

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента кафедри опору матеріалів і машинознавства Сумського державного університету Жигилія Дмитра Олексійовича на дисертацію Атрошенка Олександра Олександровича «АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ СКЛАДЕНИХ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ З БОЛТОВИМ З'ЄДНАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Актуальність теми дисертації.

Для багатьох машинобудівних конструкцій проектні дослідження не складають принципових складнощів, оскільки для них можуть бути застосовні традиційні математичні та числові моделі й методи. Проте виникають випадки, коли традиційні інструменти досліджень не задовольняють вимогам до аналізу, зокрема, конструкційної міцності реальних об'єктів. Подібна ситуація характерна для об'єктів, дослідженню яких присвячена дисертаційна робота Атрошенка О.О. Зокрема, в багатьох галузях машинобудування застосовуються тонкостінні складові елементи (пластини, оболонки, стержні), які піддаються різним навантаженням і працюють при великих прогинах. Тонкостінні елементи застосовуються в авіабудуванні, суднобудуванні, при виробництві космічних апаратів, в нафтогазовій галузі, в енергетиці, агропромисловості та ін. Є значна кількість конструкцій, в яких тонкостінні елементи (панелі) з'єднуються болтовими з'єднаннями чи заклепками. В роботі Атрошенка О.О. розглядається комплекс дослідницьких задач в основному на прикладі конструкції металевого бункера (зерносховища), яка складається із панелей, з'єднаних між собою болтовими кріпленнями. Як свідчить практика проектування, виготовлення і експлуатації подібного типу конструкцій, у багатьох випадках розбіжність між розрахунковими станами цих об'єктів й тими, що дійсно реалізуються, дуже відрізняються. Це демонструє доцільність перегляду вихідних постановок вирішуваних задач і коригування значущих чинників, що впливають на конструкційну міцність та напружено-деформований стан досліджуваних тонкостінних машинобудівних конструкцій. Удосконалення всього циклу досліджень від вихідних постановок до формування математичних моделей, розробки методів розв'язання та числової їх реалізації аж до вирішення практичних задач здійснюється за допомогою використання нових прикладних розрахункових програм.

Отже, дисертація Атрошенка О.О. присвячена поглибленому дослідженню напружено-деформованого стану і оцінки міцності складених тонкостінних конструкцій, з'єднаних болтовим кріпленням із зазором, з урахуванням особливостей тертя, наявності полімерних елементів, гофрування, геометричної, структурної, фізичної нелінійностей. З огляду на це, ще раз можна наголосити, що обрана тема досліджень та отримані здобувачем результати є актуальними і сприятимуть розвитку методів дослідження задач конструкційної міцності складених тонкостінних конструкцій з болтовим з'єднанням елементів.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна роботи визначається, з одного боку, розробленням більш досконалих, порівняно із традиційними методиками, методів аналізу міцності складених тонкостінних конструкцій з болтовим з'єднанням елементів на основі нелінійних математичних моделей напружено-деформованого стану, що враховують структурну, геометричну і фізичну нелінійність під дією багатоциклового навантаження. Зокрема, модифіковано розв'язувальну систему рівнянь для аналізу напружено-деформованого стану складеної смуги із болтовим з'єднанням. З іншого боку, запропоновані нові методи розв'язання систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, що виникають при дискретизації диференціальних рівнянь вигину при великих переміщеннях, на основі модифікації методу простої ітерації (введення параметру прискорення ітераційного процесу). Крім того, уперше встановлені особливості деформування системи двох стержнів, з'єднаних болтовим кріпленням, під дією поперечного навантаження із урахуванням попереднього затягування, тертя, проковзування, зазору та ущільнювальної шайби, при симетричному та віднульовому багатоцикловому навантаженні, а також виявлено присутність петель гістерезису на кривих «переміщення – навантаження», які викликані незворотностю процесів за наявності тертя. Як елемент новизни також слід відзначити розроблену методику для обґрунтування проектно-технологічних параметрів тонкостінних машинобудівних конструкцій із болтовим з'єднанням на основі результатів більш точного (порівняно із традиційними методиками) визначення їхнього напружено-деформованого стану із урахуванням значущих чинників.

Підсумовуючи, можна відзначити, що при розв'язанні поставленої в роботі задачі здобувач досяг нових наукових результатів за допомогою нових моделей та методів, які ним розроблені. За критерієм наукової новизни, таким чином, робота відповідає самим строгим критеріям.

Практична цінність роботи.

Робота має пряме й безпосереднє незаперечне практичне значення. Це зумовлене кількома обставинами. Так, розроблена математична модель реалізована у програмному коді, який може бути застосований для експрес-аналізу напружено-деформованого стану широкої множини складених тонкостінних конструкцій з метою забезпечення конструкційної міцності відповідальних вузлів з'єднання.

