

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Вязовиченко Юлії Андріївни

«Термо-напружений стан в'язкопружних гумокордних елементів конструкцій з урахуванням розсіювання енергії при циклічному деформуванні», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Композиційні елементи конструкцій широко використовуються в сучасному машинобудуванні. Зокрема, одним з основних матеріалів, які використовують для виготовлення демпфуючих, амортизаційних елементів та різноманітних прокладок є гумо-кордні композитні матеріали. Завдяки високому опору стисненню з одного боку і здатності витримувати істотні навантаження на розтягнення у напрямку армування, їх також доцільно використовувати у якості відповідальних несучих елементів конструкцій. Області застосування таких матеріалів обумовлюють динамічність (циклічність) характеру їх навантаження. В той же час при експлуатації подібні матеріали проявляють в'язкопружні властивості, що в умовах циклічних навантажень супроводжується дисипативними процесами у матеріалі та викликає появу такого явища, як самонагрів. Висока чутливість гумоподібних матеріалів до зміни температури обумовлює її значний вплив на функціональні характеристики та показники надійності. Це призводить до необхідності розробки методів та підходів до визначення кількісних та якісних показників процесу теплогенерації у матеріалі, а також вимагає враховувати та оцінювати вплив протікання таких процесів на напружено-деформований стан (НДС) елементів конструкції для подальшого дослідження залежності характеристик надійності від цих процесів.

У зв'язку з цим дисертаційна робота Вязовиченко Ю.А., яка присвячена розробці розрахункових методів оцінки процесів самонагріву в'язкопружних елементів конструкцій під дією циклічних навантажень та

аналізу впливу дії температурного поля, що утворилося внаслідок розсіювання енергії у матеріалі, на НДС елементів машинобудівних конструкцій в умовах експлуатації, безумовно, є актуальною.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням здобувачем окремих розділів в рамках держбюджетної теми, а саме «Розробка методів математичного моделювання поведінки нових та композиційних матеріалів для оцінки ресурсу та прогнозування надійності елементів конструкцій» (ДР № 0117U004969), а також із виконанням досліджень в рамках Міжнародного науково-дослідного проекту “Innovative Non-Destructive Testing and Advanced Composite Repair of Pipelines with Volumetric Surface Defects (INNOPIPES) 7-ї Рамкової програми ЄС (2012-2016 pp., Contr. № PIRSES-GA-2012-318874).

Ступінь обґрунтованості й достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Вязовиченко Ю.А забезпечуються поданою оцінкою похибки отриманих результатів на основі порівняння кількості розсіяної енергії, яку визначено шляхом чисельного розрахунку методом скінченних елементів (МСЕ) та в результаті натурального експерименту. Порівняння результатів теоретичного та експериментального досліджень в двох напрямках показали їх задовільну узгодженість між собою.

Теоретичні аспекти дисертації базуються на фундаментальних положеннях нелінійної теорії пружності, в'язкопружності та теплопровідності. Для аналізу НДС та термо-напруженого стану використовувався МСЕ із застосуванням алгоритмів субмоделювання. Відповідні дослідження проводились із застосуванням сучасних програмних комплексів.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження базується на критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників. Достовірність висновків і рекомендацій підтверджується задовільною відповідністю результатів чисельного моделювання з отриманими автором експериментальними даними та добрим узгодженням отриманих результатів з даними щодо експлуатації об'єктів вивчення.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступні:

1. Вперше запропоновано розрахункові методи дослідження термо-напруженого стану гумокордних елементів, що формується під дією температурного поля, яке викликано розсіюванням енергії в матеріалі за циклічного деформування;

2. Експериментально отримано нові залежності параметрів в'язкопружності гумокордних композитів від характеру циклічного навантаження, що на відміну від існуючих, визначались з характеристик процесів самонагріву;

3. Удосконалені розрахункові підходи до вивчення процесу самонагріву в пневматичних шинах та його вплив на НДС, що дозволило вперше встановити закономірності формування термо-напруженого стану у шинах на різних експлуатаційних режимах.

Практичне значення отриманих результатів.

Практична цінність результатів роботи полягає, в першу чергу, у запропонованій методології дослідження процесів самонагріву та його впливу на деформування елементів машинобудівних конструкцій з гумокордними композитами. Також особливу цінність має підхід до визначення в'язкопружних характеристик гумокордів, який може бути застосований для інших матеріалів з використанням розробленого пакету скриптових програм.

