

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Віктора Олеговича Лисечка
“Дифракція акустичних хвиль на фрагментах конічних поверхонь”
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.06 – акустика

Актуальність теми дисертаційної роботи. Інтерес до вивчення полів, розсіяних конічними поверхнями, обумовлений багатьма факторами. Насамперед такі структур є базовими при моделюванні широкого класу елементів акустичної апаратури, яку використовують у різних областях технічної фізики. Наприклад, елементи конічної форми можуть міститися у гідроакустичних антенах, рупорах, мікрофонах, а також у перетворювачах акустичної енергії. Конічні поверхні дозволяють також моделювати взаємодію акустичних полів з природними гірськими масивами як наземними, так і підводними. У неруйнівному контролі та діагностиці конічні поверхні можуть виступати у якості моделей для моделювання взаємодії акустичних хвиль з механічними пошкодженнями та дефектами.

На сьогоднішньому етапі розвитку сучасних засобів обчислювальної техніки прикладні програми моделювання розсіяння на об'єктах довільної форми, що базуються на чисельних методах, надають можливість отримати тільки кількісну інформацію про розподіли полів та виявити їх певні особливості. Тому формулювання на основі розрахунку таких програм загальних висновків не завжди є можливим. Відтак для отримання коректних результатів таких задач слід використовувати строгі аналітичні підходи, які дозволяють максимально враховувати специфіку досліджуваної структури, а отже, дають можливість отримати достовірні результати у традиційно складних резонансному та перехідному від резонансного до високочастотного діапазонах довжин хвиль. Крім того, такі розв'язки можна розглядати у якості реперних і використовувати для верифікації більш загальних наближених підходів. Тому строгий розв'язок задач дифракції на структурах з ребрами та вершинами досі залишається цілком актуальною задачею теорії дифракції.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що:

1. у строгій постановці розв'язані задачі дифракції плоскої акустичної хвилі на м'яких та жорстких конусах з круговими краями при довільному куті опромінення та геометричних параметрах розсіювачів; задачі зведено до НСЛАР другого роду методом аналітичної регуляризації, що базується на точному аналітичному оберненні сингулярних частин відповідних операторів.
2. отримано НСЛАР другого роду для чисельного розв'язання задач дифракції на м'яких та жорстких кругових дисках за довільних кутів опромінення та апертурах при осесиметричному опроміненні.
3. виявлено фізичні закономірності формування акустичних полів фрагментами конічних поверхонь у широкому частотному діапазоні та встановлено залежності дифракційних характеристик м'яких і жорстких конусів від геометричних параметрів та кутів опромінення;
4. виявлено ефекти фокусування та запирання акустичних хвиль апертурою зрізаних конусів; встановлено залежності основних дифракційних характеристик від кутів зондування скінченних конусів.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях. За результатами дисертації опубліковано 20 наукових праць, серед яких 5 статей у наукових фахових виданнях зі списку АК МОН України та виданнях, що реферуються у наукометричних базах. Опубліковані наукові роботи у цілком достатній мірі відображають основні результати дисертації.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Вона складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, переліку літератури із 129 найменувань та оформлена у відповідності до вимог, які АК МОН України ставить до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних.

У вступі обґрунтовується актуальність обраної теми дисертації, формулюються мета та задачі дослідження, визначаються методи дослідження, наукова новизна, теоретична та практична цінність роботи, особистий внесок здобувача, наведено апробацію результатів дисертації та публікації, що виносяться на захист.

У першому розділі здійснено огляд літератури, яка стосується тематики дослідження, методів розв'язування задач дифракції акустичних хвиль на конусах.

Другий розділ дисертаційної роботи стосується отримання та аналізу розв'язку задач дифракції плоскої акустичної хвилі на скінченних м'якому та жорсткому конусах при осьовому опроміненні. В математичному плані розв'язок цієї задачі дисертантом будується на основі методу розкладу потенціалу поля за власними функціями рівняння Гельмгольца з використанням методу спряження полів та перерозкладу функцій Лежандра. Це дозволяє вихідну задачу дифракції звести до НСЛАР, а відтак провести її регуляризацію методом "напівобертання". Суть застосовуваного автором підходу полягає у тому, що із вихідної НСЛАР виділяється матричний оператор типу згортки, який за фізичним змістом відповідає статичній границі дифракційної задачі. Для знаходження оператора, оберненого до оператора типу згортки, проводиться факторизація мероморфної функції, яка враховує модову структуру поля в підобластях виділених конусом. Далі ця пара операторів дозволяє дисертанту звести вихідну задачу дифракції до НСЛАР другого роду. Розв'язок отриманої системи знаходиться із наперед заданою точністю, що визначається тільки параметром редукції, та дозволяє забезпечити виконання усіх необхідних умов, включаючи умови на краю та враховує збудження поршневої моди у випадку жорстких розсіювачів. Оскільки отриманий розв'язок задачі справедливий, коли кут розхилу конуса відмінний від прямого, то дисертантом окремо розглядається граничний випадок, коли конус вироджується у диск. Для цього випадку отримано нові представлення регуляризуючих операторів. Крім того, дисертант побудував наближені аналітичні вирази дифракційної задачі у статичному випадку справедливий як для скінченного конуса так і диска.

