

## ВІДЗИВ



офіційного опонента на дисертаційну роботу Сафронової Інги Анатоліївни «Моделі і алгоритми прискорення збіжності ітераційних процесів в задачах розрахунку і оптимізації оболонкових елементів конструкцій», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 «Механіка деформівного твердого тіла».

Дисертаційна робота присвячена створенню нових і розвитку існуючих математичних моделей і алгоритмів прискорення збіжності і кількості прямих розрахунків нелінійних задач про напружено-деформований стан та оптимальне проектування неоднорідних оболонкових конструкцій складної конфігурації з прогнозуванням руйнівних навантажень, наближених до експлуатаційних.

**Актуальність теми роботи, її зв'язок з науково - дослідними програмами, планами, темами.**

Конкурентно здатні вироби сучасного машинобудування, авіаційної, ракетно-космічної техніки та інших галузей у зв'язку з новими представленнями їх розвитку і вирішуваних завдань вимагають постійного вдосконалення процесу проектування конструкцій на базі сучасного математичного забезпечення з врахуванням досвіду використання систем автоматизованого проектування і автоматизації інженерних розрахунків, які дозволяють моделювати процеси деформації і руйнування конструкцій складної конфігурації, що працюють у екстремальних умовах експлуатації. При створенні конструкцій нової техніки надійне математичне забезпечення, особливо перед випробувальне моделювання міцності оболонкових конструкцій складної конфігурації, є досить актуальним у зв'язку з необхідністю значного полегшення оболонкових елементів типу кільцевих пластин, сифонів, гнучких оболонок з довільною формою меридіану і змінною за координатами товщиною і внутрішніми тенденціями розвитку механіки деформівного твердого тіла.

Принциповим питанням при створенні конструкцій і систем нової техніки є необхідність у ефективних методах та алгоритмах розрахунків, які можуть прогнозувати граничні стани конструкцій на базі чисельних методів без проведення дорогого та довготривалого експериментального відпрацювання. Отже,

цілком можна погодитися з автором даної роботи, що один з найбільш актуальних напрямків дослідження і зменшення затрат на розв'язання особливо геометрично нелінійних задач механіки та оптимального проектування сучасних оболонкових конструкцій і систем вимагає створення надійних математичних моделей і алгоритмів прискорення збіжності і зменшення кількості розрахунків.

Що стосується актуальності наукового напрямку і теми дисертаційного дослідження, то необхідно послатися, зокрема, на «Стратегію космічної діяльності України на період до 2022 року», затвердженої Наказом Державного космічного агентства України № 100 від 21.05.2015. Проведені у дисертаційній роботі дослідження виконані в межах науково-дослідних робіт, що виконувались у відповідності до координаційного плану МОН України, а також впроваджені у навчальний процес механіко-математичного факультету ДНУ імені О. Гончара.

Враховуючи необхідність на етапі створення сучасних машин і апаратів надійного прогнозування напружено-деформованого стану і оптимального проектування оболонкових конструкцій складної геометрії, що визначається тенденціями розвитку механіки деформівного твердого тіла і запитамі нової техніки, **можна зробити висновок про безумовну актуальність теми дисертаційної роботи**, реалізація якої базується на застосуванні запропонованих алгоритмах комп'ютерного моделювання і існуючих сучасних методах дослідження, а також експериментальних даних.

**Зміст роботи.** Робота складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку.

*У першому розділі* на основі аналітичного огляду літературних джерел, опублікованих як у вітчизняних так і закордонних журналах, надано аналітичний огляд сучасного стану і висвітлено передумови виникнення проблем дослідження за темою дисертації, обґрунтовано необхідність їх подальшого вивчення та розв'язку, актуальність теми дисертаційної роботи, включаючи питання дослідження напружено-деформованого стану та оптимального проектування неоднорідних оболонкових конструкцій, аналіз критеріїв збіжності розв'язків