Також є можливість безпосереднього використання отриманих результатів роботи при проектуванні складних конструкцій із гумо-кордних

композитних матеріалів, що мають в'язкопружні властивості, у різних галузях техніки.

Результати наукових досліджень в дисертаційній роботі впроваджено в практику проектно-дослідних робіт провідних вітчизняних підприємств машинобудівної галузі України ТОВ «Росава Тайерс» (м. Біла Церква, Київська обл.), що підтверджено актом впровадження.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у 19 наукових працях. Це 11 статей, з яких 9 у наукових фахових виданнях України (2 статті у виданнях, що індексуються у наукометричній базі Scopus), дві статті у закордонних фахових виданнях. Також результати дисертації опубліковано у 8 тезах доповідей і матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій.

Автореферат є ідентичним за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 128 сторінки, з них 64 рисунків по тексту, 7 на 7 окремих сторінках; 15 таблиць по тексту, 2 додатків на 10 сторінках.

Вступна частина дисертації розкриває основні положення роботи – актуальність, мету й завдання дослідження, наукову новизну й практичну цінність отриманих результатів. У ній також наведені дані про апробацію роботи та публікації здобувачки.

У **першому розділі** авторкою у достатньому обсязі проаналізовано сучасну науково-технічну літературу, у тому числі закордонну, за темою дисертації. А саме, зроблено аналіз областей використання гумокордних

матеріалів та характерного для них навантаження, показано основні особливості роботи подібних матеріалів і шляхи їх урахування. До безумовних переваг розділу варто віднести проведення глибокого аналізу існуючих методів та підходів до вивчення процесів самонагрівання. Досить детально проаналізовано та наведено факти щодо впливу температури на різні механічні та функціональні характеристики гумоподібних матеріалів, а також, на швидкість протікання різноманітних процесів, що супроводжують роботу елементів з таких матеріалів та знижують їх загальний ресурс. Відзначено внесок науковців, які займались вище вказаними питаннями. Висновки, що зроблені здобувачем на основі проведеного аналізу, дозволили сформулювати мету роботи та поставити задачі дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** показано загальну методологію та основні етапи дослідження протікання процесів самонагріву елементів конструкції з в'язкопружних еластомірних матеріалів, що враховують розсіювання енергії при циклічному деформуванні та оцінки її термо-напруженого стану.

Представлено математичну постановку задачі визначення характеристик НДС гумових та гумо-кордних елементів машинобудівних конструкцій: наведені основні співвідношення нелінійної теорії пружності, обґрунтовано вибір фізичних співвідношень для вирішення практичних задач в даній дисертації. Також наведено математичну постановку задачі теплопровідності. Представлено скінченно-елементне формулювання для поставлених задач. Наведено методи розв'язання нелінійних матричних рівнянь, а також, методологію розв'язання контактної задачі. Представлено і обґрунтовано модель в'язкопружності, на якій базується врахування розсіювання енергії в матеріалі.

Третій розділ присвячено розрахунково-експериментальним дослідженням з оцінки в'язкопружних та дисипативних характеристик гумо-кордних композитів шляхом їх циклічного навантаження .

В розділі наведено окремо експериментальні результати та теоретичні, які отримані на основі МСЕ, з метою визначення в'язкопружних характеристик композиту в різних напрямках для різних режимів циклічного

навантаження. Крім того, наведено результати змінення температури у часі, яка вимірювалась незалежно від характеристик деформування. Для обробки результатів експериментальних досліджень було застосовано експериментально-розрахунковий підхід, який містив оптимізаційну процедуру імітації відпалу, та розв'язання задачі теплопровідності на основі МСЕ з використанням пакету скриптових програм. Запропонований алгоритм, на відміну від існуючих, базується на даних з розсіювання енергії внаслідок циклічного деформування. З використанням цього алгоритму, ідентифіковано характеристики в'язкопружності гумокордного композиту у двох напрямках.

Запропонована методологію дослідження була протестована нїз застосуванням отриманих експериментальних даних по самонагріву зразків при їх циклічному деформуванні. Похибка по визначенню температури нагріву знаходиться у межах 3.5%.

У **четвертому розділі** здійснено реалізацію запропонованого підходу до визначення термо-напруженого стану конструкції у процесі експлуатації (на прикладі пневматичної шини) з урахуванням процесу дисипативного самонагріву.

