

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Володимира Сергійовича Малюги «Нестационарні задачі обтікання з урахуванням ефектів випромінювання звуку», представленої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми

Актуальність теми.

Дисертаційна робота В.С. Малюги відноситься до дуже важливого, цікавого і актуального розділу механіки - аерогідроакустики, яка вивчає генерацію шуму внаслідок турбулентного руху рідини або взаємодії течії з твердими поверхнями. Фактично вона знаходиться на стику класичної гідромеханіки і акустики. В роботі досліджуються механізми виникнення автоколивань в потоці рідини або газу, розраховуються акустичні характеристики дальнього звукового поля, яке генерується автоколиваннями в ближній гідродинамічно активній зоні. Актуальність цього напрямку науки безсумнівна, як внаслідок важливості практичних задач шумоутворення, так і задач управління звуком в різних технічних проблемах, так і, наприклад, в задачах медичної діагностики та ін.

Методи досліджень.

В дисертаційній роботі автор будує чисельний алгоритм, що належить до класу так званих гібридних методів. На відміну від прямих методів, в яких розв'язується задача про рух стисливого середовища, а характеристики акустичного поля отримують безпосередньо з чисельного розв'язку задачі. в гібридний підхід базуються на припущенні, що енергія акустичного поля буде на порядки менше енергії потоку, який його генерує. За такої умови зворотним впливом акустичного поля на потік можна знехтувати. Тоді гібридні методи зводяться до розщеплення задачі на дві окремі: генерація звуку і поширення звуку. Спочатку розв'язується гідродинамічна задача і описуються коливальні процеси, які виникають в течії і які генерують звукове поле. Для цього використовуються класичні методи обчислювальної гідромеханіки для нестисливої рідини. Після

ідентифікації джерел звуку в гідродинамічно активній ближній зоні, розраховуються характеристики дальнього акустичного поля.

При чисельному моделюванні двовимірних течій використовується техніка DNS (пряме чисельне моделювання течії в рамках рівнянь Нав'є-Стокса. У разі ж тривимірних течій методи DNS використовуються лише у ламінарних режимах. При турбулентних режимах використовується техніка LES, що дає можливість на другому етапі розв'язання задачі отримати не лише оцінки широкосмугового шуму, але й виявити і обчислити тональні звуки, породжені взаємодією великих вихорів з поверхнею твердої перешкоди. Чисельні розрахунки, представлені в дисертаційній роботі, проводились на кластерному суперкомп'ютері Скіт Інституту кібернетики НАН України. Для розпаралелювання обчислень використовувалась технологія MPI.

На мій погляд саме такий алгоритм, побудований в дисертаційній роботі, є найбільш прийнятним для даного класу задач. З одного боку він дає можливість обраховувати досить складні ефекти, такі як генерація тональних звуків турбулентним слідом за тривимірним тілом. З іншого боку він дає можливість уникнути використання схем порядку більшого за другий і, таким чином, легко розпаралелити програми для розрахунків на кластерних суперкомп'ютерах.

Обґрунтованість наукових положень і вірогідність отриманих результатів.

В дисертації та авторефераті чітко сформульована актуальність, наукова новизна та прикладна цінність виконаних досліджень. Автором проведено огляд існуючих методів розрахунку генерації звука потоком, визначена мета роботи, розроблена методологія, побудовані алгоритми розрахунку, чітко сформульована постановка задач, які розглядаються. Положення дисертації ґрунтуються на фундаментальних законах механіки рідини та газу. В дисертації наводиться великий об'єм отриманих чисельних даних, проводиться детальний аналіз результатів. Результати чисельного моделювання порівнюються з відомими розрахунковими та експериментальними даними, отриманими іншими дослідниками. Порівняння представлених в дисертації результатів з результатами інших авторів демонструє хороший збіг.

Основні наукові результати. Новизна отриманих результатів.

