

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу Тімохіна Олексія Павловича «Нелінійна динаміка трубопроводу з рідиною в околі критичних швидкостей течії рідини», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка

Дисертаційна робота Тімохіна Олексія Павловича присвячена дослідженню нелінійних коливань в динамічній системі пружній трубопровод – ідеальна рідина при різних режимах швидкостей течії рідини як в до критичній так і в за критичній областях.

Враховуючи характер більшості технічних завдань, основні дослідження, присвячені вивченню динаміки трубопроводів, моделюють поведінку трубопроводів в докритичному діапазоні швидкостей течії рідини, або взагалі, присвячені визначенню безпечного режиму функціонування трубопроводів методами лінійної теорії стійкості динамічних систем. Проте сучасні тенденції проектування технічних об'єктів відображають потребу стійкого функціонування таких об'єктів навіть за межами безпечних режимів і лінійного діапазону збурень – у позаштатних та аварійних ситуаціях, та інше. У зв'язку з цим, набуває необхідності моделювання та прогнозування поведінки динамічних систем і в закритичних діапазонах зміни параметрів системи. Інтерес до такого типу задач визначається потребами розвитку задач транспортного машинобудування, енергетики, систем транспортування і зберігання рідини. Тому тема дисертаційної роботи є **актуальною**.

Нелінійна дискретна модель коливань трубопроводу з рідиною будувалася за допомогою варіаційних алгоритмів, основаних на застосуванні варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського в поєднанні з методами модальної декомпозиції, що на даний момент представляється найбільш ефективним засобом для аналітичних методів дослідження сумісного руху. В роботі розглядалось модель, яка включає дванадцять власних форм коливань трубопроводу, що в поєднанні із потужними числовими засобами рішення

диференціальних рівнянь на основі неявної схеми, реалізованих в пакеті Mathematica, забезпечили розрахункову стійкість та збіжність обчислень.

Дисертація складається із анотації, вступу, основної частини, що містить чотири розділи, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації – 104 сторінок. В першому розділу дисертаційної роботи дано аналіз робіт і методів дослідження динаміки системи трубопровід-рідина.

Другий розділ присвячено побудові нелінійної моделі динаміки трубопроводу та засобами символічної математики зведення її до дискретної моделі – дванадцятивимірної системи звичайних диференціальних рівнянь за методом Канторовича.

Третій розділ дисертаційної роботи містить результати досліджень різних швидкісних режимів течії рідини, зокрема закритичні. Проводиться аналіз впливу на поведінку системи наявності нелінійного демпферу у вигляді однобічної додаткової пружності або однобічної в'язкості.

У четвертому розділі дано аналіз впливу на характер поведінки системи нелінійних силових факторів та сили Кориоліса. Визначаються біфуркаційні режими коливань трубопроводу, досліджується багатовид альтернативних динамічних положень рівноваги трубопроводу та проводиться класифікація режимів коливань трубопроводу з точки зору теорії стійкості.

В роботі отримані такі **нові наукові результати**:

– Розроблено нелінійну модель динаміки трубопроводу при швидкісній течії рідини, яка орієнтована на дослідження задач динаміки трубопроводу в околі втрати стійкості прямолінійної форми і здатна надійно відображати поведінку системи як для докритичних швидкісних режимів течії рідини, так і для закритичних режимів. Модель враховує більшість відомих нелінійних механізмів і їх взаємний вплив на систему.

– На основі методу модальної декомпозиції побудовано нелінійну скінченновимірну модель динаміки системи трубопровід-рідина для довільної кількості власних форм коливань (при чисельній реалізації приймалося до уваги дванадцять власних форм коливань), що дало змогу більш детально

проаналізувати рух системи в закритичних режимах течії рідини. Засобами символічної математики, реалізованими у програмному пакеті Mathematica, систему диференціальних рівнянь аналітично було приведено до форми Коші.

– Для випадку консольно закріпленого трубопроводу з вільним кінцем розроблено і реалізовано модель динамічної системи та програмний пакет засобами програмного середовища Mathematica із застосуванням найбільш передових інструментів адаптивного неявного аналізу диференціальних рівнянь, реалізованих у даному середовищі. Достовірність побудованої моделі підтверджується повною відповідністю результатів для випадку відсутності течії рідини та відповідністю частини результатів дослідженням інших авторів.

