

## **ВІДЗИВ**

офіційного опонента на дисертаційну роботу Неф'одова Олександра Олексійовича «**Теоретичний аналіз маятникового підвісу для збільшення сейсмо- та вібростійкості резервуарів з рідиною**», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка

**Актуальність теми.** Дисертаційна робота Неф'одова О.О. присвячена розгляду динаміки конструкцій, частково заповнених рідиною з вільною поверхнею, при сейсмічних та вібраційних збуреннях руху. Особливістю моделювання такої задачі є побудова моделі в рамках нелінійного діапазону збурень і врахування сумісного характеру руху резервуара і рідини, яка його частково заповнює. Розглянуто частковий випадок врахування сумісного руху рідини і резервуара на маятниковому підвісі, точка підвісу якого рухається за заданим законом. Така змішана постановка задачі обумовлена вивченням можливості підвищення вібро- і сейсмостійкості такого роду систем, що є вкрай важливим питанням для транспортної, енергетичної, хімічної, нафто- та газопереробної галузей.

Для зменшення зсувних зусиль в роботі використовується ускладнення закріплення резервуару – надання резервуару додаткових ступенів вільності (можливість кутового руху резервуара), що, в свою чергу, призводить до зміни частотних та динамічних характеристик системи.

**Значення роботи для науки і практики.** Теоретична цінність роботи полягає в розвитку і застосуванні більш повної моделі для дослідження динамічних процесів в конструкціях з рідиною з вільною поверхнею та моделюванні нового способу закріплення таких конструкцій для зменшення негативного впливу вібраційних і сейсмічних навантажень. Результати досліджень можуть бути використані в практиці діяльності проектних організацій і конструкторських бюро в галузях ракетобудування, транспорту, енергетичних комплексів, систем збереження і транспортування нафти і газу.

**Рекомендації по використанню результатів досліджень.** Результати роботи можуть бути використані і доповнені в наукових дослідженнях і навчальному процесі в Київському, Львівському, Дніпровському національних університетах, в Інституті механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Інституті технічної механіки НАН України і ДКА України як метод побудови нових моделей конструкцій з рідиною і приклад прояву складних нелінійних коливань механічних систем в режимі сумісного руху складових компонентів.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних літературних джерел. У вступі наведено актуальність роботи, мету, основні завдання, об'єкт та предмет досліджень роботи, методи дослідження, наукову новизну, достовірність та практичну цінність отриманих в дисертації результатів.

Нелінійна дискретна модель коливань вільної поверхні рідини в циліндричному резервуарі побудована за допомогою варіаційних алгоритмів, основаних на використанні варіаційного принципу Гамільтона – Остроградського для формулювання задачі та на застосуванні методу модальної декомпозиції з попереднім дотриманням всіх кінематичних граничних умов. Таке виключення всіх граничних умов робиться на основі методу Гальоркіна та методів нелінійної механіки і дозволяє перейти до розгляду математичної моделі мінімальної розмірності, що є перевагою обраного методу у порівнянні з іншими методами, які використовуються для дослідження подібних задач. Літературні джерела свідчать, що задачі динаміки кутового руху резервуару особливо в сумісній постановці на даний час є мало дослідженими, що пов'язано з необхідністю одночасного введення як скалярного, так і векторного потенціалів швидкостей.

Дисертантом виконано ряд тестових розрахунків, аналіз поведінки системи в околі основних резонансів як рідини, так і по куту відхилення маятникового підвісу з резервуаром. При розгляді сумісного руху системи для різних діапазонів довжин маятникового підвісу відбувається зміна значення резонансної частоти лише антисиметричних форм, а значення резонансних

частот інших форм лишаються незмінними. Це викликано тим, що лише антисиметричні форми коливань вільної поверхні рідини призводять до зміни положення центру мас системи. Така зміна частот може привести до зміни їх черговості при розташуванні їх за ступенем зростання, і це обумовлює зміни ступеня інтенсивності прояву резонансних властивостей системи у порівнянні з задачами про заданий поступальний рух конструкції.

