

ВІДЗІВ

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

Актуальність теми. В дисертаційній роботі розглядається задача руху системи резервуар – рідина з вільною поверхнею в нелінійній постановці, де по частині змінних (поступальний рух) рух вважається заданим, а інші змінні – кутовий рух резервуару та хвильовий рух рідини розглядаються як зв’язані. Підвищення сеймо- та вібростійкості систем, до складу яких входять резервуари з рідиною, є важливим класом задач, які виникають в динаміці аерокосмічних систем, енергетиці, при транспортуванні та збереженні нафти та газу. Так, надання системі додаткових ступенів вільності за рахунок ускладнення способу закріплення резервуару призводить до зменшення зсувних зусиль, але, при цьому вагомо змінює частотні та динамічні характеристики системи. Саме розгляду цих питань присвячена дисертаційна робота Нефьодова О.О.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних літературних джерел. У **вступі** приведено обґрунтування актуальності роботи, мету, завдання, об’єкт та предмет досліджень, основні методи, наукову новизну та практичну цінність дисертації.

Опис динаміки системи виконано на основі формулювання задачі у вигляді варіаційного принципу Гамільтона–Остроградського. Ефективність побудови скінченовимірної моделі системи в значній мірі залежить від вибору форм представлення розв’язків і способу попереднього задовільнення всіх кінематичних умов задачі. Використано метод модальної декомпозиції з попереднім задоволенням всіх кінематичних граничних умов на основі

методу Гальоркіна і методів нелінійної механіки. Перехід від мішаної дискретно-континуальної моделі (зв'язана система диференціальних рівнянь для руху твердого тіла і задачі математичної фізики з вільною границею для руху рідини) до математичної задачі однорідної структури (системи звичайних диференціальних рівнянь) є одночасно і кроком гомогенізації структури математичної моделі, і робить цю модель придатною до дослідження багатьма теоретичними і прикладними методами.

Слід відзначити, що в літературі розв'язання задач динаміки кутового руху резервуарів з рідиною з вільною поверхнею в нелінійній сумісній постановці практично відсутнє через значні складності опису таких рухів через потребу одночасного введення скалярного і векторного потенціалів швидкостей. В роботі основну увагу приділено руху системи резервуар–рідина на маятниковому підвісі з рухомою точкою підвісу. Аналіз результатів зміни частот сумісних кутових коливань системи свідчить по більш суттєву зміну власних частот від парціальних ніж у випадку сумісного поступального руху, що надалі обумовлює суттєву зміну динамічних властивостей системи при розгляді задач зв'язаного руху у порівнянні з задачами про заданий рух резервуара.

Важливим результатом роботи є визначення діапазонів зміни довжин маятникового підвісу, в яких по-різному відбувається розташування частот основних форм коливання рідини з коловими номерами 0, 1, 2, оскільки зміні підлягають лише частоти з коловим номером 1. Далі цей попередній аналіз зміни динамічних властивостей досліджено на основі чисельних прикладів і виявлено багато нових динамічних режимів. Зокрема, встановлено чотири основних резонансних режими, два з яких на лінійному рівні взагалі відсутні (вторинні резонанси). Основними резонансами є резонанс на частоті маятникового підвісу (в режимі сумісних коливань), і резонанс на частоті, що відповідає коловому номеру 2. Резонанс на попередньо основній частоті з коловим номером 1 практично не проявляється, а резонанс в попередньо

налагодженій системі, коли частоти коливань з коловими номерами 0 і 1 збігаються, проявляється із значною затримкою, що на практиці робить його менш актуальним. Для всіх цих резонансів характерним є збільшення хвилеутворення саме за рахунок першої антисиметричної форми (коловий номер 1). Аналіз розвинення хвилеутворення свідчить про якісний збіг поведінки системи з результатами експериментів і чисельного моделювання, які з'явилися за останні роки. Зокрема, в системі не проявляється тенденція до виходу на режим усталених коливань і суттєво проявляється модуляція коливань, що свідчить про достовірність одержаних результатів.

