

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **СЕМЕНОВИЧ Катерини Олексіївни**  
**"Нелінійні механізми перерозподілу енергії в системі резервуар – рідина**  
**на маятниковому підвісі",**  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка

У дисертаційній роботі К.О. Семенович досліджується особливість нелінійної динаміки циліндричного резервуару з рідиною на маятниковому підвісі. Резервуар є абсолютно твердим, рідина вважається ідеальною, однорідною та нестисливою, а її рух – безвихровим. Задача розглядається в сумісній постановці.

**Актуальність теми** дисертаційної роботи має технічну і наукові складові. Технічна актуальність визначається тим, що резервуари з рідиною, що здійснюють розглядуваний рух, є складовими частинами багатьох інженерних систем (сеймозахисту, транспортних, енергетичних тощо). І при проектуванні таких систем треба знати, як буде рухатися сам резервуар і рідина у ньому.

Наукова актуальність теми пов'язана з тим, що переважна більшість результатів була отримана для моделей, у яких резервуар нерухомий або рухається за заданим законом. Також розв'язана низка задач сумісного руху резервуара певної форми із рідиною у лінійній постановці. Зазначені підходи і одержані розв'язки задач не дозволяють дослідити низку ефектів і явищ, що породжує нелінійність та взаємний вплив рідини і бака на рух один одного. Тому актуально їх дослідити, причому як якісно (які ефекти і явища виникають), так і кількісно (наскільки вони істотно впливають на рух системи).

Дослідження задач сумісного руху таких систем у нелінійній постановці має суттєві складності, пов'язані з необхідністю брати до уваги велику кількість форм коливань вільної поверхні рідини, проводити значний обсяг аналітичних перетворень в процесі розв'язання задачі. У методичному плані актуально одержати досвід із нелінійної постановки і розв'язання подібних задач.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, які містять 85 рисунків та 5 таблиць, висновків та списку використаних літературних джерел із 104 найменувань на 12 сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 119 сторінок.

Обсяг і оформлення дисертації відповідає вимогам щодо дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Зміст автореферату та його структура узгоджується з дисертаційної роботою.

**Новизна наукових положень, результатів, висновків та рекомендацій.**

Основні результати, які одержав особисто дисертант, і які складають наукову новизну, полягають у наступному:

- конкретизовано вигляд дискретної нелінійної системи звичайних диференціальних рівнянь, що описує рух абсолютно твердого циліндричного резервуару на маятниковому підвісі з ідеальною, однорідною та нестисливою рідиною, що здійснює безвихровий рух;
- одержані числові розв'язки одержаної системи при кінематичному збуренні і під дією імпульсного і вібраційного моментного навантаження;
- досліджено зміну взаєморозташування власних частот системи в сумісному русі в залежності від довжини маятникового підвісу (у порівнянні з радіусом циліндра); показано, що для коротких підвісів відбувається зміна чергості розташування власних частот коливань в порівнянні з розташуванням парціальних частот; виявлено передумови для виникнення внутрішніх резонансів в системі і досліджено

- прояв внутрішнього резонансу між першими антисиметричною та осесиметричною формами коливань рідини; знайдено такий режим руху системи, при якому відбувається зростання енергії осесиметричної форми внаслідок дії зовнішнього гармонічного навантаження на резервуар;
- виявлено і досліджено явище перерозподілу енергії між різними формами руху рідини, та рухом рідини і рухом резервуару.

Слід відзначити, що дискретна нелінійна система звичайних диференціальних рівнянь, що описує рух системи, одержується на основі варіаційних алгоритмів, що ґрунтуються на застосуванні варіаційного принципу Гамільтона–Остроградського, з якого виводяться рівняння сумісного руху системи та динамічні граничні умови. Варіаційний підхід в поєднанні з методами модальної декомпозиції використовується як ефективний засіб для аналітичної побудови дискретної моделі (системи звичайних диференціальних рівнянь відносно амплітудних параметрів) нелінійної динаміки резервуару з рідиною на маятниковому підвісі.