Виконаний аналіз динаміки руху системи на різних частотних діапазонах дає можливість вибору найбільш сприятливих діапазонів довжин маятникового підвісу як засобу підвищення вібро- і сейсмостійкості резервуарів з рідиною. Апробація даного підходу виконана для випадку різних варіантів імпульсно – вібраційних сигналів та реальних параметрів землетрусу. Виконано порівняльний аналіз поведінки системи для різних діапазонів довжин маятникового підвісу та випадку заданого поступального руху резервуару.

**Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів** забезпечуються коректністю постановки задачі на основі варіаційного підходу, контролем виконання законів симетрії та збереження енергії, порівнянням з експериментальними роботами інших авторів; виконаний спектральний аналіз коливань системи підтверджив кількісні і якісні висновки числових розрахунків.

Зміст дисертації та **одержані результати повністю відповідають спеціальності** 01.02.01 – теоретична механіка. Результати дисертації достатньо повно представлені в публікаціях дисертанта, які задовольняють відповідним вимогам МОН України, а також були апробовані на наукових конференціях та семінарах провідних наукових центрів. Автореферат дисертації вірно та в повній мірі відображає зміст дисертаційної роботи. Дисертація має **завершений характер**, а якість її оформлення відповідає встановленим вимогам.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

1. Дисертантом було розроблено нелінійну зв'язану модель системи циліндричний резервуар – рідина з вільною поверхнею на маятниковому підвісі, орієнтовану на дослідження поведінки конструкції при сейсмічних та

вібраційних збуреннях руху. При цьому поступальний рух точки підвісу є заданим, а кутовий рух резервуару та хвильовий рух рідини розглядаються в сумісній постановці.

2. Виконано дослідження поведінки системи в околі основних та вторинних резонансів, частина з яких, наприклад, на частоті власних коливань форми  $m=2$ , взагалі відсутня в рамках лінійної теорії.
3. Досліджено ефективність маятникового підвісу як засобу сейсмозахисту при вібраційних та сейсмоподібних збуреннях руху основи. Апробація підходу виконана для випадку, коли рух підвісу відбувався на основі реальних параметрів землетрусу. Виконано порівняння для різних довжин маятникового підвісу та у випадку заданого поступального руху резервуару. Вироблено рекомендації по вибору довжин маятникового підвісу найбільш сприятливих для підвищення вібростійкості конструкцій з рідиною.

До дисертаційної роботи Неф'єдова О.О. є такі **зауваження**:

1. В роботі розвинуто нелінійний підхід до моделювання задач імпульсного і сейсмічного збурення руху системи резервуар – рідина. Відомо, що у випадку короткотривалих збурень ефекти, пов’язані із в’язкістю і нелінійністю не встигають розвинутися. У зв’язку з цим виникають питання чи доречно для таких задач використовувати нелінійну модель та якою буде розбіжність між результатами, отриманими із застосуванням лінійної та нелінійної моделей?
2. В роботі описано цікавий ефект трансформації коливань за формулою з коловим номером  $m=2$  у форму коливань з коловим номером  $m=1$  (антисиметричну хвиллю). Було б доречно вивчити це питання з точки зору дисперсійних співвідношень для відповідних хвиль.
3. При побудові математичної моделі відсутня інформація щодо обґрунтування доцільної розмірності моделі. Використовується модель, яка включає дванадцять форм коливань рідини. Чи є проблеми в переході до більш багатовимірних моделей, чи достатньо цієї розмірності для моделювання обраних задач?

Приведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки проведених в дисертаційній роботі досліджень.

В цілому, дисертаційна робота Нефьодова О.О. «Теоретичний аналіз маятникового підвісу для збільшення сейсмо- та вібростійкості резервуарів з рідиною» є актуальну, має завершений характер, наукову новизну, практичну цінність, виконана на високому науковому рівні та відповідає вимогам положення про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Нефьодов Олександр Олексійович, за проведення досліджень можливості використання маятникового підвісу в якості засобу збільшення сейсмо- та вібростійкості резервуарів з рідиною заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка.

Офіційний опонент  
доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник  
Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка  
НАН України



О.М. Багно

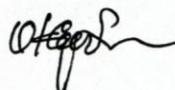
Підпис д.ф.-м.н. Багна О.М. засвідчує:

Вчений секретар Інституту механіки  
ім. С.П. Тимошенка НАН України  
доктор фізико-математичних наук



О.П. Жук

Здійснено надійшов  
до ради 19.11.2019 р.



О.П. Жук