Теоретичний аналіз поведінки системи в різних частотних діапазонах і для різних довжин підвісу служив основою для вибору параметрів системи для зменшення негативних ефектів навантажень подібних сейсмічним, що було перевірено на прикладі параметрів реального землетрусу. Для обґрунтування ефективності обраних параметрів системи активно використовувався метод спектрального аналізу коливань системи.

Достовірність результатів забезпечується використанням математично обґрунтованих методів аналітичної та нелінійної механіки і визначається використанням апробованого варіаційного формулювання та алгоритмів розв'язання даного типу задач, контролем виконання законів симетрії та збереження енергії, якіним порівнянням з експериментальними роботами інших авторів.

Зміст дисертації та одержані результати повністю відповідають спеціальності 01.02.01 – теоретична механіка. Основні результати дисертації ввійшли в публікації дисертанта і були представлені і обговорені на конференціях і наукових семінарах. **Автореферат** відповідає основним положенням дисертації, вірно та повно відображає її зміст. Дисертація має **завершений характер**, якість її оформлення відповідає встановленим вимогам.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблено нелінійну динамічну модель сумісного руху циліндричного резервуару, заповненого рідиною з вільною поверхнею, орієнтовану на нестационарне збурення руху, яка орієнтована на поступальний і кутовий рух тіла, що несе рідину. Розглядається випадок руху резервуара на маятниковому підвісі коли поступальний рух точки підвісу заданий, а кутовий рух резервуару і хвильовий рух рідини розглядаються в сумісній постановці.
2. Вивчено перерозподіл частот, обумовлений моделлю сумісного руху системи. Досліджено резонансні режими поведінки системи, частина яких взагалі не проявляється в рамках лінійної теорії. Показано обмеженість розгляду динаміки системи резервуар—рідина в рамках моделі заданого руху резервуара.
3. Досліджено ефективність використання маятникового підвісу для різного типу вібраційних і подібних сейсмічному навантаженнях. На основі групи тестових розрахунків і для випадку реальних параметрів землетрусу приведено метод вибору діапазону довжини маятникового підвісу, який призводить до найменших збурень хвильового руху рідини.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці нелінійної динамічної моделі сумісного руху резервуару з рідиною, орієнтованої на нестационарне збурення руху, визначені особливостей поведінки системи у до-, біля- та зарезонансних областях для різних категорій довжин підвісу.

До дисертаційної роботи Неф'одова О.О. є наступні **зауваження**:

1. В роботі не приведено інформацію по механізму розвитку вторинного резонансу на частоті форми з коловим номером $m = 2$, особливо це цікаво що реально цей резонанс відбувається по формі $m = 1$. Важливо знати які члени в рівняннях руху відповідають за такий енергообмін.

2. В роботі не виконане співставлення з методами, які базуються на використанні варіаційного принципу Бейтмена, який активно використовується іншими авторами.
3. Відсутня інформація щодо збіжності обчислювальних процесів і точності одержаних результатів.

Приведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи Неф'одова О.О., яка виконана на сучасному науковому рівні.

Враховуючи актуальність теми, новизну отриманих наукових результатів, опублікованих автором робіт, вважаю, що дисертаційна робота Неф'одова Олександра Олексійовича «Теоретичний аналіз маятникового підвісу для збільшення сейсмо- та вібростійкості резервуарів з рідиною» відповідає вимогам, які містяться в "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" (Постанова Кабінету міністрів України № 567 від 24.07.2013), а її автор, Неф'одов О.О., за дослідження динамічних режимів сумісного руху резервуарів з рідиною з вільною поверхнею на маятниковому підвісі з рухомою точкою підвісу в нелінійному діапазоні збурень, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка.

Офіційний опонент, доктор
фізико-математичних наук, професор
зав. відділом теорії керуючих систем
Інституту прикладної математики та механіки
НАН України (м. Слов'янськ),

Ю.М. Кононов

Підпис Ю.М. Кононова засвідчує

ст. інспектор з кадрів *Губович Р.А.*

