

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

ВІДГУК

офіційного опонента 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

Дисертаційна робота О.Є. Лагодзінського присвячена одній з найскладніших і водночас найцікавіших проблем математичної гідродинаміки — розвитку методів нелінійної аналітичної механіки та асимптотичних методів для аналізу усталених резонансних хвильових рухів рідини в контейнері квадратного перерізу, який коливається за заданим законом періодично в просторі. Наукова новизна теми визначається тим, що контейнери квадратного (чи майже квадратного) перерізу є типовими для різноманітних танкерів. Така геометрія є практично та теоретично важливою й цікавою з математичної точки зору через наявність двох перпендикулярних власних форм коливання із рівною власною частотою, що, як і у випадку контейнера кругового перерізу, не відворотно приводить до суттєво тривимірних хвиль за умови збурення першої власної частоти коливання рідини. Наукова новизна теми полягає також у тому, що традиційні інженерні підходи до дослідження резонансних хлюпань з застосування різноманітних чисельних методів з теоретичною та практичною точок зору залишаються малоефективними для класифікації (знаходження усіх можливих та дослідження стійкості) усталених резонансних хвильових режимів. У той же час всі попередні дослідження резонансних усталених хвиль було проведено виключно для зворотно-поступальних збурень контейнера. Що відбуватиметься в баці, які типи хвиль реалізуються, є стійкими, і чи є діапазон хаотичних хвиль, за умови довільних тривимірних періодичних рухів контейнера із частотою, близькою до першої власної залишається відкритою проблемою. Цю відкриту проблему було розв’язано у даній дисертаційній роботі.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг роботи становить 150 сторінок, список використаних джерел містить 188 найменувань, робота містить 18 рисунків. Структура дисертації є логічною та відповідає поставленій меті: від огляду стану проблеми автор переходить до постановки задачі, побудови аналітичної теорії та чисельно-аналітичного дослідження амплітудно-частотних кривих.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення результатів, особистий внесок здобувача, а також відомості про публікації й апробацію.

Перший розділ присвячено огляду літератури за темою дисертації. Автор послідовно аналізує розвиток аналітичних і модальних методів у задачах про коливання рідини, зокрема лінійні модальні методи, класичні нелінійні теорії, нелінійні модальні системи та мультимодальний підхід для двовимірних і тривимірних задач. Наприкінці розділу чітко сформульовано відкриту проблему, яку розв'язує дисертаційна робота.

У другому розділі наведено диференціальну, варіаційну та модальну постановку задачі про коливання рідини в рухомому жорсткому контейнері квадратного перерізу. На основі варіаційного формулювання Люка-Бейтмена та модального підходу здійснено перехід до системи рівнянь, яка є базовою для подальшого асимптотичного аналізу. Розділ має важливе методичне значення, оскільки саме він забезпечує зв'язок між вихідною крайовою задачею з вільною поверхнею та скінченновимірним модальним описом.

Третій розділ є основним теоретичним розділом дисертації. У ньому побудовано асимптотичні періодичні розв'язки системи типу Наріманова-Моїсєєва, які описують усталені резонансні хвильові режими. Виведено секулярну систему нелінійних алгебраїчних рівнянь, що задає необхідну умову існування таких розв'язків. Досліджено стійкість отриманих асимптотичних розв'язків і показано, що вона визначається першим наближенням.

Окремо слід відзначити результат про те, що в рамках асимптотичного підходу Найріманова-Моїсєєва довільні тривимірні резонансні збурення контейнера є еквівалентними (з точністю до наближення третього порядку) до деякого горизонтального еліптичного орбітального руху бака. Завдяки цьому загальний клас резонансних рухів контейнера вдається класифікувати геометричними параметрами еліпса збурення: відношення осей, напрям обходу та кут орієнтації головної осі еліпсу відносно осей квадратного бака. Це

суттєво спрощує подальший аналіз та робить висновки дисертаційної роботи теоретично завершеними в межах використаної асимптотичної моделі.