– Проведено дослідження впливу на систему трубопровід–рідина нелінійного демпферу у формі однобічної додаткової пружності, або однобічної в'язкості. Ідея такого демпферу полягала у тому, що за рахунок не лінійності у формі нерівності буде відбуватися інтенсивний перерозподіл енергії коливань між власними формами, тобто буде відбуватися перехід енергії від нижчих форм, коливання яких мають найбільшу амплітуду і представляють найбільшу небезпеку, до вищих форм, де значно інтенсивніше відбувається демпфування. Але в процесі аналізу таких демпферів було виявлено їх низьку ефективність через наявність механізму енергообміну обумовленого силами Коріоліса.

– Досліджено біфуркаційну динаміку системи трубопровід–рідина, визначені основні режими коливань в системі при докритичних та закритичних швидкостях течії рідини. Виконано класифікацію основних режимів коливань трубопроводу на основі теорії стійкості, а саме за першим методом Ляпунова.

– Найбільш важливим практичним результатом є визначення існування «островків стійкості» в закритичній області швидкостей течії рідини. Для підтвердження існування «островків стійкості» проведено безпосереднє моделювання поведінки системи в визначених областях швидкостей течії рідини, де було отримано підтвердження можливості коливань навколо стійкого прямолінійного положення рівноваги за першою формою.

Достовірність забезпечується використанням математично обґрунтованих методів аналітичної та нелінійної механіки, використанням засобів символічної математики, реалізованих у пакеті Mathematica, для виконання складних математичних перетворень; варіаційним формулюванням задачі; розглядом дванадцяти власних форм коливань у дискретизованій моделі динамічної системи трубопровід–рідина; співпадінням частини розрахунків із результатами, отриманими іншими авторами; застосуванням адаптивних методів інтегрування із автоматичним контролем точності розрахунків на основі контролю збіжності, реалізованими у пакеті Mathematica, а також узгодженням з теоретичними і експериментальними роботами, виконаними іншими авторами.

Зміст дисертації і одержані результати повністю відповідають спеціальності 01.02.01 – теоретична механіка. Результати дисертації достатньо повно опубліковано в 7 наукових працях, з них – одна у виданні, що входить до світових науко метричних баз даних. Результати дисертації апробовані на наукових конференціях і семінарах провідних наукових центрів. **Автореферат** дисертації вірно та повно відображає зміст дисертаційної роботи.

Практична цінність отриманих результатів. Розроблена модель та її чисельна реалізація є достатньо універсальними та можуть бути застосованими для дослідження багатьох прикладних задач динаміки трубопроводів, що знаходяться в перехідних режимах руху.

По дисертаційній роботі є наступні **зауваження**:

1. В роботі прийнято нелінійну модель взаємодії рідини з трубопроводом, проте сам трубопровід розглядається в рамках лінійної моделі. З одного боку, було б цікаво дослідити границі можливого застосування такого типу моделей, а, з другого боку, виникає питання чому прийнято саме таку модель.

2. При аналізі практичних прикладів розглядаються випадки коли початкове збурення надано другій формі коливань. Чому обрано саме такий тип початкових збурень.

3. Було б цікаво дослідити вплив дисипації як можливого фактору стабілізації коливань на прямолінійному стані рівноваги, а також для випадку динамічного по закритичного стану рівноваги трубопроводу.

Висловлені критичні зауваження не знижують загальної позитивної оцінки проведених досліджень.

В цілому вважаю, що дисертаційна робота Тімохіна Олексія Павловича «Нелінійна динаміка трубопроводу з рідиною в околі критичних швидкостей течії рідини» має завершений характер, наукову новизну, актуальність та практичну цінність, виконана на сучасному науковому рівні та задовольняє усім вимоги до кандидатських дисертацій, 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, Тімохіна Олексій Павлович, за дослідження нелінійних коливань системи трубопровід-рідина в закритичних областях швидкостей течії рідини, 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 засвідчую

Ст. іменестор з кадрів



Дубовик Р.А.