

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертацію ГРЕБЕНЮКА Сергія Миколайовича
«Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі
гомогенізації волокнистих композитів»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливої проблеми – дослідженню напружено-деформованого стану (НДС) просторових конструкцій, які виготовлено з композитних матеріалів.

Актуальність цієї проблеми зумовлена інтенсивним впровадженням новітніх композитних матеріалів у різні галузі сучасної техніки, яке обумовлене високими техніко-економічними показниками конструкцій, що створюються на їх основі. Ця проблема стає особливо актуальною при створенні аерокосмічної техніки, коли при жорстких вимогах до міцності та надійності конструкції, необхідно забезпечити її мінімально можливу вагу. Крім того, однією з основних задач механіки композитних матеріалів є визначення пружних характеристик композитів в залежності від їх внутрішньої структури.

Через складність математичних моделей існуючі методи визначення характеристик композитних матеріалів у повній мірі не враховують особливостей структури матеріалу та ґрунтуються на наближених розрахункових схемах, що може приводити до значних осциляцій фізико-механічних полів на макрорівні.

Саме тому дисертація Гребенюка С.М., у якій розроблені нові підходи до визначення механічних характеристик волокнистих композитних матеріалів з урахуванням особливостей деформування матриці і волокна та методи дослідження НДС просторових композитних конструкцій, безперечно, є актуальною.

Свідченням актуальності проведених досліджень і розробок є також те, що вони виконувались у відповідності до різних планів наукових досліджень в області механіки деформівного твердого тіла та господарського договору, які пов'язані з розробкою наукових основ розрахунку конструкцій, що виготовлені з волокнистих композитних матеріалів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи на основі аналізу її змісту

Дисертаційна робота Гребенюка С.М. – капітальна праця в галузі механіки композитних конструкцій. Складність проблем, з якими довелося зіштовхнутися автору при виконанні конкретних досліджень, обумовлена рядом причин, серед яких необхідно вказати на недостатню розробленість питань теоретичного дослідження процесів деформування композитних конструкцій з урахуванням просторового характеру армування матеріалу.

Дисертанту вдалося вперше на основі єдиного підходу визначити пружні характеристики волокнистих матеріалів з урахуванням властивостей матриці та волокна та дослідити конструкційну міцність гумовокордних ізоляторів, автомобільних шин та головного обтічника ракетносія.

Треба відзначити, що всі питання, що розглянуті в дисертації, розроблені дуже ретельно.

Дисертація складається з вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, показано зв'язок досліджень із науковими програмами, планами й темами, сформульовані мета й задачі досліджень, обґрунтовані наукова новизна й практична значимість отриманих результатів, показаний рівень апробації роботи, ступінь висвітлення результатів у публікаціях і особистий внесок автора.

Перший розділ присвячений огляду сучасного стану проблеми, у якому основна увага приділена висвітленню підходів до визначення пружних сталих композиційних матеріалів та методам розрахунку НДС конструкцій з волокнистих матеріалів. Це дозволило автору не тільки проаналізувати бібліографічний матеріал, але й чітко окреслити місце, яке займає його робота в масиві аналогічних досліджень.

У **другому розділі** дисертантом на базі методу представницького об'ємного елемента отримано аналітичні співвідношення для ефективних пружних сталей композиційного матеріалу із залученням кінематичної умови узгодження. Розглянуто випадки, коли матеріал матриці і волокна є ізотропним або анізотропним.

У результаті розв'язання модельних задач аналітично визначені модулі пружності, модулі зсуву та коефіцієнти Пуассона для різних типів композиційних волокнистих матеріалів та проведено порівняння обчислених значень з даними експерименту у різних діапазонах об'ємного вмісту волокна.

Третій розділ присвячений визначенню ефективних пружних сталей композиційного матеріалу із залученням енергетичної умови узгодження. Автор роботи отримав аналітичні співвідношення, які дозволили уточнити співвідношення, які отримані в другому розділі. Порівняння з

експериментальними даними довело, що такий підхід дає більш точні результати.

Запропонований підхід дозволив дисертанту визначити ефективні пружні сталі трикомпонентного матеріалу, який армовано двома типами волокон при періодичній структурі армування. Отримані чисельні результати добре узгоджуються з результатами інших авторів.

У **четвертому розділі** на основі методу скінченних елементів дано тривимірну постановку задачі про деформування конструкцій, які виготовлені з композиційних волокнистих матеріалів. Скінченно-елементну модель матеріалу побудовано на основі моментної схеми, що дозволило сформувати матрицю жорсткості для композиційного матеріалу з довільно орієнтованими волокнами.