нелінійних задач, викладаються основні ідеї роботи. Відзначено суттєвий вклад у розробку теорій та підходів за даним напрямком досліджень вітчизняних та закордонних вчених. Основна ідея роботи полягає у розробці і реалізації надійних і ефективних алгоритмів прискорення збіжності чисельних процесів, пов'язаних із необхідністю аналізу напружено-деформованого стану і оптимального проектування неоднорідних оболонкових конструкцій на основі нелінійної моментної теорії тонких оболонок на базі моделювання ітераційного процесу з використанням періодичних екстраполяцій нелінійних складових та варійованих змінних. Обговорюються переваги запропонованих математичних моделей та алгоритмів.

На основі нелінійної теорії оболонок обертання з довільною формою меридіану *у другому розділі* пропонується алгоритм прискорення збіжності ітераційних процесів аналізу конструкцій з використанням комбінацій різних методів. Виявлено найбільш ефективний авторський підхід із застосуванням лінійної екстраполяції, поліномів Лагранжа і Ньютона та ітераційного процесу Ейтхена-Стеффенсена. Надаються оцінки точності ітераційного процесу. Алгоритм застосовано для аналізу деформованого стану кільцевої пластини при поперечному навантаженні. Наведено порівняльний аналіз із здобутими експериментальними даними та розв'язком за методом скінченних елементів.

*Третій розділ* включає результати дослідження гнучких гофрованих оболонок обертання, вибору оптимальних параметрів чутливих елементів приладів у вигляді гофрованих мембран, вагової оптимізації круглих пластин з метою зменшення обчислювальних витрат, розрахунку динамометричних шайб. Отримані результати числових розрахунків, зокрема з використанням розробленого підходу, реалізованого на базі авторського програмного пакету на мові PGIVisualFortran, та експериментальних досліджень вказують на достовірність та ефективність запропонованого алгоритму. Спеціальна увага приділена особливостям проведеного експериментального дослідження і задачам оптимального проектування гофрованих мембран найбільшої чутливості, вибору раціональних параметрів динамометричних шайб та алгоритму зниження матеріаломісткості кільцевої пластини при поперечному навантаженні.

*У четвертому розділі* спеціальна увага приділяється застосуванню запропонованого підходу зменшення обчислювальних затрат до розв'язку задач механіки деформівного твердого тіла оболонкових конструкцій змінної за координатами жорсткості при несиметричному навантаженні, які зводяться до необхідності інтегрування системи диференціальних рівнянь високого порядку у частинних похідних із змінними коефіцієнтами шляхом періодичного екстраполювання їх значень з використанням результатів обчислень попередніх коефіцієнтів при розв'язку сукупності крайових задач з представленням шуканих розв'язків у формі тригонометричних рядів Фур'є. В якості конкретної конструкції аналізується тонка пружна кільцева пластина під дією поперечного несиметричного навантаження.

Обговорюється напружено-деформований стан оболонок обертання змінної у двох напрямках жорсткості на базі диференційно-різницевого методу прямих. В якості прикладу аналізується напружено-деформований стан циліндричної оболонки при несиметричному внутрішньому тиску.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у розробці нових моделей і алгоритмів прискорення збіжності ітераційних процесів при розв'язку задач про напружено-деформований стан та оптимальне проектування неоднорідних конструкцій:

- вдосконалено перетворення нелінійних крайових задач механіки оболонок з метою прискорення збіжності їх розв'язання;
- проведена низка оригінальних експериментальних досліджень з метою обґрунтування достовірності запропонованих чисельних алгоритмів;
- вперше запропоновано нову методологію зменшення обчислювальних затрат при аналізі напружено-деформованого стану та оптимізації оболонкових конструкцій;
- запропоновано чисельний підхід до вирішення задач про напружено-деформований стан оболонок зі змінною за координатами жорсткістю;
- здобуті нові результати аналізу конкретних конструкцій з метою ілюстрації ефективності і достовірності запропонованих у роботі математичних моделей та алгоритмів.