Числовий аналіз автор зосередив на дослідженні закономірностей формування дифрагованих полів розсіяних м'якими та жорсткими конусами скінченної довжини в широкому діапазоні зміни геометричних параметрів і частоти. У результаті проведених досліджень встановлено, що при опроміненні конуса зі сторони вершини основна пелюстка дифрагованого поля спрямована "вперед" у напрямі падіння плоскої хвилі із характерним утворенням інтенсивного випромінювання у напрямі дзеркального відбивання на високих частотах. Окрім того виявлено, що при опроміненні конуса зі сторони основи формується інтенсивне випромінювання дифрагованого поля як "вперед" так і "назад". Важливе місце у роботі відводиться детальному аналізу енергетичних характеристик розсіювання. Це дало змогу дисертантом показати, що на відміну від м'якого конуса повний переріз розсіювання для жорсткого конуса носить резонансний характер у низькочастотній області, а у квазістатичній області домінантне розсіяння енергії спостерігається тільки для м'яких конусів. Представлено, важливе, на мій погляд, дослідження розподілів ближнього поля на освітленій та тіньовій поверхнях скінченного жорсткого конуса. Ці результати є досить цікавими, оскільки демонструють, що максимумами цих розподілів формуються у вузьких областях біля вершини конуса і вказують на досить значне проникнення акустичного поля в тіньову зону. Також автором вивчено вплив хвильового параметра і кута розхилу конуса на розподіли повного поля у вершині жорсткого конуса. Показано, що ці розподіли стають періодичними при виродженні конуса в диск. У цьому випадку спостерігається відомий ефект потроєння тиску зі сторони освітленого центру диска. Слід відзначити, що дисертантом встановлено можливість визначення геометричних параметрів конуса: кута та твірної у резонансній області. Продемонстровано збіжність методу, а також достовірність отриманих результатів шляхом перевірки умов спряження і порівняння з відомими результатами у граничних випадках.

У третьому розділі дисертаційної роботи розглянуто задачу дифракції плоскої акустичної хвилі на напівнескінченному м'якому та жорсткому конусах зі зрізаною вершиною при осьовому опроміненні. Тут теж, описану у другому розділі загальну методику з певними змінами застосовано для розв'язування цієї задачі. Принципова відмінність від

другого розділу полягає у тому, що задоволення крайових умов на поверхні конуса вимагає використання належним чином подання первинного поля плоскої хвилі у напівнескінченній конічній області. Для знаходження такого подання дисертант застосував інтегральне перетворення Конторовича-Лебедева. Після зведення вихідної задачі дифракції до НСЛАР подальша схема побудови кінцевого розв'язку зберігається попередньою. Автором встановлено важливий зв'язок між матричними операторами, які описують дифракцію хвиль на круговій апертурі напівнескінченного конуса зі зрізаною вершиною та на апертурі доповнюючого скінченного конуса.

Числовий аналіз також зосереджено на дослідженні характеристик дифрагованих полів для виявлення можливих фізичних закономірностей та з'ясування впливу поверхні на розсіююче поле. У результаті проведених досліджень дисертантом виявлено ефект "фокусування" та запирання звукового поля конічною каверною, а також встановлено резонансний характер поведінки потужності розсіяного поля на низьких частотах для м'якого зрізаного конуса. В дисертаційній роботі запропоновано новий підхід до визначення радіусу кругових апертур за значеннями вимірюваної ширини інтенсивності випромінювання на рівні половини амплітуди за даними одночастотного зондування, коли відомі частота і кут розхилу апертури. Заслугує уваги і проведене дослідження формування розподілів ближнього поля в круговій апертурі конуса. Дисертант виявив можливість утворення зон високого тиску як у випадку, коли розмір отвору є меншим за довжину хвилі, так і коли його розмір порівняльний із довжиною хвилі і суттєвими є дифракційні ефекти. Аналіз цих розподілів дав змогу автору запропонувати цю структуру у якості моделі конічного зонда.

