

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Ткаченка Дениса Анатолійовича
«АНАЛІТИКО-ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДЕФОРМУВАННЯ
СКЛАДНИХ ПЛАСТИНЧАТИХ СИСТЕМ»,
що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

1. Актуальність теми дисертаційної роботи. Дисертаційна робота Ткаченка Дениса Анатолійовича присвячена розвитку аналітико-чисельних методів аналізу деформування складних пластинчатих систем. Актуальність теми дослідження не викликає сумніву, оскільки тонкостінні конструкції широко використовуються в авіабудуванні, космічній техніці, машинобудуванні, а також у будівництві. При цьому висока точність розрахунків напружено-деформованого стану таких систем, з урахуванням складної геометрії, неоднорідності матеріалу і специфічних граничних умов, є надзвичайно важливою для забезпечення їхньої надійності та ефективності експлуатації.

У зв'язку з широким розповсюдженням і розширенням сфер застосування тонкостінних конструкцій, а також зі зростанням важливості вимог до їх міцності й масової ефективності конструкцій класичні чисельні методи аналізу, зокрема метод скінченних елементів, не завжди можуть забезпечити необхідний баланс між точністю і обчислювальними витратами. У цьому контексті розробка аналітико-чисельних підходів, що поєднують точність аналітичних методів з гнучкістю чисельного моделювання, є важливою науковою проблемою. Дисертант у своїй роботі запропонував низку нових рішень, які дозволяють суттєво підвищити ефективність розрахунків складних тонкостінних систем.

2. Наукова новизна роботи. Наукова новизна отриманих у дисертації результатів полягає у ґрунтовному розвитку та поглибленні сучасних підходів до аналітичного й аналітико-чисельного моделювання деформування складних

*Вх 117/2025
виг 27.05.2025*

тонкостінних конструкцій. У роботі подальшого розвитку набули метод сполучення конструктивних елементів, метод ідентифікації крайових умов і метод редукції, які дозволяють отримувати точні розв'язки для тонкостінних об'єктів з багатокомпонентною структурою та неоднорідними крайовими умовами.

В роботі удосконалено застосування методу ідентифікації крайових умов у формі методу редукції, який поєднано з чисельним моделюванням за допомогою методу скінченних елементів. На основі методу сполучення конструктивних елементів сформульовано загальну процедуру узгодження умов сумісності між окремими частинами складної конструкції, що дозволяє досліджувати системи з різномірною структурою.

Значним досягненням роботи є розвиток методу формування базисних функцій для опису деформацій у конструкціях типу «пластина + балка». Вперше побудовано ортонормований базис у відповідному енергетичному просторі бігармонічного оператора, що забезпечує експоненційну збіжність та високу обчислювальну стабільність аналітико-чисельних розв'язків. Ефективність запропонованих базисів проілюстровано на прикладі задачі вигину жорстко защемленої пластини, для якої отримано нові аналітичні розв'язки, що мають підвищену точність у порівнянні з відомими аналогами.

Окремо слід відзначити, що в межах системного підходу вперше отримано замкнуті аналітичні вирази для опису напружено-деформованого стану комплексних систем, які складаються з комбінацій пластин і балок. Такий підхід дозволяє описувати поведінку реальних інженерних конструкцій без спрощень, притаманних традиційним чисельним схемам, і забезпечує новий рівень якості моделювання у прикладній механіці.

3. Наукове та практичне значення результатів роботи. У роботі Ткаченка Д.А. розроблено комбінований декомпозиційний і системний підходи до аналізу деформування складних пластинчатих систем, що дозволяє розв'язувати крайові задачі з урахуванням неоднорідних граничних умов і складної будови системи. Покращено алгоритм побудови ортонормованих

базисних функцій у просторі енергетичного оператора крайової задачі. Запропоновані та використані системи координатних функцій забезпечують експоненціальну збіжність аналітико-чисельних розв'язків.

Особливої уваги заслуговує розробка підходів до узгодження мембранних і згинальних переміщень на стиках елементів системи типу «горизонтальна + вертикальна пластини». Це завдання традиційно викликає складнощі в аналітичних моделях через появу локальних розривів або неточностей у розподілі внутрішніх сил. Дисертант запропонував ефективну методику побудови універсальних функцій, які дозволяють уникнути зазначених проблем і забезпечити фізичну коректність розрахунків.

Розроблені методи дозволяють зменшити обсяг обчислювальних витрат при аналізі багатострингерних панелей, забезпечуючи при цьому високу точність розрахунків. Важливо, що результати досліджень апробовані шляхом порівняння з розв'язками, отриманими методом скінченних елементів, що свідчить про достовірність запропонованих підходів.

4. Достовірність і обґрунтованість результатів роботи. Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Ткаченка Дениса Анатолійовича, достатньою мірою обґрунтовані. Достовірність результатів підтверджується коректністю постановок задач та використанням сучасних обґрунтованих методів досліджень, використанням значної бази літературних джерел за темою дисертації (152 джерела), достатнім аналізом сучасного стану розвитку питання за темою дисертації; проведеними чисельними експериментами.

Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, ґрунтуються на поєднанні класичних варіаційних методів із сучасними аналітико-чисельними підходами аналізу конструкцій, серед яких слід відзначити метод ідентифікації крайових умов С. А. Халілова, метод сполучення конструктивних елементів та метод редукції. Розроблені математичні моделі та одержані розв'язки верифіковані шляхом чисельного моделювання й порівняння з результатами, отриманими методом скінченних елементів, що свідчить про їхню коректність,

достовірність та практичну придатність і наочно демонструє переваги запропонованих аналітико-чисельних підходів.