В розділі наведено процес моделювання і розрахунку НДС пневматичної шини з урахуванням криволінійної геометрії та багатошарової структури, а також ортотропії механічних властивостей кордних шарів, геометричної та фізичної нелінійності. Розрахунки проводились для різних експлуатаційних режимів.

Встановлено, що спроба одночасного урахування основних особливостей конструкції призводить необхідності розв'язання істотно нелінійної задачі великої розмірності, що призводить до проблем зі збіжністю розрахунку. Це обґрунтовує необхідність використання методу субмоделювання, що забезпечує уточнення результатів розрахунків та достовірне визначення характеристик НДС в місцях їх концентрації.

На основі отриманих розрахунків проведено зонування профілю шини в залежності від виникаючих деформацій. Загалом виділено чотири

характерні зони. Для приведених зон було визначено цикли деформування. Встановлено залежність характеру циклу та максимальних значень деформацій від режиму навантаження.

З використанням отриманих циклів деформування шини та параметрів в'язкопружності, які було ідентифіковано у третьому розділі, проведено розв'язання задачі теплопровідності для визначення розподілу температури у конструкції. Проведено порівняльний аналіз характеристик НДС шини з урахуванням впливу температурного поля та без нього. Встановлено степінь впливу температурної складової на локалізацію максимальних деформацій та їх абсолютне значення на різних режимах навантаження.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації (110 найменувань).

У **додатках** наведено список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації, а також акти впровадження результатів роботи.

До дисертаційної роботи є наступні зауваження:

1. В дисертації запропоновано розрахунковий метод дослідження процесів самонагріву у елементах машинобудівних конструкцій. При цьому методологія базується на гіпотезі можливості визначати амплітуди та характеристики циклів деформування без врахування в'язкої складової, яка штучно додається в математичне моделювання вже на етапі визначення теплогенерації в матеріалі. Разом з тим, не надано оцінки обґрунтованості цієї гіпотези та похибок моделі, які доцільно було б зробити на спрощених тестових прикладах.

2. В рамках проведення експериментальних досліджень в роботі розглянуто циклічне деформування гумокордних матеріалів на різних режимах навантаження, проте в тексті дисертації не приділено достатньо уваги оцінці точності та повторюваності для кожного з них.

3. При розрахунку термо-напруженого стану пневматичної шини не враховано вплив температури на властивості матеріалу, що може суттєво вплинути на отримані результати.

4. На жаль, у тексті дисертації у позначеннях є деякі невідповідності та неточності, наприклад, рис 4.10 та 4.14 не мають підписів на осях, що ускладнює роботу з текстом дисертації. Також варто було б перекласти позначення у рисунках з англійської мови на українську.

5. У четвертому розділі бракує узагальнюючої інформації щодо залежності деформацій шини від режимів роботи з урахуванням та без урахування температури.

Але наведені зауваження, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення й основні результати досліджень, що пройшли достатню апробацію, та не знижують загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Розроблені методи та моделі в дисертації є сучасними, включають використання математичних методів та експериментальну перевірку основних положень. Дисертація написана професійною технічною мовою і за оформленням відповідає вимогам МОН України.

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її чинним вимогам.

Дисертаційна робота Вязовиченко Юлії Андріївни «Термо-напружений стан в'язкопружних гумокордних елементів конструкцій з урахуванням розсіювання енергії при циклічному деформуванні» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, що вирішують актуальну науково-прикладну задачу створення розрахункових методів оцінки термо-напруженого стану машинобудівних елементів конструкцій з в'язкопружними гумо-кордними композитами на основі дослідження процесів самонагріву, що формуються в результаті розсіювання енергії при

циклічному деформуванні та науково обґрунтованих підходів до визначення параметрів НДС у відповідних композиційних елементах.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, що затверджений постановою КМУ №567 від 24 липня 2103 року, які пред’являються до кандидатських дисертацій, а здобувач Вязовиченко Юлія Андріївна, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний оппонент,
завідувач відділу вібраційних і
термоміцнісних досліджень
Інституту проблем машинобудування
ім. А. М. Підгорного НАН України
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

Сметанкіна Н. В.

Підпис д-ра техн. наук, с.н.с. Сметанкіної Н.В. засвідчую:
Заступник директора з наукової роботи,
член-кореспондент НАН України



Костіков А.О.