У **п'ятому розділі** скінченно-елементна постановка узагальнена на випадок геометрично нелінійної задачі. Нелінійність урахується у векторі додаткових навантажень. Дисертантом запропоновано ітераційний алгоритм розв'язання задачі за допомогою модифікованого методу Ньютона-Канторовича.

Запропоновані автором методи реалізовані у пакеті прикладних програм. Детальна характеристика пакету також наведена у цьому розділі.

У **шостому розділі** на основі розробленого програмного комплексу чисельно розв'язані задачі про дослідження НДС гумовокордних конструкцій, а саме віброакустичного ізолятора та вантажної автомобільної діагональної шини. Розглянуто вплив конструктивних особливостей на розподіли переміщень та напружень у конструкціях та встановлено зони концентрації максимальних напружень.

У **сьомому розділі** досліджено НДС головного обтічника ракетносія в умовах експлуатаційних навантажень.

Обтічник розглядається як шарувата оболонка, що складається із зовнішніх обшивок, виготовлених з односпрямованого вуглепластика, та стільникового заповнювача. Чисельні розрахунки проведено для різних режимів навантаження та визначено зони концентрації максимальних напружень.

Наукова новизна результатів дисертації

Новизна отриманих в роботі результатів полягає в створенні нових математичних моделей волокнистих композитів та удосконаленні методів розрахунку напруженого стану просторових конструкцій, які виготовлені з композиційних матеріалів.

У процесі проведених досліджень вперше отримані наступні результати:

- розроблено підхід до визначення ефективних пружних характеристик волокнистого композиційного матеріалу, що дають змогу враховувати транстропні властивості матриці і волокна;
- запропоновано підхід до визначення ефективних пружних характеристик односпрямованого волокнистого композиційного матеріалу, армованого двома сортами періодичних волокон;
- в аналітичному вигляді отримані вирази для визначення ефективних пружних сталих вказаних матеріалів;
- досліджені ефективні пружні властивості композитів різної структури в залежності від властивостей, об'ємного вмісту волокон, а також геометричних параметрів структури;
- на основі моментної схеми побудовано тривимірну скінченно-елементну модель матеріалу, що дозволило сформувати матрицю жорсткості для композиційного матеріалу з довільно орієнтованими волокнами та розроблено підхід до чисельного визначення НДС конструкцій з волокнистих композитів з урахуванням геометричної нелінійності;
- на основі розроблених методів і програмного забезпечення отримано нові чисельні результати дослідження впливу різноманітних геометричних параметрів, механічних характеристик, схеми армування волокнами на параметри НДС гумовокордних конструкцій як з урахуванням, так і без урахування геометричної нелінійності матеріалу; побудовано розподіли напружень у конструкціях віброакустичного ізолятора і вантажної автомобільної діагональної шини та встановлені зони концентрації максимальних напружень;
- досліджено параметри НДС головного обтічника ракетносія під впливом реальних експлуатаційних навантажень; проведено чисельний аналіз для різних режимів навантаження, встановлено фактори, які суттєво впливають на характер деформативних властивостей конструкції, виявлено концентрацію максимальних напружень навколо прямокутних отворів та у зонах стиковки сферичних, конічних та циліндричних частин конструкції.

Практична цінність дисертаційної роботи

Крім вирішення проблем фундаментального характеру значна увага в роботі приділена практичному використанню результатів. В авторефераті і дисертації ці питання досить повно висвітлені. Істотним досягненням у частині практичного використання отриманих результатів є те, що вони використовуються при проектуванні віброізоляторів із проміжним шаром із гумовокордного матеріалу в Інституті геотехнічної механіки НАН України та головного обтічника ракетносія КБ «Південне» (м. Дніпро).

Практичну спрямованість досліджень і розробок дисертації також підтверджується тим, що вони реалізовані у пакеті прикладних програм «Композит», який дозволяє зменшити обсяг робіт щодо проектування та розрахунку конструкцій із волокнистих композитів у авіа- та машинобудуванні, у транспортних системах, будівництві.

Крім того, підходи і методи, які розроблено у дисертації, є корисними в учбовому процесі у навчальних закладах з підготовки фахівців для аерокосмічної і машинобудівної галузей.

