

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
Палій Оксани Миколаївни**

**”Стійкість нелінійних коливань тонких оболонок при періодичних
навантаженнях”**,

**що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка**

Вивчення дисертаційної роботи та праць здобувача, опублікованих за темою дисертації, дало можливість зробити наступні висновки щодо проведеного дослідження на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Актуальність теми дисертації

Тонкостінні оболонки знаходять широке використання в різних галузях сучасної техніки. Вони є елементами багатьох будівельних конструкцій, використовуються в машинобудуванні, в авіа- та судобудівництві, в сучасній ракетній техніці, в хімічному та енергетичному машинобудуванні, в нафтовій та газовій промисловостях. В процесі експлуатації оболонкові конструкції часто підлягають дії інтенсивних динамічних навантажень, що приводить до появи складних коливальних рухів. Ці коливання супроводжуються рядом специфічних ефектів та фізичних явищ, які властиві нелінійним механічним системам та характерні для класу задач, що розглядаються. До них можна віднести: появу складних резонансних режимів коливань (суб- та супергармонічних), існування кількох режимів коливань при одних і тих же значеннях динамічних, параметрів навантаження, зрив процесу руху серединної поверхні оболонки. Ці ефекти можуть переводити конструкції із стійких режимів коливань в нестійкі, а також суттєво змінювати форму вимушених коливань. Тому загальна тенденція вдосконалення оболонкових елементів споруд і впровадження їх в інженерну практику в сполученні із збільшенням інтенсивності періодичних навантажень обумовлюють високу актуальність проблеми дослідження стійкості нелінійних коливань тонких оболонок і привертають до неї постійну увагу дослідників і проєктантів. Якісне проєктування оболонок в значній мірі залежить від

можливостей їх точного розрахунку, дослідження їх поведінки при різних видах навантажень, проведення чисельних експериментів і перевірки достовірності результатів розрахунку.

Аналізуючи дані, що містяться в сучасній науковій літературі про результати рішень нелінійних коливань тонких оболонок при періодичних навантаженнях, належить відзначити, що не дивлячись на значну кількість проведених досліджень, до теперішнього часу не створено універсальних ефективних методів дослідження нелінійних коливань тонких осесиметричних оболонок з аналізом їх стійкості.

Це дозволяє зробити висновок про те, що недостатньо дослідженою залишається задача динамічної стійкості тонких оболонкових конструкцій в геометрично нелінійній постановці та оцінка впливу геометричних параметрів оболонок на стійкість усталених вимушених коливань і до теперішнього часу не створено універсальних методів дослідження нелінійних коливань тонких оболонок з аналізом їх стійкості. Тому питання розв'язку вказаного класу задач з використанням модифікованого кінцево-різницевого метода–метода криволінійних сіток є актуальними і представляють інтерес як в прикладному так і теоретичному відношеннях.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Викладені в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими і достовірними, тому що вони базуються на загальнонаукових, фундаментальних положеннях сучасної науки.

Автором дисертації чітко висвітлені і логічно побудовані мета, завдання дослідження, обґрунтовані теоретичний, методичний підхід щодо їх виконання.

Завдання дослідження, положення наукової новизни і висновки дисертації є логічно пов'язаними. Розроблені моделі апробовано на тестових задачах. В роботі забезпечено коректність математичних постановок задач.

Для створення алгоритмів чисельного розв'язання сформульованих задач застосовано обґрунтовані та апробовані числові методи. Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується використанням широкої інформаційної бази за темою дисертації (183 джерела).

Достовірність отриманих результатів

Оцінка достовірності розробленої методики і її апробація проведена при дослідженні задач власних коливань оболонок і порівняння з існуючими розв'язками, збіжності результатів при згущенні кінцево-різницевої сітки, розв'язку задач, пов'язаних з оцінкою статичної стійкості оболонок та виконання порівняльного аналізу отриманих результатів результатами досліджень методом скінченних елементів, який реалізовано в програмному комплексі NASTRAN.

В роботі виконано порівняння з існуючими в літературі даними результатів розрахунку власних коливань кругової циліндричної оболонки, яка жорстко закріплена по краю.

Порівнюються результати розрахунку власних коливань захисної ємності паливного резервуара, однополого гіперболоїда, циліндричної та конічної оболонок з результатами, отриманими методом скінчених елементів.

Досліджено статичну стійкість циліндричної та конічної оболонок при дії поздовжнього навантаження, прикладеного до верхньої кромки. Визначено критичне значення статичного навантаження для конічної оболонки із застосуванням методу криволінійних сіток та методу продовження по параметру в поєднанні з методом Ньютона-Канторовича, яке порівняно з аналітичним результатом за формулою Штаермана та чисельним – в програмному комплексі NASTRAN. Відповідне критичне значення статичного навантаження для циліндричної оболонки порівнюється з формулою Лоренца-Тимошенка та чисельним – в програмному комплексі NASTRAN.

