

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

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 обраної теми дисертації. Одною з головних проблем сучасного етапу розвитку науки, техніки і технології є фундаментальні дослідження в галузі моделювання, керування, якісного та кількісного аналізу динаміки складних керованих систем. Інженерні конструкції, які мають в своєму складі резервуари, частково заповнені рідиною, і широко застосовуються в різних областях машинобудування, в повній мірі можна віднести до таких складних керованих систем. Баки з рідиною є невід'ємною складовою частиною космічних апаратів з рідинним ракетним двигуном, літаків, гелікоптерів, суден та інших транспортних засобів. Резервуари, які містять рідину, використовуються для транспортування та збереження рідинних вантажів в танкерах, вагонах-цистернах, літаках-заправниках, нафтосховищах, хімічних реакторах тощо.

Конструкції, частково заповнені рідиною, в умовах реальної експлуатації перебувають під впливом вібраційних, імпульсних, сейсмічних, керованих, вітрових та інших типів навантажень. При цьому у задачах створення математичних моделей, дослідження динаміки руху і побудови керування резервуаром як твердого тіла з порожнинами, які частково заповнені рідиною, необхідно виділити декілька найвпливовіших факторів. По-перше, урахування рухомості рідини в резервуарі, причому у більшості цікавих для промисловості задач відносна маса рідини може складати до 80% від загальної маси конструкції. По-друге, урахування сумісності руху тіла-носія та рідини у порожнинах, оскільки здійснений автором спектральний аналіз системи показав, що при зв'язаному русі змінюються як величини, так і взаємне розташування власних частот системи, а тому області прояву резонансів стають зовсім іншими. По-третє, спосіб закріплення резервуара впливає на характер прояву сумісності і вносить до системи додаткові ступені вільності, які теж суттєво впливають на поведінку системи у дорезонансних, резонансних та зарезонансних областях в околі власних частот системи. Всі ці аспекти знайшли відображення в дослідженнях автора роботи по нелінійній динаміці та керуванню системою «резервуар – рідина з вільною поверхнею», що й обумовлює актуальність обраної теми дисертації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукові положення, рекомендації та елементи наукової новизни, які виносяться автором на захист, можна вважати достатньо обґрунтованими та достовірними. Вони базуються на положеннях наукових праць вітчизняних та зарубіжних учених з питань нелінійної динаміки та керування твердого тіла, яке містить порожнини, частково заповнені рідинами. Обґрунтованість одержаних результатів дослідження забезпечені використанням загальнонаукових методів (аналіз, синтез, проведення обчислювальних експериментів та співставлення отриманих результатів з теоретичними та експериментальними результатами інших дослідників) і спеціальних методів (спектральний аналіз, аналіз стійкості тощо). У роботі визначено й логічно поставлено низку основних завдань, вирішення яких дозволило досягти мети дисертаційної роботи.

Достовірність та наукова новизна одержаних результатів, повнота їх викладу в опублікованих працях. У дисертації одержані такі *нові наукові результати*:

1. Сформульовано узагальнення класичної задачі Фарадея про параметричні хвилі з урахуванням таких ефектів: 1) сумісності коливань рідини та резервуара, 2) наявності додаткового ступеня вільності руху резервуара (можливості горизонтального переміщення або кутових коливань резервуара на маятниковому підвісі), 3) вертикального силового збудження руху резервуара, 4) впливу на розвиток параметричного резонансу капілярних сил і демпфування (Розділ 2).

2. Для узагальненої задачі Фарадея: 1) виконано механічну постановку задачі для кожного випадку узагальнення; 2) отримано в аналітичному вигляді власні частоти сумісних коливань механічної системи, дано аналіз їх зміни відносно парціальних частот; 3) побудовано в аналітичному вигляді області стійкості та нестійкості системи, 4) при наявності додаткових ступенів вільності виявлено, що поряд з параметричним резонансом виникає механізм вимушених (активних) коливань рідини, який призводить до виходу системи на нелінійний режим коливань на будь-якій частоті (Розділ 2).

3. Дослідження сумісних рухів базується на нелінійній багатомодовій дискретній моделі, яка виводиться за допомогою варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського з попереднім виключенням кінематичних в'язей (Розділ 2).

4. Запропоновано алгоритм керування поступальним рухом резервуара з рідинами із використанням лінійної моделі у збуреннях на основі методів модального керування, еталонної моделі та мінімізації квадратичного функціоналу якості; розроблений алгоритм апробовано на нелінійній

багатомодовій моделі та виявлено границі його застосування в межах лінійного діапазону збурень вільної поверхні рідини (Розділ 3).

5. Запропоновано алгоритм керування поступальним рухом резервуара з рідиною в нелінійному діапазоні зміни амплітудних параметрів із застосуванням методу компенсації головного вектору гідродинамічних сил та варіаційного принципу найменшого примушення Гауса; обидва методи доцільно використовувати при переміщеннях конструкцій з рідиною в межах відповідних технологічних або виробничих процесів (Розділ 3).

