

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

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України, доктора технічних наук, професора Сметанкіної Наталі Володимирівни 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. Актуальність теми дисертації

Такі явища, як землетруси, теракти та аварії спостерігаються у всьому світі. Це може призвести до руйнування резервуарів та сховищ з легкозаймистими та отруйними речовинами. Тому при розробці проєктів таких резервуарів важливо враховувати вплив навантажень, що діють на резервуар та рідину всередині. Виплескування легкозаймистих та токсичних речовин при раптовому зовнішньому навантаженні може спричинити негативні екологічні наслідки та навіть техногенну катастрофу. Різні галузі інженерії, такі як авіабудування, ракетно-космічна техніка, проєктування повітряних установок, транспорт, енергетичне машинобудування, хімічна промисловість та інші, широко використовують елементи тонкостінних конструкцій, які працюють в умовах підвищених технологічних навантажень. Ці конструкції можуть включати резервуари, баки, цистерни для зберігання нафти, ракетного палива, легкозаймистих або отруйних речовин. Відомо, що частково заповнені резервуари особливо схильні до сильних плескань. Інтенсивний рух рідини, який виникає в резервуарах, призводить до утворення високого локалізованого

тиску рідини на стінки. Це, в свою чергу, може викликати руйнування окремих конструкційних елементів або всієї конструкції, а також може спричинити втрату стійкості та відхилення від розрахункової траєкторії польоту ракети-носія.

З огляду на викладене вище вважаю, що тема дисертації здобувача Крютченка Д.В. є актуальною.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (162 найменування) та трьох додатків.

У першому розділі проведено аналіз сучасної наукової літератури, де детально розглядаються питання, що стосуються методів розрахунку міцності та динамічного стану оболонкових конструкцій, що мають відсіки частково заповнені рідиною.

Другий розділ присвячений формулюванню задач щодо вільних та вимушених коливань оболонок обертання, що містять рідину. У цьому розділі розроблені деталізовані математичні моделі для аналізу міцності та динамічних характеристик оболонок та оболонкових конструкцій, які частково заповнені рідиною, з використанням вертикальних та горизонтальних перегородок для демпфування плескань. Також обґрунтовано важливість зведення задач гідропружної взаємодії до граничних інтегральних рівнянь, та зведено системи двовимірних інтегральних рівнянь до одновимірних для аксіально-симетричних задач.

Третій розділ присвячений вільним коливанням рідини в жорстких резервуарах. В розділі розроблені математичні моделі для дослідження вільних коливань рідини в таких резервуарах, використовуючи методи відокремлення змінних, методи граничних елементів та граничних суперелементів.

Четвертий розділ вивчає вимушені коливання оболонкових конструкцій із рідиною. Тут розроблено метод аналізу вібрацій рідини в

призматичних та циліндричних резервуарах під дією періодичних горизонтальних і вертикальних навантажень. Визначено вплив частоти сили збудження на поведінку рідини.

У п'ятому розділі розглянуто ефекти пружності, стисливості та нелінійності руху рідини в резервуарах. Тут розроблено числову процедуру на основі методу граничних елементів та мультимодального підходу для числового аналізу ефектів нелінійного плескання в жорстких оболонках обертання при поздовжніх збудженнях. Використано слабе нелінійне формулювання з припущенням, що висота підйому вільної поверхні мала порівняно з радіусом оболонки.

Вважаю, що дисертація Крютченка Д.В. є завершеною науковою працею, викладення матеріалу має чітку та логічну структуру, 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» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44) та «Вимогам до оформлення дисертації» (наказ 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 яких автор брав участь як виконавець.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено коректним використанням підходів і методів обчислювальної і математичної фізики, методів числового аналізу, а саме методів граничних елементів та граничних суперелементів.

Отримані результати добре узгоджені з аналітичними та числовими розв'язками, отриманими іншими вченими. Це свідчить про вірогідність та адекватність отриманих у дисертації результатів.

