

Голові
разової спеціалізованої вченої ради
Інституту математики НАН України
доктору фізико-математичних наук,
заступнику директора з наукової роботи
Інституту математики НАН України

Василику Віталію Богдановичу

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Лагодзінського Олександра Євгенійовича
на тему:

“Асимптотична нелінійна теорія усталених резонансних коливань рідини в
контейнері квадратного перерізу”,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
у галузі знань 11 Математика та статистика
за спеціальністю 113 Прикладна математика

Дисертаційні дослідження О.Є. Лагодзінського стосуються актуальній і математично змістовній задачі нелінійної хвильової гідродинаміки – класифікації усталених резонансних хвильових рухів рідини в резервуарі квадратного перерізу за довільних тривимірних періодичних збурень резервуару малої амплітуди з частотою, що наближається до першої власної частоти коливання вільної поверхні рідини. Актуальність тематики досліджень визначається як її прикладним значенням (плескання рідини в резервуарах виникають у багатьох практичних застосуваннях, від ракетно-космічної техніки до танкерів і біотехнологій, наприклад, вирощування протеїну), так і наявністю суттєвої теоретичної прогалини в аналітичній теорії нелінійних усталених резонансних хвиль, коли перша власна частота коливань вільної поверхні рідини відповідає двом взаємно перпендикулярним хвилям, а, значить, резонансні збурення породжують суттєво тривимірні хвилі, часто хаотичні.

Важливість дисертаційної роботи полягає в тому, що автор розглядає не окремі спеціальні випадки збурень, а будує аналітичну теорію для довільних тривимірних періодичних рухів резервуару. У межах асимптотичної теорії Наріманова-Моїсєєва показано, що такі тривимірні збурення можна звести до еквівалентних (в асимптотичному сенсі) горизонтальних еліптичних орбітальних поступальних рухів резервуару. Це є одним із центральних результатів роботи, оскільки він дає змогу класифікувати збурення в сенсі трьох параметрів, які характеризують еліптичні збурення: відношення осей, напрям руху (за чи проти годинникової стрілки) та орієнтації його головної осі відносно стінок квадратного бака.

Електронний підпис
КОНСТАНТИНОВ
ВОЛОДИМИРОВИЧ
Ідентифікаційний
2602810330
Підписано у вчасно

Методологічною основою дисертації є нелінійний мультимодальний підхід до задач динаміки рідини з вільною поверхнею. Вихідна крайова задача редукується до модальної системи типу Наріманова-Моїсєєва, після чого застосовуються асимптотичні методи нелінійної механіки. Такий підхід дає змогу не лише описувати окремі усталені хвильові режими, а й системно класифікувати їх, досліджувати стійкість, біфуркації та області мультистійкості.

Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додаток. Її загальний об'єм 150 сторінок, список використаних джерел містить 188 найменувань. Зміст добре структурований: дисертація починається з постановки проблеми та огляду літератури, а потім переходить до асимптотичної модальної системи Фалтінсена-Тимохи, будує її асимптотичні періодичні розв'язки та аналізує породжені цим розв'язком амплітудно-частотні характеристики.

У першому розділі подано систематичний огляд літератури за темою дослідження. Автор аналізує розвиток аналітичних, модальних та асимптотичних підходів до задач про коливання рідини в резервуарах, окремо виділяє роль нелінійних модальних систем типу Наріманова-Моїсєєва та формулює відкриту проблему, яка розв'язується в дисертації: класифікацію всіх можливих стійких і нестійких усталених резонансних хвиль у резервуарі квадратного перерізу за довільних мало-амплітудних періодичних рухів резервуару.

У другому розділі автор приводить диференціальну, варіаційну та модальну постановки задачі. Вихідна крайова задача з вільною поверхнею послідовно переходить у варіаційне формулювання Люка-Бейтмена, а далі – у модальну систему в термінах узагальнених гідродинамічних координат. Цей розділ створює математичну основу для подальшої редукції до асимптотичної системи типу Наріманова-Моїсєєва, яка була виведена у 2003 році Фалтінсеном та Тимохою.

Третій розділ є центральним у дисертації. У ньому побудовано аналітичні асимптотичні періодичні розв'язки модальної системи Фалтінсена-Тимохи, які описують усталені резонансні хвильові режими. Необхідну умову існування таких розв'язків зведено до так званої секулярної системи нелінійних алгебраїчних рівнянь. Ця система пов'язує амплітуди, фазові зсуви, безрозмірну частоту збурення та параметри еквівалентного еліптичного руху резервуару.