**Достовірність** отриманих наукових результатів забезпечується

коректною постановкою задач, співставленням результатів чисельного аналізу із даними експериментального дослідження, відсутністю протиріч між здобутими чисельними результатами і фізичним змістом досліджуваних явищ.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у можливості безпосереднього використання запропонованих математичних моделей і алгоритмів при аналізі напружено-деформованого стану і оптимізації оболонкових конструкцій нової техніки з урахуванням особливостей геометричної форми і характеру зовнішнього навантаження. Запропонована методика експериментального дослідження прогнозування напружено-деформованого стану конструкцій складної конфігурації.

**Впровадження роботи.** Результати дисертаційної роботи знайшли своє застосування при виконанні низки держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України та навчальному процесі Дніпровського національного університету імені О. Гончара.

**Апробація результатів дослідження.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 35 робіт, в яких відображено основний зміст дисертаційної роботи та етапи її підготовки. Основні результати викладено у 19 наукових роботах. З них: 1 стаття у журналі, що входить до переліку Web of Science, 8 статей у журналах та збірниках, що входять до переліку наукових фахових видань України, 3 публікації у закордонних виданнях, 6 публікацій у збірниках тез і матеріалах наукових конференцій.

***Зауваження до роботи:***

1. У розділі 1 бажано було б більше уваги приділити якісному аналізу напружено-деформованого стану і оптимізації оболонкових конструкцій на базі геометрично нелінійного підходу теорії неоднорідних оболонок обертання.

2. Доцільно було б обговорити межі застосування запропонованих математичних моделей і алгоритмів при розв'язанні реальних задач для оболонкових систем нової техніки у нелінійній постановці, особливо за зміною форми меридіану досліджуваних конструкцій та характеру залежності жорсткості від координат.

3. На погляд опонента встановлення достовірності здобутих результатів по напружено-деформованому стану оболонок із змінною за координатами жорсткістю на базі системи диференціальних рівнянь із змінними коефіцієнтами (у четвертому розділі роботи) з випадком оболонок постійної жорсткості не є в повній мірі коректним. Інші математичні моделі, зокрема на базі методу скінченних елементів, надали б більшої впевненості у достовірності результатів.

4. Необхідно зауважити, що у роботі досліджено як неоднорідні оболонкові, так і пластинчаті конструкції.

**Загальна оцінка дисертаційної роботи.** Зазначені зауваження не знижують наукову цінність дисертаційного дослідження.

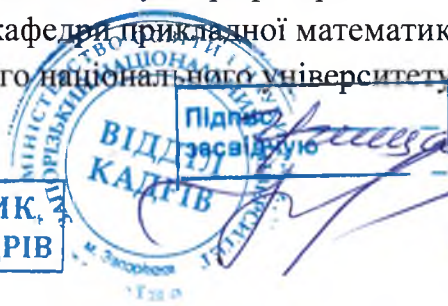
Структура, обсяг та оформлення роботи відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України, а зміст і результати проведених в дисертації досліджень викладено логічно і аргументовано. Заявлені висновки роботи відповідають меті та поставленим завданням. Автореферат в повній мірі і правильно відображає основний зміст дисертаційної роботи, а наведені в авторефераті та дисертації публікації повністю висвітлюють основні наукові результати дисертаційного дослідження. В цілому дослідження виконано на високому науковому рівні. Дисертація є закінченою науковою роботою, в якій отримано нові наукові результати, важливі до практичного застосування при створенні конструкцій нової техніки, вносить суттєвий внесок у розвиток механіки деформівного твердого тіла.

Робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор **Сафронова Інга Анатоліївна** заслуговує **присудження їй вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.**

Офіційний опонент  
Заслужений діяч науки і техніки України,  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри прикладної математики і механіки  
Запорізького національного університету

В.З. Гришак

НАЧАЛЬНИК,  
ВІДДІЛУ КАДРІВ



*Гришак В.З.*  
*Н. Сафронова*