Наукові результати були представлені та обговорені на восьми міжнародних наукових конференціях. Це дозволяє визнати результати як важливі та вірогідні, а також свідчить про їхню актуальність для наукової спільноти.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їхня наукова новизна

Основні результати, які складають зміст дисертації, досить повно відображені у 28 наукових роботах, що свідчить про вагомість отриманих здобувачем висновків. Окремо слід відзначити наявність 7 статей у

закордонних фахових наукових виданнях, з яких 5 статей опубліковано у виданнях, які включено до міжнародної наукометричної бази Scopus (квартилі Q1 та Q4).

Зокрема, здобувач отримав такі нові наукові результати:

- побудовано ефективний редукований метод граничних елементів для розв’язання крайових задач теорії потенціалу та нові наближені методи числового розв’язання сингулярних інтегральних рівнянь з урахуванням властивостей ядер відповідних інтегральних операторів та перевіркою точності побудованих квадратурних формул для інтегралів зі слабкою особливістю та особливістю в сенсі Коші;
- вперше досліджені ефекти взаємного впливу пружності стінок та плескань рідини при вимушених коливаннях та знайдені умови, коли частоти коливань стінок і рідини є близькими;
- розроблено метод граничних суперелементів для розв’язання задач про коливання рідини в оболонках з внутрішніми горизонтальними та вертикальними перегородками, які ставлять для гасіння плескань;
- надано уточнену оцінку частот вільних коливань рідини в жорстких циліндричних і циліндрично-конічних оболонках з урахуванням дії сили тяжіння;
- проведено уточнене дослідження комбінованих вертикально-горизонтальних навантажень з урахуванням пружних ефектів.

6. Практичне значення одержаних у роботі результатів

Отримані в дисертації результати мають важливе практичне значення і можуть бути успішно використані у сфері проектування конструкцій, що містять рідину.

Ряд результатів та рекомендацій прикладних досліджень дисертаційної роботи використано при виконанні спільного українсько-індійського проєкту «Сучасні обчислювальні методи для аналізу плескань в паливних баках з перегородками» (2019–2021 рр.), при виконання

державних бюджетних тем та господарчих договорів з конструкторським бюро «Південне». Відповідний акт впровадження наведено у додатку Б дисертації.

7. Дотримання здобувачем академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертації та публікацій за її темою не виявлено фактів порушення академічної доброчесності. Відсутні елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі. Це свідчить про високий ступінь наукової добросовісності та відповідність вимогам етичних стандартів у проведенні наукових досліджень.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

1. Допущено неточності у позначеннях, а саме у розділах 2 (с. 61) і 3 (с. 93) жорстка поверхня позначається як σ , так і S_1 ; у розділі 3 використано різну послідовність у позначенні циліндричної системи координат: на с. 83 (r, θ, z) , а на с. 84 (r, z, θ) .

2. У формулах (3.11) наведені не всі функції, що можуть використовуватись як базисні функції при дослідженні вимушених коливань.

3. На рис. 4.13 доцільно показати фазові портрети та зміну підйому рівня рідини порівняно з графічними залежностями, які надано на рис. 4.9.

4. Бажано у роботі розглянути коливання рідини в конічних резервуарах з перегородками.

Проте зроблені зауваження не впливають на цілісне сприйняття роботи і рівень отриманих наукових результатів.

Висновок

Дисертація Крютченка Дениса Володимировича на тему «Уточнені математичні моделі для дослідження вільних та вимушених коливань

рідини в резервуарах», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика» є актуальною, завершеною науковою працею, яка виконана на належному науково-теоретичному рівні з логічно та доступно викладеним матеріалом.

В дисертації розв'язано важливу науково-технічну проблему, яка полягає в розробленні сучасного ефективного обчислювального методу для аналізу вільних та вимушених коливань рідини в резервуарах з перегородками різних типів для збереження легкозаймистих та отруйних речовин.

Вважаю, що здобувач Крютченко Денис Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Офіційний опонент,
завідувач відділу вібраційних і
термоміцнісних досліджень Інституту
проблем машинобудування
ім. А. М. Підгорного НАН України,
доктор технічних наук,
професор

Наталя СМЕТАНКІНА

Підпис д-ра техн. наук, проф.
Наталі Сметанкіної засвідчую

Учений секретар
Інституту проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України,
доктор технічних наук



Сергій УГРІМОВ