

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

Відгук

офіційного опонента, завідувача лабораторії міцності та довговічності елементів конструкцій за складного навантаження Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, доктора технічних наук, професора Іваницького Ярослава Лаврентійовича 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 дослідження. Сучасна техніка працює у складних умовах, які пов'язані із підвищеними навантаженнями при взаємодії з оточуючим середовищем. Щоб забезпечити високу надійність та збільшити термін експлуатації обладнання, необхідно проводити ретельний аналіз статичних та динамічних характеристик елементів конструкцій. Це вимагає застосування уточнених математичних моделей, які враховують різні експлуатаційні чинники: наявність рідини у відсіках конструкції, дію навантажень, що призводять до інтенсивних коливань, а у випадку резервуарів до виплескування небезпечних речовин. Математичні моделі таких процесів описуються диференціальними рівняннями в частинних похідних. Аналітичні методи розв'язування таких рівнянь реалізовані лише для простих областей та не завжди можуть бути використані для аналізу реальних процесів. Експериментальні методи дають можливість адекватно оцінити ди-

намічні характеристики об'єктів, проте їх використання потребує унікальної апаратури, а також виготовлення зразків, які можуть бути пошкоджені в процесі експерименту. Для того, щоб експеримент був максимально наближений до реальності, зразки для експерименту повинні бути реальними конструкціями, які використовуються у виробництві. Тому головним інструментарієм дослідження стану обладнання, його механічних та фізичних характеристик стає математичне моделювання підкріплене комп'ютерним експериментом.

У зв'язку з тим актуальними питаннями є розроблення нових ефективних обчислювальних методів для проведення віртуальних випробувань на основі комп'ютерного експерименту. Сучасний розвиток комп'ютерної техніки та сучасних методів обчислювальної математичної фізики дає можливість досліджувати складні механічні системи та знаходити характеристики фізичних полів різної природи з використанням удосконалених математичних формулювань.

Отже, тема дисертаційного дослідження є актуальною.

2. Оцінка змісту, завершеності дисертації та її оформлення. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

У першому розділі проаналізовано наукову літературу щодо методу розрахунку міцності та коливань оболонкових конструкцій при частковому заповненні рідиною.

У другому розділі сформульовано задачі вільних та вимушених коливань оболонок обертання, які містять рідину. Розроблено уточнені математичні моделі для аналізу динамічних характеристик оболонкових конструкцій, що частково заповнені рідиною, з перегородками різних типів для демпфування плескань. Задачі гідропружної взаємодії зведено до граничних інтегральних рівнянь, а також, у випадку оболонок обертання, системи двовимірних інтегральних рівнянь зведено до одновимірних.

У третьому розділі вивчено вільні коливання рідини в жорстких ре-

резервуарах. В розділі розглянуто призматичні та циліндричні конструкції резервуарів. Застосовано методи відокремлення змінних, методи граничних елементів та суперелементів. Знайдено власні частоти та форми коливань резервуарів.

У четвертому розділі розглянуто вимушені коливання оболонкових конструкцій із рідиною при вимушених навантаженнях. Розроблено метод оцінки вібрації рідини в призматичних та циліндричних резервуарах під дією періодичних горизонтальних і вертикальних навантажень. Характер поведінки рідини в резервуарі встановлюється залежно від частоти сили збудження. Вплив параметричного резонансу досліджено при частоті вертикального збудження, що дорівнює подвоєній власній частоті коливань рідини. Зазначено, що найбільш небезпечні коливання рідини мають місце, коли частота горизонтального збудження співпадає з власною частотою коливань рідини, а частота вертикального збудження дорівнює подвійному значенню власної частоти.

У п'ятому розділі розглянуто ефекти пружності, стисливості та нелінійності руху рідини в резервуарах. Встановлено, що для досить тонких пружних стінок резервуара фундаментальна частота при зв'язаних коливаннях може бути набагато меншою, ніж частота рідини в оболонці з жорсткими стінками. Зазначено, що зі збільшенням товщини стінки резервуара цей ефект стає незначним, а нижча частота коливань оболонки з рідиною наближається до частоти коливань рідини в жорсткому резервуарі.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає чинним вимогам, а саме: «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», що затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44, та «Вимогам до оформлення дисертації», що затверджено Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами,