6. Досліджено параметричний резонанс в механічній системі "резервуар - рідина з вільною поверхнею" за умови слабкого прояву поверхневого натягу, коли резервуар рухається у вертикальному напрямку за заданим гармонічним законом; встановлено, що наявність сил поверхневого натягу забезпечує більш швидкий вихід системи на резонансний режим, однак наявність сил поверхневого натягу по контуру контакту "пом'якшує" резонанс за рахунок збільшення енергетичного внеску осесиметричних форм коливань (Розділ 4).

7. Визначено умови та особливості виходу коливань вільної поверхні рідини під дією зовнішньої сили на усталений режим за відсутності чи наявності узагальненої дисипації в механічній системі; дослідження проводились для різних частотних діапазонів збудження (Розділ 4).

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів. Дослідження носить теоретичний характер, його результати можуть бути використані для пояснення та прогнозування складних процесів хвилеутворення і взаємодії компонент у системі «резервуар – рідина з вільною поверхнею», а також для керування рухом таких систем.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях. Зміст дисертації викладено у 30-ох наукових статтях та 6-ох тезах конференцій. Основні результати дисертації з достатньою повнотою опубліковано в 27 статтях, серед яких 8 статей у виданнях квартиля Q3, внесених до наукометричної бази даних Scopus, та 19 статей у наукових фахових виданнях України. До публікацій, що додатково відображають наукові положення дисертації, належать 3 статті, опубліковані у матеріалах міжнародних конференцій. Зміст опублікованих праць у повній мірі розкриває суть результатів проведених досліджень. Це дозволяє зробити висновок, що якість, кількість і обсяг наукових праць, опублікованих Константіновим О.В., відповідає рівню дисертації, їх зміст та тематична спрямованість відповідають спеціальності 01.02.01 – теоретична механіка.

Оцінка змісту дисертації та її оформлення. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Оформлення дисертації задовільняє всім вимогам, які висуваються щодо рукописів на здобуття наукових ступенів. Автореферат дисертації повністю відповідає її змісту.

Зауваження по роботі.

1. В теоретичній механіці загальні класичні рівняння руху твердого тіла переважно записуються у формі Ейлера-Пуассона, де шуканими змінними є кутові швидкості резервуара навколо відповідних координатних осей. Проте автор використовує рівняння у формі Лагранжа в параметрах кутів повороту навколо відповідних координатних осей. Не до кінця зрозуміло чому обрано саме таку форму подання рівнянь руху тіла-носія?
2. В роботі розглядаються кутові коливання резервуара на маятниковому підвісі лише по одному куту. Чому не розглядалися випадки коливань системи для більш складного кутового руху, наприклад, неплоского?
3. У всіх проведених дослідженнях кутові коливання резервуара на маятниковому підвісі можна вважати малими (тобто в межах лінійної постановки задачі з кутом відхилення приблизно до 7 градусів). Однак в рівняннях руху системи «резервуар – рідина з вільною поверхнею» ці параметри враховані до величин вищих порядків. Наскільки доцільне в якісному і кількісному аспекті таке ускладнення математичної моделі руху системи?
4. Урахування сумісності руху резервуара та рідини в системі призводить до ситуації, коли змінюються і чисельні значення, і взаємне розташування власних частот системи. Таким чином, новий перерозподіл частот сприяє появи в системі нових внутрішніх резонансів. Не показано чи може в системі виникнути внутрішній резонанс між кутовими коливаннями тіла-носія і коливаннями вільної поверхні рідини.
5. У дисертації є деякі описки так, наприклад, на с. 16 у двадцятому рядку зверху треба вставити "та багато інших", на рис. 2.1а нерухома система координат повинна мати позначення $O_1X_1Y_1Z_1$, а не $O_1X_1X_2X_3$, у деяких формулах зустрічаються різні шрифти, наприклад, у формулах (2.1), (2.7) та ін.

Вказані зауваження в значній мірі є побажаннями і не зменшують загальної високої оцінки одержаних наукових результатів.

Загальний висновок та оцінка дисертації. Дисертаційна робота О.В.Константінова є системним, завершеним науковим дослідженням, яке присвячено вирішенню актуального завдання – математичному моделюванню нелінійної динаміки конструкцій з рідиною при наявності зовнішніх впливів (вимушених і параметричних) або керування. Тематика дослідження повністю відповідає науковій спеціальності 01.02.01. – теоретична механіка.

В цілому вважаю, що дисертаційна робота Константінова О.В. на тему «Нелінійні задачі динаміки та керування конструкціями з рідиною в режимі вимушених коливань та параметричної взаємодії» відповідає вимогам

«Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету міністрів України № 567 від 24.07.2013 зі змінами) щодо докторських дисертацій, а її автор, Константінов Олександр Володимирович, за отримані наукові результати досліджень, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач відділу теорії керуючих систем

Інституту прикладної математики і механіки
НАН України (м. Слов'янськ)

Ю.М. Кононов

стігнес Кононова Ю. М. заєвідгено.

Ст. інспектор з кадрів



Дубовик Г.Н.