У четвертому розділі досліджено амплітудно-частотні кривих усталених резонансних хвиль для різних типів еліптичних орбітальних збурень. Розглянуто кругові, канонічні (осі еліпсу збурення співпадають із осями квадрату), діагональні та косі еліптичні орбіти. Автор демонструє як зміна форми орбіти, напряму збурення (проти чи за годинниковою стрілкою) та орієнтації еліпса впливає на існування і стійкість усталених хвильових режимів. У результаті проведено повну класифікацію стоячих, майже стоячих, кругових і хаотичних режимів, їх діапазони існування (співіснування), а також виявлено області мультистійкості.

До основних наукових результатів дисертаційної роботи можна віднести:

1. Побудову асимптотичної нелінійної теорії усталених резонансних хвиль у контейнері квадратного перерізу для довільних тривимірних періодичних збурень бака.
2. Вперше побудовано аналітичні асимптотичні періодичні розв'язки системи Фалтінсена-Тимохи (2003), які описують усталені резонансні хвильові режими в баках прямокутного перерізу для квадратного випадку, а також довільних тривимірних збурень першої власної частоти коливання рідини.
4. Виведення та дослідження секулярної системи нелінійних алгебраїчних рівнянь відносно домінантних амплітуд і фазових зсувів усталених резонансних хвиль.
5. Вперше доведено, що довільні тривимірні резонансні збурення баку квадратного перерізу можна в асимптотичному сенсі Наріманова-Моїсєєва звести до еквівалентних горизонтальних еліптичних орбітальних рухів контейнера.
6. Класифікація усіх можливих типів усталених резонансних хвиль і побудова відповідних амплітудно-частотних кривих.
7. Аналіз стійкості, біфуркацій і мультистійкості усталених хвильових режимів.

Отримані результати є новими, обґрунтованими та мають самостійне теоретичне значення. Вони розвивають нелінійну модальну теорію резонансного хлюпання рідини та можуть бути використані в подальших дослідженнях задач гідромеханіки обмежених об'ємів рідини.

Основні результати дисертації опубліковано у наукових працях за темою дослідження. Вони доповідалися на наукових семінарах та міжнародних наукових конференціях. Дисертація оформлена відповідно до вимог, що висуваються до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора

філософії. Порушень академічної доброчесності у дисертаційній роботі та наукових працях здобувача не виявлено.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи:

1. У роботі отримано завершену класифікацію усталених резонансних хвиль у межах асимптотичної теорії Наріманова-Моїсєєва. Було б корисно детальніше обговорити, як ця класифікація може змінюватися за більших амплітуд збурення.
2. Оскільки квадратний переріз є особливим симетричним випадком, доцільно було б ширше прокоментувати перспективи перенесення отриманих результатів на майже квадратні прямокутні баки.
3. У четвертому розділі наведено велику кількість амплітудно-частотних кривих. Деякі з них бажано було б супроводити більш розгорнутим поясненням фізичного змісту окремих гілок, зон мультистійкості та переходів між типами хвиль.

Наведені зауваження не впливають на загальну високу оцінку дисертаційної роботи, її наукову новизну та теоретичну значущість. Вони мають переважно дискусійний характер та побажання на майбутнє. Публікації автора в провідних наукових журналах, особливо в *Journal of Fluid Mechanics*, а також апробація результатів на міжнародних наукових конференціях засвідчують визнання отриманих результатів науковою спільнотою.

Дисертаційна робота Лагодзінського Олександра Євгенійовича є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні. За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю отриманих результатів і значенням для спеціальності 113 Прикладна математика дисертація відповідає 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.

Офіційний опонент:

Завідувач відділу теорії керуючих систем
Інституту прикладної математики і механіки
НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
професор

Дата 13.07.2026 р.

Юрій КОНОНОВ