грантами. Дисертацію виконано 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 «Підвищення» 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 проекту (2019–2021 рр.), у яких автор роботи, Крютченко Д.В., брав участь як виконавець.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено шляхом коректного використання апарату обчислювальної математики, зокрема, методів граничних елементів та суперелементів. Вірогідність та обґрунтованість отриманих наукових результатів гарантується:

- застосуванням відомих та вже випробуваних методів числового розв'язування диференціальних та інтегральних рівнянь, що підвищує надійність отриманих результатів;

- узгодженістю отриманих результатів з відомими аналітичними та числовими розв'язками;

- апробацією результатів досліджень на восьми міжнародних науко-

вих конференціях.

Це дозволяє визнати результати дисертаційного дослідження як важливі та науково обґрунтовані.

5. Основні нові наукові результати, одержані автором. Основні результати, отримані у дисертації, було опубліковано у 28 наукових роботах (20 наукових статей та 8 тез доповідей), що свідчить про наукову активність здобувача та важливість отриманих ним висновків. Окремо слід відзначити 5 статей у іноземних наукових виданнях, які включено до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Проведені здобувачем дослідження дозволили отримати наступні нові наукові результати:

- проведено уточнені дослідження частот та форм коливань рідини в складених баках різної форми з порівнянням результатів для пружних та жорстких оболонок;

- удосконалено метод граничних елементів для розв'язання крайових задач теорії потенціалу та для сингулярних інтегральних рівнянь в частині врахування властивостей ядер відповідних інтегральних операторів;

- вперше вивчено ефекти взаємодії пружних стінок та рідини під впливом вимушених коливань, встановлені умови, коли частоти коливань рідини та стінок стають близькими;

- метод граничних суперелементів удосконалено для розв'язання задач про коливання рідини в оболонкових конструкціях з внутрішніми перегородками, що призводять до гасіння плескань, враховуючи ефект пружності;

- надано уточнену оцінку частот і форм вільних коливань рідини в жорстких циліндричних і циліндрично-конічних оболонках з урахуванням дії сили тяжіння;

- проведено уточнені дослідження комбінованих вертикально-горизонтальних навантажень, враховуючи пружні ефекти, проаналізовано конструкцій під цими навантаженнями.

6. Практичне значення одержаних у роботі результатів. Отримані в дисертації результати мають важливе практичне значення і можуть бути успішно використані у сфері проектування конструкцій, які містять рідину. Ряд результатів та рекомендацій за підсумками виконаних досліджень використано при виконанні спільного українсько-індійського проекту «Сучасні обчислювальні методи для аналізу плескань в паливних баках з перегородками» (2019–2021 рр.) (див. акт впровадження у Додатку Б).

7. Дотримання академічної доброчесності. За результатами аналізу дисертації та публікацій Крютченка Д.В. порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементів фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі не зафіксовано.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації. За підсумками ознайомлення з текстом дисертації має зробити наступні зауваження:

- у пункті 3.2.1 для задачі (3.24), (3.25) доцільно було б також навести умови розв’язності цієї задачі Неймана;
- посилання на формулу (3.8) на с. 99, с. 115 не є вірним, треба посилатися на формулу (2.8);
- у четвертому розділі не вказано метод, яким знаходяться частоти і форми коливань порожньої і пружної оболонки;
- доцільно було б дослідити взаємну дію горизонтальних та вертикальних навантажень у нелінійному формулюванні (п’ятий розділ).

Зроблені зауваження не впливають на загальне позитивне враження від роботи та на значущість отриманих у ній результатів.

Загальні висновки щодо дисертації

Дисертація Крютченка Дениса Володимировича «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 Приклад-

на математика є актуальною, завершеною науковою працею, що виконана на високому науково-теоретичному рівні. В ній розв'язано важливу науково-технічну задачу, яка полягає в розробленні сучасного ефективного обчислювального методу для аналізу вільних та вимушених коливань рідини в резервуарах з перегородками, які знаходяться в екстремальних умовах експлуатації.

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,
доктор технічних наук, професор,
завідувач лабораторії міцності та
довговічності елементів конструкцій
за складного навантаження
Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України



Ярослав ІВАНІЦЬКИЙ

Підпис Ярослава Іваницького засвідчую

Вчений секретар
Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАНУ



Валентина Корній