

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Константінова Олександра Володимировича
«Нелінійні задачі динаміки та керування конструкціями з рідиною в режимі вимушених
коливань та параметричної взаємодії»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка

Актуальність наукового дослідження та його зв'язок з науковими програмами, планами і темами.

Дисертаційну роботу присвячено дослідженню динамічних особливостей сумісного руху механічної системи «резервуар – рідина з вільною поверхнею» у режимі вимушених і параметричних коливань і при керуванні рухом таких систем. Актуальність роботи обумовлена широким використанням в інженерній практиці конструкцій, частково заповнених рідиною, таких як судна-танкери, залізничні цистерни, паливні баки літальних апаратів. При наявності великої маси рідини (по відношенню до загальної маси системи) її хвильові рухи можуть суттєво впливати на динаміку та стійкість конструкцій, а тому можуть бути причиною позаштатних режимів руху та аварійних ситуацій.

Коливання рідини в системі «резервуар - рідина з вільною поверхнею», має давню історію, починаючи з хвиль Фарадея. У той же час, різноманіття хвильових рухів рідини, геометрії резервуарів в поєднанні з різним типом зовнішніх навантажень на систему, вимагає подальшого всебічного математичного моделювання цього явища.

У задачах дослідження динаміки та управління об'єктами з рідиною важливим є сумісність руху резервуара і рідини, додаткові ступені свободи резервуара, спосіб закріплення резервуара. Ці фактори суттєво впливають на динамічні процеси і характер керування ними. Оскільки саме ці питання є предметом дослідження даної дисертаційної роботи, можна зробити висновок, що тема дисертаційної роботи є актуальною як з теоретичної, так і з прикладної точки зору.

Дисертаційна робота виконувалась в Інституті математики НАН України в рамках бюджетних тем і фундаментальних досліджень відділу аналітичної механіки Інституту математики НАН України: тема НДР: «Математичні проблеми стійкості та керування у задачах аналітичної механіки», 2006 – 2010 роки, реєстраційний № 0106U000440; тема НДР «Математичні моделі у задачах аналітичної динаміки та дослідження їх стійкості, керування та спостереження», 2011 – 2015 роки, реєстраційний номер № 0111U001051; тема НДР «Дослідження математичних моделей в задачах динаміки, керування та спостережуваності», 2016 – 2020 роки, реєстраційний № 0116U003108.

Основний зміст роботи.

Дисертаційна робота О.В. Константінова складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. У вступі обґрунтована важливість і актуальність дисертаційного дослідження, сформульована мета роботи, її наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Наводяться дані щодо апробації та структури роботи.

У першому розділі роботи представлено аналіз сучасного стану теорії нелінійних коливань системи «резервуар – рідина з вільною поверхнею» в умовах параметричного збурення, силового збудження або керування рухом резервуару. Описано результати досліджень, що ґрунтуються на методах теорії збурень та варіаційних методах з нелінійної динаміки рідини. Обґрунтовано теоретичне і практичне значення подальших досліджень нелінійної динаміки резервуарів з рідиною із вільною поверхнею при наявності параметричного збурення, силового збудження або керування рухом резервуару.

Другий розділ роботи присвячено узагальненню умов і характеру виходу коливань механічної системи «резервуар – рідина з вільною поверхнею» на режим параметричного резонансу. Детально представлено узагальнену математичну модель динаміки сумісного руху системи «циліндричний резервуар – рідина з вільною поверхнею», яка розроблена в роботах О.С. Лимарченко і є основою для узагальнення умов і характеру коливань при наявності додаткових ступенів свободи резервуару. Автором виконано механічну постановку задачі для кожного випадку узагальнення, які включають: можливість руху резервуару в горизонтальній площині при наявності або відсутності пружного амортизатора, можливість кутових рухів резервуару на маятниковому підвісі, а також збудження руху системи вертикальною гармонічною силою. В аналітичному вигляді отримані формули для обчислення власних частот сумісних коливань, областей стійкості та нестійкості системи. Проведено якісний та спектральний аналіз результатів обчислювальних експериментів на основі нелінійної багатомодової дискретної моделі, побудованої на основі варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського.