Наукова новизна результатів дослідження

Наукова новизна полягає у чисельній реалізації методу криволінійних сіток в задачах оцінки впливу геометричних параметрів тонких осесиметричних оболонок на частоти і форми власних коливань, амплітуди усталених вимушених нелінійних коливань, критичні значення динамічного навантаження і відповідні форми втрати стійкості та створенні програмного забезпечення для реалізації представленого чисельного підходу, яке надає розвитку обчислювальному комплексу методу криволінійних сіток.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Робота пройшла апробацію на міжнародних та вітчизняних наукових та науково-практичних конференціях, її зміст достатньо повно відображений у публікаціях автора. Матеріали роботи опубліковано в 15 наукових публікаціях.

Серед них 10 статей у фахових виданнях, у тому числі 3 роботи у виданнях, які входять до науко-метричної бази Web of Science і 5 публікацій в матеріалах і тезах міжнародних і вітчизняних конференцій.

Матеріали зазначених наукових робіт повністю відображають основні положення розділів даної дисертаційної роботи.

Таким чином, публікації здобувача за кількісними показниками та повнотою викладення матеріалу дисертаційної роботи повністю відповідають чинним вимогам до кандидатських дисертацій.

Практичне значення і впровадження результатів досліджень

Практичне значення одержаних результатів полягає у застосуванні чисельної методики визначення стійкості усталених вимушених нелінійних коливань тонких оболонок до розв'язання актуальної науково-технічної проблеми будівельної механіки з забезпечення їх безаварійної експлуатації на стадії проектування.

Чисельна реалізація запропонованих підходів отримала застосування в Київському національному університеті будівництва і архітектури при виконанні грантової і науково-дослідної робіт та для надання рекомендацій із забезпечення безаварійної експлуатації паливного резервуара на Українській антарктичній станції "Академік Вернадський".

Структура дисертаційної роботи, оцінка її завершеності в цілому

У цілому за актуальністю, рівнем розв'язання наукової проблеми, обсягом теоретичних досліджень та обґрунтуванням застосовних моделей та розрахункових значень, за науковою новизною та практичним використанням отриманих результатів, дисертаційна робота О.М. Палій, беззаперечно, є завершеним науковим дослідженням, яке відповідає вимогам, що формулюються до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел, який містить 183 найменування на 20 сторінках, висновків і додатку на 2

сторінках, який містить документи, що підтверджують впровадження результатів роботи. Загальний обсяг дисертації становить 131 сторінку, у тому числі 31 рисунок і 11 таблиць.

Структура, обсяг роботи та її оформлення відповідають вимогам МОН України до кандидатських дисертацій.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими планами, сформульовані мета і методи досліджень, визначені наукова новизна й практичне значення, обґрунтована достовірність і наведені дані про апробацію результатів дисертації і особистий внесок здобувача.

У першому розділі проведений аналіз літературних джерел з питань існуючих підходів до дослідження стійкості нелінійних вимушених коливань та динамічних характеристик тонких оболонок при періодичному навантаженні.

В другому розділі розглянута чисельна реалізація методу криволінійних сіток в задачах стійкості нелінійних коливань тонких оболонок. Формування системи розрахункових рівнянь вимушених коливань виконано із застосуванням геометрично нелінійних співвідношень моментної теорії тонких оболонок, які сформульовані в тензорній формі і задовольняють гіпотезам Кірхгофа-Лява. Для опису деформованої поверхні оболонки використано підхід Лагранжа. Виконана дискретизація диференціальних розрахункових співвідношень теорії тонких оболонок в задачах усталених вимушених нелінійних коливань та їх стійкості. В напрямку твірної нелінійні диференціальні рівняння коливань оболонки дискретизуються за допомогою модифікованого кінцево-різницевого методу криволінійних сіток, а в круговому напрямку компоненти вектора переміщень елемента серединної поверхні оболонки апроксимуються тригонометричними рядами.

В третьому розділі наведена чисельна методика визначення частот і форм власних коливань тонких оболонок. Рівняння вільних коливань зведено до стандартної задачі на власні значення, порядок розмірності якої знижено за допомогою методу Бубнова-Гальоркіна. Представлено чисельний підхід до дослідження усталених нелінійних вимушених періодичних коливань оболонок та аналізу стійкості з визначенням критичних значень навантажень та відповідних форм втрати стійкості.