5. Повнота викладення досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 18 наукових працях, серед яких: 11 статей у журналах, включених до переліку наукових фахових видань України; 1 публікація у науковому періодичному виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus; 6 тезисів доповідей у матеріалах провідних науково-технічних конференцій за тематикою механіки деформівного твердого тіла та обчислювальної механіки, що підтверджує апробацію результатів роботи і засвідчує зацікавленість наукової спільноти у розробках здобувача.

6. Загальна характеристика дисертації. Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням. Автореферат та опубліковані статті відображають основний зміст і результати дисертаційної роботи. Окремі результати впроваджені на АТ «Антонов» (2017, 2019) та використовуються в навчальному процесі кафедри міцності літальних апаратів Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут».

Дисертаційна робота має чітко окреслену структуру, що відповідає логіці наукового дослідження. У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, основні завдання та методи дослідження, окреслено наукову новизну, теоретичне й прикладне значення отриманих результатів. **Перший розділ** присвячено аналізу існуючих аналітичних і чисельних методів розв'язання задач механіки деформівного твердого тіла. **Другий розділ** дисертаційної роботи присвячено формулюванню та побудові розв'язків повністю неоднорідної крайової задачі типу Діріхле для тонкостінної просторової конструкції. У розділі запропоновано декомпозиційний та системний підходи. Перший відхід базується на розкладанні повністю неоднорідної крайової задачі на серію напіводнорідних задач із використанням методів редукції та ідентифікації крайових умов. Другий підхід передбачає побудову універсальних функцій, що задовольняють крайові й контактні умови в задачах

аналізу складних пластинчастих систем. **Третій розділ** роботи присвячено побудові аналітико-чисельних розв'язків крайової задачі в прямокутній області з однорідними головними умовами на границі із застосуванням різних підходів та використанням різних систем координатних функцій. У розділі детально досліджено збіжність, точність та ефективність запропонованих розв'язків. **Четвертий розділ** має прикладний характер і демонструє застосування розроблених підходів до аналізу багатострингерних панелей. У межах апробації декомпозиційного підходу здійснено поєднання методу ідентифікації крайових умов із методом скінченних елементів, що має важливе практичне значення, оскільки відкриває можливості для подальшої інтеграції аналітичних і чисельних підходів при розв'язанні складних інженерних задач. У рамках системного підходу проведено детальний аналіз трьох конструктивно різних стрингерних панелей із різними рівнями дискретизації системи, що дозволило всебічно оцінити ефективність запропонованих аналітико-чисельних схем для задач зі складною геометричною будовою, неоднорідними граничними умовами та умовами сполучення. У **висновках** узагальнено основні результати дослідження. **Список використаних джерел**, що складається зі 152 найменувань, досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації. **Додатки** містять довідкові матеріали, результати числових експериментів, а також акти впровадження результатів роботи.

7. Зауваження до дисертаційної роботи. До дисертаційної роботи є такі зауваження.

1. У роботі розглянуто п'ять способів розв'язання базової задачі з однорідними крайовими умовами та неоднорідним рівнянням рівноваги. Проте детально розглянуто лише реалізацію декомпозиційного підходу на основі критеріального розв'язку у вигляді подвійних рядів за системами спеціальних функцій. Не зрозуміло, чи можливе застосування інших аналітико-числових реалізацій декомпозиційного підходу та наскільки відрізнятиметься точність і швидкість збіжності розв'язків при використанні інших чотирьох способів?

2. У межах системного підходу підкріплюючі елементи представлені двома моделям: пластиною та балкою. Було б доцільно надати практичні рекомендації щодо вибору моделі, зокрема, у яких випадках доцільно моделювати підкріплюючий елемент як пластину з великим подовженням, а в яких — як балку.

3. У дисертації подано стислий опис математичного формулювання скінченно-елементних моделей панелей, включаючи умови закріплення та прикладені навантаження. Доцільно було би надати більш розгорнутий виклад цих аспектів, зокрема щодо граничних умов і типів елементів, що використовувалися, для забезпечення відтворюваності та достовірності результатів чисельного моделювання.

4. Одержані в роботі результати або з існуючими наближеними аналітичними розв'язками або з результатами, отриманими методом скінченних елементів. Водночас проведення навіть обмеженого натурного експерименту на стендовій моделі або макетній конструкції могло би додатково підсилити прикладну переконливість запропонованих аналітико-чисельних підходів і надати можливість повної верифікації математичних рішень в умовах реального навантаження.

Зазначені зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертації.

8. Загальний висновок до дисертації. Дисертаційна робота «Аналітико-чисельні методи аналізу деформування складних пластинчатих систем» Ткаченка Дениса Анатолійовича написана на високому науковому рівні. Зміст і результати досліджень викладено стисло, логічно і аргументовано. Структура, обсяг та оформлення роботи справляють добре враження.

Дисертація є завершеною науково-дослідною працею, що містить вагомі теоретичні та прикладні результати, і повною мірою відповідає паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Дисертаційна робота за змістом, науковим рівнем, структурою та оформленням повністю відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а саме пунктам 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р.), а здобувач Ткаченко Денис Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент:

директор навчально-наукового інституту

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету науки і технологій

доктор технічних наук,

професор



Владислав ДАНИШЕВСЬКИЙ

Підпис д-ра техн. наук, проф. Владислава Данішевського засвідчую.

Учений секретар,

канд. філол. наук, доцент



Тетяна РАДКЕВИЧ

22 травня 2025 р.