

ВІДЗИВ

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

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

Враховуючи характер більшості технічних завдань, основні дослідження, присвячені вивченю динаміки трубопроводів, моделюють поведінку трубопроводів в докритичному діапазоні швидкостей течії рідини, або взагалі, присвячені визначеню безпечної режими 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-Остороградського 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

диференційних 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 символної 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 закритичної. Проводиться аналіз впливу на поведінку системи наявності нелінійного демпфера у вигляді однобічної додаткової пружності або однобічної в'язкості.

У четвертому розділі дано аналіз впливу на характер поведінки системи нелінійних силових факторів та сили Корiolіса. Визначаються біфуркаційні режими коливань трубопроводу, досліджується многовид 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 символної 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 демпфера у формі однобічної додаткової пружності, або однобічної в'язкості. Ідея такого демпфера 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, дезначно 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 обрунтованих методів аналітичної та нелінійної механіки, використанням засобів символної 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 науково 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 засвідчує

Ст. інженер з кадрів  *Дубовик Р.А.*