У третьому розділі побудовані алгоритми керування активною зовнішньою силою, яка забезпечує рух резервуару за заданим законом за наявності коливань вільної поверхні рідини. На основі лінійної моделі коливань побудовано алгоритми керування зі зворотним зв'язком із використанням методів модального керування, еталонної моделі та мінімізації квадратичного функціоналу якості. Показано, що методи управління на основі лінійної моделі ефективні для порівняно невеликих збурень вільної поверхні рідини, визначено межі їх застосовності. Для коливань, в яких нелінійні ефекти істотні, представлено нелінійні закони керування на основі варіаційного принципу найменшого примушення Гауса.

У четвертому розділі представлено результати дослідження переходних процесів в механічною системою «резервуар – рідина з вільною поверхнею». Представлено аналіз

коливань циліндричного резервуару під дією гармонійної сили в слабкому гравітаційному полі з урахуванням капілярних сил, контактного кута вільної поверхні і стінки резервуару. Досліджено вимушені коливання системи під дією горизонтального силового збудження в присутності і без урахування узагальненої дисипації. Також представлено аналіз кривизни та нахилу стінок у резервуарах у формі тіла обертання.

У висновках сформульовані основні наукові та практичні результати роботи.

Наукова новизна положень дисертаційної роботи.

Відповідно до мети роботи, яку можна сформулювати як дослідження «динамічних особливостей сумісного руху механічної системи «резервуар – рідина з вільною поверхнею» в нелінійному діапазоні зміни параметрів за наявності параметричного збурення, силового збудження чи керування рухом резервуару», отримано такі важливі наукові результати:

- сформульовано узагальнення класичної задачі про параметричні хвилі Фарадея з урахуванням сумісності коливань рідини й резервуару. Досліджена динаміка системи «резервуар – рідина з вільною поверхнею» при наявності додаткового ступеня свободи руху резервуару, вертикального силового збудження, впливу на розвиток параметричного резонансу капілярних сил і демпфування;
- отримано в аналітичній формі власні частоти сумісних коливань механічної системи та області стійкості й нестійкості системи;
- за наявності додаткових ступенів свободи виявлено, що поряд із параметричним резонансом виникає механізм вимушеного коливання рідини. Цей механізм призводить до виходу системи на нелінійний режим коливань на будь-якій частоті;
- запропоновано алгоритм управління поступальним рухом резервуару із рідиною з використанням лінійної моделі у збуреннях на основі методів модального керування, еталонної моделі й мінімізації квадратичного функціоналу якості;
- запропоновано алгоритм керування поступальним рухом резервуару з рідиною в нелінійному діапазоні зміни амплітудних параметрів із застосуванням методу компенсації головного вектору гідродинамічних сил й варіаційного принципу найменшого примушення Гауса;
- визначено умови та особливості виходу коливань вільної поверхні рідини під дією зовнішньої сили на усталений режим за відсутності та наявності узагальненої дисипації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, сформульованих у дисертації.

Обґрунтованість наукових положень, сформульованих у дисертації О.В. Константінова визначається коректною постановкою проблеми дослідження, детальним описом задач та підходів до їхнього розв'язання, контролем виконання законів симетрії та закону збереження енергії. Дослідження базується на нелінійній багатомодовій дискретній моделі, яка будується

за допомогою варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського і пройшла апробацію в багатьох попередніх дослідженнях.

