

Голові разової спеціалізованої
вченої ради ДФ 64.052.004
Харківського національного
університету радіоелектроніки
доктору фіз.-мат. наук, проф.
Максиму СИДОРОВУ

Рецензія

рецензента, Ламтюгової Світлани Миколаївни, кандидата фізико-математичних наук, доцента, доцента кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України на дисертаційну роботу Крютченка Дениса Володимировича «Уточнені математичні моделі для дослідження вільних та вимушених коливань рідини в резервуарах», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика

1. Обґрунтування вибору теми дослідження. На теперішній час головним інструментом дослідження процесів, що протікають у технічних системах, є математичне моделювання та комп'ютерний експеримент. Хоча натурні експериментальні методи дають адекватну картину фізичних явищ та процесів, але їх використання потребує коштовної апаратури, виготовлення унікальних зразків, які можуть бути зруйновані в ході експерименту, при цьому може постраждати робочий персонал. До того ж, наприклад, виплескування небезпечних речовин внаслідок руйнування резервуарів може призвести до негативних екологічних наслідків. Тому актуальним є проведення віртуальних або комп'ютерних випробувань для дослідження різноманітних фізичних та механічних явищ, пов'язаних з цими процесами.

Відомо, що частково заповнені рідиною резервуари виявляють особливу схильність до інтенсивних плескань під дією раптово прикладених

навантажень. Активний рух рідини всередині резервуарів призводить до створення великого локального тиску на їх стінки. Це, в свою чергу, може призвести до руйнування окремих структурних елементів або навіть всієї конструкції. Більше того, такий тиск може спричинити втрату стійкості резервуарів з рідиною.

Отже, вважаю, що дисертаційна робота Крютченка Д.В., що присвячена побудові нових ефективних методів дослідження вільних та вимушених коливань рідини в резервуарах, виконана на актуальну тему.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

У першому розділі проведено аналіз наукової літератури, де детально розглянуті питання, пов'язані з методами розрахунку міцності та динамічного стану оболонкових конструкцій, які мають відсіки, що наповнені частково рідиною. За підсумками розділу здійснено постановку задач дослідження.

Другий розділ присвячений формулюванню задач, що стосуються вільних та вимушених коливань аксіально-симетричних та неаксіально-симетричних оболонок, які містять рідину. У цьому розділі розроблені математичні моделі для аналізу стійкості та динамічних характеристик оболонок та оболонкових конструкцій, які частково наповнені рідиною. Досліджені перегородки різних типів для гасіння плескань. Також обґрунтовано важливість зведення задач гідропружної взаємодії до граничних інтегральних рівнянь та зведення систем двовимірних інтегральних рівнянь до одновимірних.

Третій розділ присвячений вільним коливанням рідини в жорстких резервуарах. Тут розглянуті математичні моделі для вивчення вільних коливань рідини в резервуарах. Використовуються методи відокремлення змінних, методи граничних елементів та граничних суперелементів.

У четвертому розділі досліджуються оболонки з рідиною під дією вимушених навантажень. Встановлено, що при чистому горизонтальному

збудженні, коли частота зовнішнього збудження дорівнює фундаментальній частоті плескання, виникає явище резонансу, причому заповнена рідиною жорстка оболонка має єдиний резонанс, але при комбінованому вертикально-горизонтальному збудженні, система має інші резонансні частоти. Якщо горизонтальна частота збудження близька до фундаментальної частоти або коли сума чи різниця частот горизонтального і вертикального збудження близька до цієї частоти, відбувається резонанс, який характеризується лінійним зростанням амплітуди коливань вільної поверхні. Коли частота вертикального збудження дорівнює подвійному значенню фундаментальної частоти, відбувається експоненціальне зростання амплітуди коливань вільної поверхні.

У п'ятому розділі розглянуті ефекти пружності, стисливості та нелінійності руху рідини в резервуарах. Доведено, що у випадку досить тонких оболонок, коли нижча частота коливань пружних стінок стає приблизно рівною нижчим частотам плескань, відбувається втрата стійкості. Найбільш небезпечними частотами зовнішнього впливу є такі, що наближуються до частот коливань пружних стінок, які в свою чергу близькі до частот коливань вільної поверхні. Вказано, що в цьому випадку спектри частот коливань пружних стінок та коливань вільної поверхні рідини не є відокремленими і впливом пружності стінок неможливо нехтувати.

Вважаю, що дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», який затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44) та «Вимогам до оформлення дисертації», які затверджено Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертація виконана на кафедрі прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки та в рамках:

– держбюджетної науково-дослідної теми № ДР 0111U001758 «Розробка наукових основ аналізу нестационарного динамічного напруженого стану елементів енергетичного та іншого обладнання з урахуванням пошкоджень»;

– роботи для Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» за господарськими договорами № ДР 0114U101241 «Підвищення ефективності елементів конструкцій аерокосмічних систем при силових та аеродинамічних навантаженнях», № ДР 0120U101241 «Підвищення ефективності елементів конструкцій ракетно-космічної техніки шляхом їх чисельного моделювання та оптимізації» і № ДР 0117U00880 «Динамічна міцність елементів аерокосмічної та бронетанкової техніки під дією механічних навантажень»;

– гранту Міністерства освіти і науки України «Сучасні обчислювальні методи для аналізу плескань в паливних баках з перегородками» в рамках спільного українсько-індійського проєкту (2019–2021 рр.).