Істотно, що амплітудні параметри, що описують різні форми коливань рідини у резервуарі є аналогом узагальнених координат (Лагранжа), що описують рух дискретних механічних систем. Нелінійність системи враховується у першу чергу за цими параметрами шляхом утримання в диференціальних рівняннях руху системи складових до третього порядку малості включно за цими параметрами. Нелінійність, що породжує маятниковий підвіс, враховується, але не є вирішальною при виникненні нелінійних ефектів в системі.

**Достовірність та обґрунтованість результатів і наукових положень дисертації** забезпечується коректністю постановки задачі з використанням апаратів теоретичної механіки і механіки рідини, газу, плазми, зокрема використанням варіаційного принципу Гамільтона – Остроградського, методів аналітичної і нелінійної механіки, методу модальної декомпозиції тощо. Достовірність отриманих результатів підтверджується на якісному рівні порівнянням одержаних результатів з лабораторним експериментом та з теоретичними і експериментальними працями інших авторів.

**Практична цінність роботи і область застосування її результатів полягають у наступному.**

Одержанна дискретна нелінійна система звичайних диференціальних рівнянь, що описує рух циліндричного резервуару на маятникову підвісі, частково заповненого рідиною, може бути використана на етапах проектування конкретних резервуарів для більш точного визначення динамічних характеристик системи резервуар-рідина.

Результати досліджень увійшли в заключні звіти держбюджетних науково-дослідних тем №11БФ038-04 «Варіаційні та асимптотичні методи в задачах механіки суцільних середовищ» (2012–2013 рр., № держреєстрації 0111U004956), №14БП038-01 «Конструктивні методи дослідження сучасних задач механіки суцільних середовищ, орієнтованих на застосування в техніці і медицині» (2014–2015 рр., № держреєстрації 0114U003473).

**Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях.** Основні результати дисертації з достатньою повнотою висвітлені у 10 наукових працях, серед яких 7 статей у фахових виданнях України, 1 стаття у науковому журналі, який має міжнародний імпакт-фактор. Результати дисертації в достатній мірі апробовано на 5 наукових конференціях і 4 наукових семінарах (у повному обсязі) провідних наукових центрів.

Зміст дисертації і одержані результати повністю відповідають спеціальності 01.02.01 – теоретична механіка.

**По дисертаційній роботі є зауваження.**

1. Є чинники, що дещо ускладнюють розуміння дисертації:
- описано метод розв'язання задачі, але не наведено (навіть у додатках) формули для розрахунку значень коефіцієнтів, що входять до рівнянь руху системи (2.30);
- в дисертації не в достатній мірі розкрито, як в процесі розв'язання задачі здійснювався контроль виконання законів збереження та симетрії;

- дискретна математична модель побудована для сферичного руху резервуара, а досліджувалася числовими методами і експериментально для випадку обертання резервуару навколо нерухомої осі, про що явно не сказано в дисертації.

2. Є певні описки, невдалі позначення (що не відповідають міжнародним), зокрема:

- на рис. 2.1 зображені ліві трійки осей ( $Oxyz, Oy_1y_2y_3$ ), в той час, як використовувалися праві;
- невдало позначені координати, що описують поступальний рух резервуару через  $\vec{\varepsilon}(t) = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3\}$ .

3. Як побажання на майбутнє – доцільно в натурному експерименті одержати кількісні характеристики динаміки системи і порівняти їх з результатами чисельних обрахунків.

Приведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

### **Висновок.**

В цілому, дисертаційна робота Семенович Катерини Олексіївни «Нелінійні механізми перерозподілу енергії в системі резервуар – рідина на маятниковому підвісі» є завершеною цілісною науковою роботою, що має наукову новизну, актуальність та практичну цінність і виконана на сучасному науковому рівні. Вважаю, що дисертаційна робота Семенович К.О. повністю відповідає вимогам п. 11 та п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року №567, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор за дослідження нелінійної динаміки резервуарів з рідиною при кутових рухах заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка.

Доктор технічних наук, професор кафедри  
деталей машин та прикладної механіки  
Кіровоградського національного  
технічного університету

Г.Б. Філімоніхін

Підпис Г.Б. Філімоніхіна засвідчує  
Проректор

О.М. Левченко

