

**ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Палій Оксани Миколаївни

”Стійкість нелінійних коливань тонких оболонок при періодичних навантаженнях”, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

**Актуальність теми дисертації.** Коливання тонких оболонкових конструкцій при дії періодичних навантажень супроводжується рядом фізичних явищ і механічних ефектів, які властиві нелінійним системам з великою кількістю ступенів вільності. До таких ефектів можна віднести: перебудову форм коливань, виникнення складних резонансних режимів коливань, існування декількох режимів коливань при однакових параметрах динамічних навантажень та інші. Такі ефекти є небезпечними, бо можуть змінити стійкі режими вимушених коливань оболонок на нестійкі, призвести до виникнення нових форм втрати стійкості, які в свою чергу можуть призвести до аварійних ситуацій. Актуальність теми обумовлена необхідністю забезпечити міцність і стійкість тонких оболонкових конструкцій при дії експлуатаційних навантажень ще на стадії проектування. Якісне проектування 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. На теперішній час недостатньо дослідженою залишається задача динамічної стійкості тонких оболонкових конструкцій в геометрично нелінійній постановці та оцінка впливу геометричних параметрів оболонок на стійкість усталених вимушених коливань.

**Аналіз змісту дисертації.** Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації

становить 131 сторінку, на 109 сторінках з яких викладено основний текст роботи. В дисертації наведено 31 рисунок та 11 таблиць. Список використаних джерел містить 183 найменувань. В додатках представлені довідки про провадження результатів дисертаційної роботи.

В представленій дисертаційній роботі вирішується проблема дослідження впливу геометричних параметрів тонких осесиметричних пружних оболонок на стійкість усталених вимушених нелінійних коливань при дії періодичних навантажень методами будівельної механіки.

У вступі обґрунтована актуальність теми, визначені мета і задачі досліджень, представлена загальна характеристика роботи.

В першому розділі виконано огляд існуючих підходів, які застосовуються в будівельному проектуванні України і в світі, до дослідження динамічних характеристик та стійкості нелінійних вимушених коливань тонких оболонок при дії повздовжнього, поперечного, кінематичного періодичних навантажень.

У другому розділі представлено формування системи розрахункових рівнянь вимушених коливань із застосуванням геометрично нелінійних співвідношень моментної теорії тонких оболонок в тензорній формі, які задовольняють гіпотезам Кірхгофа-Лява. Для опису деформованої поверхні оболонки використано підхід Лагранжа. За допомогою проєкційного методу побудована математична модель динамічної стійкості усталених вимушених коливань тонких пружних оболонок згідно теорії Флоке. 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, в круговому напрямку компоненти вектора переміщень елемента серединної поверхні оболонки апроксимуються тригонометричними рядами. Для зменшення кількості узагальнених координат дискретної

динамічної моделі стійкості усталених вимушених коливань тонких оболонок застосовано метод редуції базиса, який є чисельною модифікацією метода Бубнова-Гальоркіна.

В третьому розділі наведена чисельна методика визначення частот і форм власних коливань тонких оболонок з використанням методу Бубнова-Гальоркіна. Представлено чисельний підхід до дослідження стійкості усталених нелінійних коливань тонких пружних оболонок при періодичному навантаженні, який базується на спільному використанні модифікованого кінцево-різницевого метода – метода криволінійних сіток, проекційного методу і методу продовження розв'язку по параметру в поєднанні з методом Ньютона-Канторовича та теорії Ляпунова.

В четвертому розділі наведені результати розв'язання тестових задач по визначенню частот і форм власних коливань оболонок різної форми, критичних значень статичних навантажень; представлені результати дослідження стійкості нелінійних коливань тонких пружних сталевих циліндричних, конічних та однополюх гіперболічних оболонок при дії повздожніх та поверхневих періодичних навантажень; оцінено вплив геометричних параметрів оболонок на критичні значення динамічного навантаження та форми втрати стійкості; проаналізовано вплив кінематичного збурення основи на усталені вимушені коливання реального паливного резервуара, розташованого на Українській антарктичній станції “Академік Вернадський”.