Оцінка достовірності результатів роботи

При написанні дисертаційної роботи автор серйозну увагу приділив обґрунтуванню наукових висновків. Оцінка достовірності результатів в роботі багатопланова та підтверджується адекватністю використаних математичних моделей, перевіркою внутрішньої збіжності запропонованих методів, тестовими розрахунками, порівнянням результатів, які отримані автором, з аналогічними даними, що наведені в літературних джерелах, порівнянням чисельних результатів з експериментальними даними.

Зазначимо, що результати, які отримав дисертант, пройшли перевірку при розрахунках реальних елементів конструкцій космічної техніки та гірничих машин.

Таким чином, положення, висновки і рекомендації, які наведено у дисертаційній роботі, є обґрунтованими і достовірними.

Апробація дисертації

Основні результати роботи повністю викладені в 67 наукових працях здобувача, серед яких 3 монографії, 30 статей – у збірниках і журналах, внесених до переліків, затверджених Департаментом атестації кадрів вищої кваліфікації Міністерства освіти і науки України з технічних наук, 6 статей – у наукових журналах, які включено до міжнародних наукометричних баз даних; є одне авторське свідоцтво.

Всі основні результати роботи виконані автором самостійно. Про це свідчить те, що 9 опублікованих статей є одноосібними.

Основні положення дисертаційної роботи обговорювалися на багатьох міжнародних науково-технічних конференціях. У повному обсязі робота доповідалась та була схвалена на міжвузівському науковому семінарі Запорізького національного університету «Актуальні проблеми прикладної математики і механіки» під керівництвом доктора технічних наук, професора Грищака В.З. та науковому семінарі у відділі обчислювальної механіки

Зауваження до дисертації

Викладене вище свідчить про високий науковий рівень роботи та її відповідність вимогам, що пред'являються до докторських дисертацій. Проте слід зазначити і ряд таких недоліків:

1. У третьому розділі запропоновано підхід, який дозволяє встановити аналітичні залежності для визначення пружних сталей композиційного матеріалу з односпрямованими волокнами двох типів. Передбачається, що ці волокна мають однаковий діаметр. У роботі не визначено, як зміниться підхід у випадку волокон з різними діаметрами або з різними механічними характеристиками.

2. У другому та третьому розділах проведено порівняння пружних сталей композиційних матеріалів з експериментальними даними. Також було б доцільно зіставити з даними експерименту результати розрахунку напружень, які отримані для реальних конструкцій.

3. У четвертому та п'ятому розділах розглянуто особливості застосування та програмної реалізації методу скінченних елементів для розрахунку конструкцій з волокнистих композиційних матеріалів. У практичному застосуванні метода скінченних елементів часто виникає явище, що має назву «ефект запирання». Тобто оптимальна швидкість збіжності не досягається, доки розбиття сітки не досягає певного граничного значення. Це суттєво збільшує порядок розв'язувальної системи рівнянь. У роботі не зазначено, чи виникав такий ефект у практичних розрахунках конструкцій та як здійснювався контроль точності розв'язку.

4. У шостому та сьомому розділах проведено дослідження впливу схем армування шарів шаруватих композитних конструкцій (віброізоляторів, автомобільних шин та обтічника ракетносія) на параметри їх НДС. Якщо б автор розв'язав задачу оптимального проектування конструкцій з метою зниження напружень, це б надало подальший розвиток підходам та методикам, запропонованим у дисертації.

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки

1. Дисертація Гребенюка С.М. «Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів» є завершеним науковим дослідженням, яке містить рішення важливої та актуальної науково-технічної проблеми, пов'язаної з дослідженням НДС

складних та важливих конструкцій, які виготовлені з сучасних композитних матеріалів.

2. Робота має наукову новизну, практичну значимість, обґрунтованість і відповідає вимогам, що пред'являються до докторських дисертацій.

3. За змістом, метою, розв'язаними задачами, дисертація відповідає паспорту спеціальності 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла.

4. Автореферат дисертації відповідає її змісту, відображає основні наукові положення і результати роботи.

Після всебічного вивчення дисертаційної роботи Гребенюка Сергія Миколайовича «Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів» опонент дійшов висновку, що ця робота є завершеною науковою працею, яка повністю відповідає всім вимогам до докторських дисертацій у відповідності з пунктами 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013.

Вважаю, що автор дисертації цілком заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
Інституту проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України,
доктор технічних наук

Сметанкіна Н.В.

Підпис д.т.н., пров.н.с. Сметанкіної Н.В.
засвідчую:

Вчений секретар
Інституту проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України
кандидат технічних наук



Курська Н.М.