1. В дисертації побудовано гібридний алгоритм розв'язання задач про випромінювання звуку потоком. Цей алгоритм дає можливість чисельно моделювати динаміку процесу перетворення енергії потоку в звукову енергію. На першому етапі цього алгоритму розв'язуються нестационарні рівняння руху нестисливої рідини. Для розв'язання рівнянь руху використано метод скінченних об'ємів. На другому етапі розв'язується акустична задача. Задля цього побудовано аналітичні розв'язки відповідних акустичних задач. (Розділи 1-2)
2. В роботі також розвинуто і вдосконалено алгоритми розрахунку турбулентних течій, що обтікають тверді перешкоди, на основі технології LES. Показано, що в задачах про генерацію звуку потоком саме технологія LES дає можливість адекватно описати досліджувані процеси. Розроблені в дисертаційній роботі алгоритми використовувались в наукових проектах Інституту гідромеханіки НАН України. (Розділ 1)
3. В роботі досліджуються закономірності виникнення автоколивань в потоках, що натікають на тверді перешкоди. Описуються механізми перехідних процесів, що спричиняють автоколивання в потоці, які і породжують звук. Зокрема досліджено гідродинамічні канали зворотних зв'язків, що виникають в потоці і є необхідними для виникнення автоколивань.
4. Розраховано звукові поля, що виникають при натіканні потоку на тверде тіло. Описано характеристики звукових полів в ряді задач. Зокрема, знайдено цікавий режим обтікання сфери. Геометрія задачі має кругову симетрію, але сфера випромінює звук як диполь. Це пов'язано з тим, що слід за сферою представляє собою два ряди вихрових петель, що по черзі зриваються з поверхні сфери и шикуються у шаховому порядку. Також розраховані звукові хвилі, що виникають і розповсюджуються в хвилеводі за наявності двох послідовно розташованих стенозів. Показано механізми генерації звукового поля в такій течії. При досить високих значеннях числа Рейнольдса у міжстенозній області такої течії відбувається самозбудження автомодельних коливань середовища, які являються джерелом звукових коливань в каналі. (Розділи 5-7)

5. Отримані в роботі результати дають нам більш глибоке розуміння процесів, які відбуваються в бронхіальному дереві і кровоносних судинах людини при наявності стенозів. Розв'язано відповідну акустичну задачу і показано, що звукові поля в каналі вище стенозів і нижче стенозів радикально відрізняються. Якщо в області нижче за потоком від другого стенозу домінують непарні моди, то в області вище за потоком, навпаки, як правило домінують парні моди на більш високих частотах. Таким чином, стенози і міжстенозна область відіграють роль певного фільтра. (Розділ 7)

До дисертаційної роботи є наступні зауваження:

- 1) На мою думку назва дисертації не досить точно відповідає змісту роботи: «Нестационарні задачі обтікання з урахуванням ефектів випромінювання звуку» означає, що також повинен враховуватись вплив акустичного поля на динаміку самого потоку.
- 2) Стор. 50. Формулювання принципів припущень дослідження необхідно доповнити кількісними (безрозмірними) параметрами. Термінів «істотно менше», «незначний» і т. п. недостатньо.
- 3) Автор використовує для гідродинамічних розрахунків відому чисельну модель з відкритим кодом OpenFOAM з великою бібліотекою чисельних алгоритмів. Тому у Розділах 1-2 було б доцільно вказати, які алгоритми та формулювання граничних умов і т. п. були розроблені автором, якщо це мало місце..
- 4) Незрозуміло, чому в розділі 1.8 замість терміну «поверхня розділу» використовується термін «інтерфейс».
- 5) Вважаю, що слід було б дати більш детальне обґрунтування використаної в роботі постановки акустичних задач.
- 6) Важливе також було би дослідження чутливості розрахованих акустичних полів до параметрів LES моделі.

Зауваження до автореферату:

- 1) стор. 11. Повинно бути: «В рамках прийнятої моделі процес описується нестационарною системою рівнянь Нав'є-Стокса для нестисливої рідини».

Відзначені недоліки не впливають, в цілому, на високу оцінку дисертаційної роботи В.С.Малюги. Автор розв'язав складну і актуальну наукову проблему,

отримав нові фундаментальні наукові результати. Ці результати суттєво збагачують наші знання і уявлення в області генерації звукових полів потоками. В дисертації узагальнено результати досліджень автора, які були опубліковані в 31 публікації, 13 з яких входять до наукометричної бази Scopus. Результати досліджень доповідались дисертантом на багатьох наукових конференціях.

Вважаю, що дисертаційна робота Малюги В.С. «Нестационарні задачі обтікання з урахуванням ефектів випромінювання звуку» задовольняє усім вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 року, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми.

Завідувач відділу моделювання морських
та річкових систем
Інститут проблем математичних машин і
систем, НАН України

В.С Мадерич

Підпис
удостоверення
Наг. В.С.