В четвертому розділі розв'язані тестові задачі, досліджена стійкість нелінійних коливань тонких оболонок (циліндричної, конічної і гіперболічної) при дії періодичних навантажень, оцінено вплив геометричних параметрів оболонок на частоти і форми власних коливань, критичні значення динамічного навантаження та форми втрати стійкості з визначенням кількості півхвиль в коловому напрямку оболонки; наведені результати дослідження стійкості вимушених коливань захисної ємності паливного резервуару, який розташований на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський» при кінематичному збуренні: визначені критичні значення кінематичного збурення в досліджуваному діапазоні частот, проаналізовано вплив інтенсивності періодичного збурення основи на усталені коливання ємності.

Висновки по роботі, представлені наприкінці основного тексту, сформульовані в достатній мірі точно і об'єктивно відображають результати проведеного дослідження.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату повною мірою відображає основні положення дисертаційної роботи та відповідає змісту розділів дисертації. Автореферат містить основні результати здійснених досліджень і дає змогу досить повно оцінити актуальність, наукову новизну і практичну цінність дисертації. Дисертація та автореферат викладені українською мовою із дотриманням прийнятої у механіці термінології. Текст дисертації і автореферату викладені на належному науковому рівні. Стиль викладання матеріалу у дисертації та авторефераті відповідає загальноприйнятим вимогам

Зауваження по роботі

При загальному високому рівні теоретичних і практичних результатів дисертації, були виявлені деякі недоліки. Зокрема:

1. Проблемаам коливань та динамічної стійкості тонких осесиметричних оболонок багато уваги було приділено багатьма вченими вітчизняними та закордонними. Насамперед наукової школи Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. В аналізі літератури бажано було б ширше висвітлити в чому відмінність та переваги даного підходу в порівнянні з відомими.

2. В промисловості дуже поширені підкріплені оболонки, тому, на майбутнє, дисертант має враховувати цей фактор.

3. В роботі не сказано, чи були визначені кратні власні форми та частоти коливань.

4. Бажано б розв'язати задачу з урахуванням реальних граничних умов, які виникають в процесі експлуатації оболонкових систем, а не тільки зупинитись на класичних граничних умовах.

5. В роботі мало присвячено дослідженню антирезонансних явищ, які виникають в процесі коливань.

6. Не розглянута задача про вимушені коливання з урахуванням розсіяння енергії.

7. В роботі також був застосований відомий скінченно-елементний комплекс NASTRAN. Виникає питання щодо похибок визначення динамічних характеристик оболонок при його використанні при визначенні більш високих форм та частот коливань.

Недоліки, які висловлені вище, не стосуються актуальності проведених досліджень, наукової новизни, достовірності та практичної цінності отриманих результатів і тому не знижують загальної позитивної оцінки дисертації в цілому.

Висновок про дисертацію в цілому і відповідність її чинним вимогам

Вважаю, що дисертаційна робота Палій Оксани Миколаївни "Стійкість нелінійних коливань тонких оболонок при періодичних навантаженнях" є завершеною науковою працею. Робота містить нові наукові результати, які спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми, яка полягає у чисельній реалізації методу криволінійних сіток в задачах оцінки впливу геометричних параметрів тонких осесиметричних оболонок на частоти і форми власних коливань, амплітуди усталених вимушених нелінійних коливань, критичні значення динамічного навантаження і відповідні форми втрати стійкості та створенні програмного забезпечення для реалізації представленого чисельного підходу.

Розв'язана науково-технічна проблема. Її наукова новизна, практична значимість одержаних результатів для промисловості у сукупності мають вагоме

значення для науки і практики, що підтверджує відповідність дисертаційної роботи чинним вимогам.

Результати дисертаційної роботи відповідають меті та поставленим завданням.

Автореферат у повній мірі відображає основний зміст дисертації.

Тема, зміст та результати дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності 05.23.17 – будівельна механіка.

Вважаю, що за актуальністю теми, науковим рівнем виконаних досліджень, науковою новизною отриманих результатів, їх практичною цінністю, обсягом виконаних досліджень, дисертаційна робота "Стійкість нелінійних коливань тонких оболонок при періодичних навантаженнях" відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р., №567 від 27.07.2016 р., №943 від 20.11.2019 р. та 607 від 15.07.2020 р., а її автор, Оксана Миколаївна Палій, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент,
доцент кафедри динаміки і міцності машин
та опору матеріалів Національного технічного
університету України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,
кандидат технічних наук, доцент

Ольга АЛЕКСЕЙЧУК

Підпис кандидата технічних наук, доцента Алексейчук О.М. засвідчую:

Вчений секретар Національного
технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



Валерія ХОЛЯВКО