Важливим результатом цього розділу є доведення того, що стійкість асимптотичних періодичних розв'язків визначається його першим асимптотичним наближенням. Це значно спрощує подальший аналіз і робить можливим системне дослідження всіх допустимих усталених режимів, їх класифікацію. Також у розділі побудовано альтернативну форму секулярної системи, більш зручну для чисельно-аналітичного дослідження.

У четвертому розділі проведено аналіз амплітудно-частотних кривих для різних класів горизонтальних еліптичних орбітальних збурень. Розглянуто кругові орбіти, еліптичні орбіти канонічного типу, орбіти з головною віссю вздовж діагоналі та косі еліптичні збурення. Показано, що для різних значень параметрів можливі стоячі, майже стоячі, кругові та хаотичні режими, а також області мультистійкості, коли за тих самих вхідних параметрів існує кілька стійких усталених розв'язків.

Основними науковими результатами дисертаційної роботи є:

- досліджено асимптотичну нелінійну модальну системи третього порядку Фалтінсена-Тимохи, яка описує коливання рідини в контейнері квадратного перерізу в разі довільних тривимірних періодичних резонансних збурень;
- побудовано асимптотичні періодичні розв'язки системи Фалтінсена-Тимохи, що описують усталені резонансні усталені хвильові режими;
- досліджено секулярну систему (необхідну умову існування періодичних розв'язків) нелінійних алгебраїчних рівнянь;
- доведено асимптотичну еквівалентність довільних тривимірних резонансних збурень та деяких горизонтальних еліптичних орбітальних рухів баку;
- класифіковано всі можливі типи усталених резонансних хвиль;
- побудовано та проаналізовано типові амплітудно-частотні криві, показано діапазони стійкості усталених хвиль, біфуркації та мультистійкість.

Отримані в дисертаційній роботі результати є новими та становлять вагомий внесок у розвиток нелінійної модальної теорії резонансного плескання рідини. Вони мають передусім теоретичне значення, але можуть бути використані також у подальших дослідженнях прикладних задач гідромеханіки, де істотними є резонансні режими, стійкість усталених хвиль і залежність хвильової відповіді від характеру збурення резервуару.

Наукові результати опубліковано у статтях в фахових виданнях та за кордоном, що індексуються в міжнародних наукометричних базах, зокрема, в стаття в журналі *Journal of Fluid Mechanics* (Q1). Отримані результати доповідалися та обговорювалися на наукових семінарах і міжнародних конференціях. Дисертація оформлена відповідно до вимог, що висуваються до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії. Порухів академічної доброчесності у дисертації та наукових працях здобувача не виявлено.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи:

1. Результати дисертаційних досліджень виконані в рамках припущень застосовності асимптотичної модальної системи Фалтінсена-Тимохи. Вона передбачає ряд припущень, зокрема, що частота збурення є близькою до

першої власної частоти. З тексту не до кінця зрозуміло, що відбуватиметься, коли частота збурень буде відходити від основного резонансу, особливо попадатиме в діапазони, де очікуватимуться вторинні резонанси.

2. В дисертаційній роботі не проаналізовано перехідні хвилі, які приводять до усталених періодичних режимів у випадку еліптичних збурень. Чи потрібно для аналізу цих хвиль використовувати адаптивну модальну систему, яка присутня в роботах Фалтінсена та Тимохи 2006 року?
3. У чисельно-аналітичній частині роботи з розділу 4 доцільно було б додатково обговорити чутливість амплітудно-частотних кривих до зміни коефіцієнта демпфування, оскільки демпфування може істотно впливати на межі областей стійкості та мультистійкості.

Зазначені зауваження мають характер побажань і не знижують високої оцінки дисертаційної роботи. Вони радше окреслюють природні напрями подальшого розвитку цих досліджень.

Дисертаційна робота Лагодзінського Олександра Євгенійовича є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на високому професійному рівні. За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю результатів, теоретичним і практичним значенням дисертація відповідає спеціальності 113 Прикладна математика та вимогам постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Рецензент:

Старший науковий співробітник
відділу математичних проблем
механіки та теорії керування
Інституту математики НАН України,
доктор фізико-математичних наук



Олександр КОНСТАНТИНОВ

13.07.2026 р.

Документ підписано у сервісі Вчасно (продовження)

Рецензія Константінова на дисертацію Лагодзінського.pdf

Документ відправлено (05417207): 00:13 14.07.2026

Документ отримано (05417207): 00:13 14.07.2026

Відправник документу

Електронний підпис

00:13 14.07.2026

Ідентифікаційний код: 2602810330

КОНСТАНТИНОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

Власник ключа: КОНСТАНТИНОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

Час перевірки КЕП/ЕЦП: 00:13 14.07.2026

Статус перевірки сертифікату: Сертифікат діє

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000DE710A0127917E07

Тип підпису: удосконалений

Тип сертифікату: кваліфікований