінології. Деякі питання, сформовані в постановці завдання, залишаються без повних відповідей.

1. Метод зон Френеля не розкрито повністю, а лише встановлено його перспективи для подальшого дослідження.

2. Також не наведено достатньої кількості базової літератури для використання засад оптичної акустики під час дослідженні питання.

3. Програмний код в додатках міг би бути більш зрозумілим та зручним для сторонніх користувачів. Однак цей код працює надійно.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Чайки Олександра Сергійовича на тему «Формування акустичного поля у хвилеводі» 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 телекомунікацій. 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 Чайка Олександр Сергійович заслуговує присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 171 Електроніка.

**Рецензент:**

доцент кафедри акустичних  
та мультимедійних електронних систем  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»  
кандидат технічних наук, доцент



«29» січня 2024 року