У зазначених проєктах автор дисертації брав участь як виконавець.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій у роботі забезпечено ефективним використанням методів граничних елементів та суперелементів. Достовірність отриманих результатів обґрунтовується шляхом: використання відомих та апробованих підходів (автором використані вже відомі та випробувані методи для числового розв’язування диференціальних та інтегральних рівнянь); узгодженості результатів з аналітичними та числовими розв’язками, отриманими іншими авторами. Отримані в роботі результати добре співпадають з аналітичними та числовими розв’язками відомими в літературі. Це підтверджує вірогідність та адекватність застосованих методів, підкреслюючи їхню спроможність до точного відтворення реальних фізичних явищ.

Отримані у дисертації наукові результати були представлені та обговорені на восьми міжнародних наукових конференціях.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Матеріали дисертації достатньо повно викладені у 28 наукових роботах: 20 статей, з яких 8 статей опубліковані у виданнях, зазначених в переліку наукових фахових видань України (категорія Б) за спеціальністю 113 Прикладна математика, 7 статей опубліковані у закордонних фахових наукових виданнях (з них 5 статей включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, зокрема, 3 публікації входять до Q1), та 8 тез доповідей, опублікованих у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Здобувач отримав наступні нові наукові результати.

1. Розроблено ефективний редукований метод граничних елементів для розв'язання крайових задач механіки суцільного середовища. Розроблені нові наближені методи числового розв'язання сингулярних інтегральних рівнянь, при цьому враховувались властивості ядер відповідних інтегральних операторів.

2. Вперше досліджені ефекти взаємного впливу пружності стінок та плескань рідини при вимушених коливаннях і знайдені умови, за виконання яких частоти коливань стінок і рідини є близькими. Це дає можливість з'ясувати поведінку оболонок з рідиною та пружними стінками при динамічних навантаженнях.

3. Вдосконалено метод граничних суперелементів в частині його застосування для розв'язання задач про коливання рідини в оболонках з внутрішніми горизонтальними та вертикальними перегородками, які служать для гасіння плескань.

4. Надано уточнену оцінку частот вільних коливань рідини в жорстких циліндричних і циліндрично-конічних оболонках з урахуванням дії сили тяжіння.

5. Проведено уточнене дослідження комбінованих вертикально-горизонтальних навантажень з урахуванням пружних ефектів. Це сприяє глибокому розумінню впливу різноманітних навантажень на системи з рідиною та стінками оболонок.

6. Розроблено алгоритм врахування стисливості рідини у резервуарах при використанні методу граничних елементів.

6. Практичне значення одержаних результатів. Отримані в дисертації результати можуть бути використані під час проєктування ракетної техніки, при виготовленні елементів конструкцій, що містять рідину, з захистом від небажаних резонансних частот, а також при проєктуванні елементів конструкцій, виготовлених з використанням нанокompозитних покриттів, при дослідженні усереднених механічних властивостей та міцності композитів та нанокompозитів.

Деякі результати та рекомендації прикладних досліджень дисертації використано в Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України при виконанні спільного українсько-індійського проєкту «Сучасні обчислювальні методи для аналізу плескань в паливних баках з перегородками» (2019–2021 рр.), при виконанні державних бюджетних тем та господарчих договорів з конструкторським бюро «Південне», про що свідчить наведений у додатку Б Акт впровадження.

7. Дотримання академічної доброчесності. За результатами аналізу дисертації та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації. Ознайомившись зі змістом дисертації маю зауважити наступне.

1. У деяких розділах (зокрема, у третьому розділі) номер гармоніки позначається як α , а в деяких (наприклад, п'ятий розділ, с. 158) – як n .

2. З висновків роботи не зрозуміло, чи можна буде застосовувати розроблені методи для розв'язання задач коливань в'язкої рідини в резервуарах?

3. Спрощене нелінійне формулювання математичної моделі коливання рідини у оболонках у п'ятому розділі не дає змогу до кінця проаналізувати коливання рідини.

4. У другому розділі (с. 55) не наведені результати впливу покриття вільної поверхні мембраною.

5. Текст дисертації містить певну кількість граматичних та стилістичних помилок, які, втім, не мають суттєвого впливу на сприйняття змісту роботи.

9. Загальні висновки щодо дисертації. Вважаю, що дисертація Крютченка Дениса Володимировича «Уточнені математичні моделі для дослідження вільних та вимушених коливань рідини в резервуарах», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика, є актуальною, завершеною науковою працею, що виконана на високому науково-теоретичному рівні з логічно та доступно викладеним матеріалом.

В дисертації розв'язано важливу науково-технічну задачу, яка полягає в розробленні сучасного ефективного обчислювального методу для дослідження вільних та вимушених коливань рідини в резервуарах.

Здобувач Крютченко Денис Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Рецензент,
канд. фіз.-мат. наук, доцент,
доцент кафедри прикладної
математики Харківського
національного університету
радіоелектроніки МОН України



Світлана ЛАМТЮГОВА

Підпис засвідчую
Учений секретар



Ігор МАГДАЛІНА