Четвертий розділ присвячено розв'язанню задачі дифракції плоскої акустичної хвилі на скінченному м'якому та жорсткому конусах зі зрізаною вершиною при осьовому опроміненні. В математичному плані розв'язок цієї задачі знову ж таки зводиться до НСЛАР другого роду з використанням методу спряження полів та аналітичної регуляризації. Діагональні матричні оператори цієї НСЛАР, відповідають задачам дифракції на скінченному конусі та напівнескінченному конусі зі зрізаною вершиною, а недіагональні оператори описують взаємодію між краями конуса. Чисельний аналіз дисертант зосередив на дослідженні впливу параметрів зрізу вершини м'якого конуса та кругового кільця на характеристики полів дифрагованих у дальній зоні. Ці дослідження дозволили виявити зменшення рівня інтенсивності випромінювання в напрямі головної пелюстки діаграми спрямованості зі збільшенням радіусу зрізу вершини конуса.

В останньому, *п'ятому розділі* дисертаційної роботи, розв'язано задачу дифракції плоскої акустичної хвилі на скінченному м'якому та жорсткому конусі при боковому опроміненні. Тобто тут розв'язок осесиметричної задачі дифракції на скінченному конусі отриманий дисертантом у другому розділі узагальнюються на довільний кут опромінення. На відміну від попередніх розділів, в методологічному плані при побудові розв'язку цієї задачі суттєво важливим є врахування кожної азимутальної гармоніки дифрагованого поля. Автором чисельно встановлено, що кількість азимутальних гармонік необхідна для повного формування діаграм спрямованості визначається величиною хвильового параметра. Це дало змогу коректно дослідити дифраговані поля у резонансній області, коли довжина хвилі співмірна з твірною конуса, та показати, що максимум головної пелюстки діаграми спрямованості формується у напрямку опромінення конуса для обох типів поверхні. Разом із цим інтенсивність випромінювання із збільшенням кута опромінення зменшується. Це яскраво проявляється на енергетичних характеристиках розсіювання, де дисертантом виявлено монотонне спадання повних перерізів розсіювання, коли кут опромінення наближається до напрямку перпендикулярного осі конуса.

Автореферат дисертації в цілому правильно і достатньо повно дає уяву про зміст та методи проведених досліджень. Його змістовна частина достатньо повно відображає усі основні положення дисертації.

Помічені недоліки та зауваження до роботи:

1. Прийняті у дисертації представлення акустичних полів у підобластях та представлення плоскої хвилі з використанням інтегрального перетворення Конторовича-Лебедева приводить (після виконання граничних умов та умов спряження полів на суміжних поверхнях підобластей) до НСЛАР першого роду. Це обумовлює необхідність побудови спеціальних операторів для зведення отриманих НСЛАР к НСЛАР другого роду. Проте в науковій літературі представлення акустичних полів у таких підобластях та представлення плоскої хвилі отримують з допомогою інших методів, які безпосередньо приводять до НСЛАР другого роду. Чи принциповим було тут використання прийнятих у дисертації представлень акустичних полів у підобластях та представлень плоскої хвилі.
2. У підрозділі 3.4.1 знайдено хвильові параметри напівнескінченного м'якого конуса зі зрізаною вершиною, які відповідають резонансним значенням коефіцієнта відбивання за потужністю. На даних параметрах слід було б також розглянути і діаграми спрямованості.
3. У підрозділі 3.4 автором аналізується дифраговане поле напівнескінченного конуса зі зрізаною вершиною тільки в області D_2 , тобто де існує плоска хвиля, а в області D_1 автор досліджує тільки повне поле. Чи існує можливість в області D_1 з повного поля виділити дифраговане і яким чином?
4. У авторефераті, на сторінці 5 у формулі (1), відсутнє представлення поля в області D_1 .

Висновок. Зроблені зауваження не заперечують цілком загального позитивного враження від роботи і є радше побажаннями на майбутнє. Таким чином, за обсягом виконаних досліджень, новизною, науковою і практичною значимістю, рівнем обґрунтованості, мірою впровадження результатів і апробації дисертаційна робота Віктора Олеговича Лисечка "Дифракція акустичних хвиль на фрагментах конічних поверхонь" цілком відповідає усім вимогам, які АК МОН України ставить до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.06 – акустика (зокрема пп. 11-13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника»). Тому вважаю, що В.О. Лисечко цілком заслуговує надання йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.06 – акустика.

Офіційний опонент: провідний науковий співробітник відділу
гідродинамічної акустики Інституту гідромеханіки НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор

I.B. Вовк

Підпис Вовка I.B. засвідчую:
Вчений секретар Інституту гідромеханіки
доктор фізико-математичних наук

Н.С. Городецька