**Наукова новизна.** Основні результати, що складають наукову новизну роботи полягають у чисельній реалізації методу криволінійних сіток в задачах оцінки впливу геометричних параметрів тонких осесиметричних оболонок на стійкість усталених вимушених нелінійних коливань та створенні програмного забезпечення для реалізації представленого чисельного підходу, яке надає розвитку обчислювальному комплексу методу криволінійних сіток. Для цього в роботі сформована система розрахункових рівнянь усталених вимушених нелінійних коливань із застосуванням геометрично нелінійних співвідношень

моментної теорії тонких пружних оболонок на основі векторної апроксимації функції переміщень в загальній криволінійній системі координат, які сформульовані в тензорній формі і задовольняють гіпотезам Кірхгофа-Лява. За допомогою проєкційного методу побудована математична модель динамічної стійкості усталених вимушених коливань тонких пружних оболонок згідно теорії Флоке. На основі методу криволінійних сіток виконана дискретизація диференціальних розрахункових співвідношень теорії тонких оболонок в задачах усталених вимушених нелінійних коливань та їх стійкості. Застосовано чисельна модифікація метода редукції базиса Бубнова-Гальоркіна. Отримано розв'язки нових прикладних задач стійкості усталених вимушених нелінійних коливань тонких осесиметричних пружних сталевих оболонок (циліндричних, конічних, однополюх гіперболоїдів) при дії періодичних (поздовжніх, поверхневих, кінематичних) навантажень за допомогою методу продовження по параметру в поєднанні з методом Ньютона-Канторовича та теорії Ляпунова. Виконана оцінка впливу геометричних параметрів тонких оболонок на частоти і форми власних коливань без і з урахуванням навантаження, амплітуди усталених вимушених нелінійних коливань, критичні значення динамічного навантаження та відповідні форми втрати стійкості.

**Достовірність результатів** обґрунтовується строгістю математичних перетворень, узгодженням чисельних результатів з аналітичними результатами інших авторів, збіжністю результатів в залежності від згущення сітки та точності розв'язання системи рівнянь, порівняльним аналізом результатів, отриманих на основі методу криволінійних сіток, з результатами досліджень, виконаних методом скінченних елементів.

**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 використана

в Київському національному університеті будівництва і архітектури при виконанні грантової і науково-дослідної робіт, в навчальному процесі та для надання рекомендацій із забезпечення безаварійної експлуатації паливного резервуара на Українській антарктичній станції “Академік Вернадський”.

**Публікації за темою дисертації.** Зміст дисертаційної роботи відображено в 15 наукових працях, серед яких 3 статті у науково фаховому виданні України, яке включене до міжнародної науково-метричної бази Web of Science. Робота пройшла апробацію на 5 міжнародних та вітчизняних науково та науково-практичних конференціях.

Зміст автореферату повно відображає основні положення дисертації, його оформлення відповідає всім вимогам.

По розглянутій дисертаційній роботі є наступні зауваження:

1. В третьому розділі було би доцільно навести алгоритм розв’язання геометрично нелінійної задачі стійкості тонких оболонок при дії статичних навантажень, який застосовано автором при розв’язанні тестових задач в четвертому розділі для порівняння критичних значень навантажень з аналітичними результатами інших авторів та чисельними результатами, отриманими методом скінченних елементів.

2. Вважаю, що дослідження динамічної стійкості тонких оболонок лише в області пружного деформування є обмеженими, бо в реальних умовах їх експлуатації спостерігаються як пружнопластичні та термопружнопластичні деформації.

3. В четвертому розділі не зазначено кількості утриманих гармонік при представленні вектора переміщення в ряд Фур’є по коловій координаті.

Зроблені зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку виконаних досліджень. Підходи, що пропонуються, є відображенням сучасних тенденцій в теорії стійкості нелінійних коливань тонких оболонок. Представлена дисертаційна робота Палій Оксани Миколаївни ”Стійкість нелінійних коливань

тонких оболонках при періодичних навантаженнях” виконана на високому науковому рівні, є завершеним дослідженням, в якому отримані нові наукові результати в галузі будівельної механіки, і відповідає вимогам, встановленим МОН України для кандидатських дисертацій.

Вважаю, що авторка дисертації Палій Оксана Миколаївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

завідувач кафедри опору матеріалів та машинознавства

Національного транспортного університету МОН України,

доктор технічних наук, професор

О.В. Марчук

«Підпис д.т.н., проф. О.В. Марчука засвідчую»

**ПІДПИС ЗАВІРЯЮ**  
Вчений секретар Національного  
Транспортного Університету  
проф. Мельниченко О.І.