Отримані результати узгоджуються на якісному рівні з результатами теоретичних і експериментальних досліджень вимушених коливань і класичної задачі про хвилі Фарадея, а також з результатами моделі І.О. Луковського, що застосувалася для вивчення усталених резонансних режимів. Усі основні результати роботи пройшли широку апробацію шляхом їхньої публікації в різних періодичних фахових виданнях, значна частина з яких представлена в міжнародних базах даних SCOPUS та WoS, і представлена на багатьох наукових конференціях в Україні та за її межами.

Практична значимість результатів роботи.

Основним практичним результатом роботи є створення теоретичних основ для розробки програмних продуктів для дослідження і прогнозування складних процесів хвилеутворення у системі «резервуар – рідина з вільною поверхнею», а також для керування рухом таких систем.

Повнота викладу отриманих результатів у наукових виданнях.

Отримані результати повністю викладено у 27 наукових статтях автора, з яких 8 статей у міжнародних наукових журналах, включених до наукометричних баз Scopus і Web of Science, і 19 статей у наукових фахових виданнях ДАК України.

Оформлення дисертації та автореферату.

Дисертація і автореферат оформлені згідно з діючими правилами і рекомендаціями. Автореферат з необхідною повнотою відображає зміст дисертації. У представленій роботі результати кандидатської дисертації не використано. Висновки, які наведені в дисертації й авторефераті, відображають головні результати досліджень. Всі основні положення і висновки дисертаційної роботи викладені в авторефераті. На літературні джерела і результати інших авторів зроблено досить коректні посилання. Бібліографічний опис цитувань в дисертаційній роботі складено у відповідному вигляді.

Зauważення щодо змісту й оформлення дисертації та автореферату.

1. В роботі розглядалася група задач про рух системи «резервуар – рідина» в околі резонансу. Внеском автора є одночасне врахування факторів нелінійності і сумісності руху. Для більш повного розуміння механізмів формування таких процесів було б цікаво навести порівняння результатів такого повного моделювання з варіантами без нелінійності і без сумісності руху. Проте в роботі така інформація відсутня.
2. Частина результатів роботи ґрунтуються на чисельному інтегруванні багаточастотної нелінійної системи звичайних диференціальних рівнянь на основі методу Рунге-Кута на достатньо тривалому часовому інтервалі. Чи робилися теоретичні оцінки

можливості такого інтегрування і похибок, які можуть виникнути? Чи не спостерігалися прояви ефектів жорсткості таких систем?

3. Практично у всіх числових прикладах в загальній системі рівнянь математичної моделі «резервуар – рідина з вільною поверхнею» враховується 12 форм коливань вільної поверхні рідини. Не показано чому саме цій кількості форм коливань віддано перевагу і в недостатній мірі описано за яким принципом були обрані форми коливань, враховані в моделі, і ступені врахування нелінійних характеристик їх амплітуд.
4. Підписи під рисунками могли б бути більш інформативними, що полегшило б сприйняття представлених результатів.
5. В тексті є друкарські помилки на стор. 51 (рис.2.1) і на стор. 112: (в межах $2,494\omega_1 \leq p \leq 2,494\omega_1$).

Висновки щодо дисертаційної роботи.

Вказані вище зауваження не є принциповими і не впливають на загальний позитивний висновок по дисертаційній роботі. Дисертаційна робота О.В. Константінова «Нелінійні задачі динаміки та керування конструкціями з рідиною в режимі вимушених коливань та параметричної взаємодії», є завершеною роботою, містить наукові положення та науково обґрунтовані результати, які у сукупності роблять суттєвий внесок у вирішення важливої науково-прикладної проблеми.

Зміст дисертаційної роботи і автореферат відповідають паспорту спеціальності 01.02.01 – теоретична механіка, а висновки відображають головні результати досліджень.

Враховуючи все вище сказане, вважаю, що представлена дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016 та № 943 від 20.11.2019), а її автор Константінов Олександр Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
відділу течій з вільними межами

Інституту гідромеханіки НАН України

Ю.А. Семенов

06 вересня 2021 р.



Кадінськ 09.09.2021р.
М1-