Разом із цим, практична цінність є не просто потенційною, а вона уже реалізована здобувачем при дослідженні складених тонкостінних конструкцій: металевих зерноскосищ, обшивки літаків, елементів ходової частини автотранспорту тощо. Ці дослідження проведені як у рамках бюджетних тем, так і господарчих договорів з різними підприємствами за безпосередньої участі здобувача. На основі конкретних рекомендацій, які розроблені із застосуванням результатів здійснених досліджень, забезпечено конструкційну міцність проєктованих елементів. Відповідно, отримано акти впровадження, які

підтверджують значення дисертації для науково-дослідних робіт не тільки в теоретичному, але й у практичному плані для машинобудівних підприємств.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність результатів.

Наукові положення, висновки за результатами проведеного дослідження та рекомендації щодо застосування і практичного використання достатньо обґрунтовані, базуються на строгому застосуванні математичного апарату механіки деформівного твердого тіла, їхня достовірність підтверджена з прийнятною точністю у ході проведення багатьох експериментів, а також широкою апробацією в опублікованих наукових працях і доповідях на конференціях різних рівнів.

Загальна структура роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 202 сторінки, з них 162 сторінки – основний обсяг, в тому числі 137 рисунків по тексту та 13 рисунків на окремих сторінках; 10 таблиць в тексті; список використаних джерел з 199 найменувань на 20 сторінках, 3 додатки на 7 сторінках.

Оформлення та стиль викладення в дисертаційній роботі та авторефераті відповідають встановленим вимогам.

Загальна характеристика роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, її зв'язок із планами науково-дослідницької роботи НТУ «ХП», сформульовано мету та задачі дисертаційних досліджень, описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про апробацію результатів теоретичних і експериментальних досліджень та публікації, які відображають основні положення роботи.

У першому розділі на основі проведеного аналізу сучасного стану традиційних методів досліджень розрахунку складених тонкостінних конструкцій обґрунтовано висновки проте, що вони мають значні недоліки. Зокрема, традиційні методи не дають можливості коректно, оперативно та точно визначати напружено-деформований стан складених тонкостінних елементів із болтовим з'єднанням. Існуючі розв'язки практичних задач, що виникають для реальних конструкцій із урахуванням всієї множини значущих чинників для визначення складного напружено-деформованого стану потребують подальшого удосконалення, використовуючи можливості сучасних пакетів прикладних програм. Враховуючи це, розробка методів визначення напружено-деформованого стану та конструкційної міцності тонкостінних машинобудівних конструкцій, з'єднаних болтовим кріпленням, а також його реалізація і визначення закономірностей розподілу прогинів, зміщень і поздовжніх зусиль на

основі створення програмного комплексу прикладних розрахунків напружено-деформованого стану елементів складених тонкостінних конструкцій обрано як напрямок дисертаційних досліджень. У зв'язку із цим запропоновано основні напрямки визначення напружено-деформованого стану та конструкційної міцності тонкостінних машинобудівних конструкцій, з'єднаних болтовим кріпленням, які окреслені у завершенні розділу 1.

Другий розділ містить опис методів розв'язання поставлених задач досліджень. Здобувач послідовно розглянув локальну постановку задачі визначення напружено-деформованого стану складених тонкостінних конструкцій з урахуванням болтового з'єднання елементів. Для двох з'єднаних болтовим кріпленням стержнів сформовані розв'язувальні співвідношення для розрахунку тонкостінних металевих конструкцій. У постановці враховується три види нелінійності: структурна, геометрична і фізична. При цьому запропоновано процедуру осереднення для визначення поздовжніх внутрішніх сил, що діють у конструкції. Проведено зіставлення результатів розв'язань з використанням різних методів на прикладі стрижневої системи, пластинчастих і оболонкових конструкцій. На цій основі побудована математична модель напружено-деформованого стану складених тонкостінних конструкцій з болтовим з'єднанням, яка покладена в основу їхнього дослідження. Для розв'язання дискретизованої системи рівнянь математичної моделі запропоновано модифікований метод простої ітерації, для чого впроваджено параметр регулювання величини кроку на поточному ітераційному кроці. Визначений вплив величини кроку на швидкість збіжності ітераційного процесу, на його характер, а також встановлено рекомендований інтервал його значень. Додатково встановлено, що при багаторазовому навантаженні спостерігається незворотність залежностей компонент напружено-деформованого стану від параметра навантаження, особливо яскраво виражений для симетричного циклу навантажень. При цьому для віднульового циклу навантаження подібних конструкцій напружено-деформований стан складається із двох частин: перша досягається при первинному навантаженні, а друга – практично повторюється при наступних циклах навантаження-розвантаження. Це суттєво прискорює розрахункові дослідження подібних конструкцій порівняно із традиційними підходами, коли вимагається багаторазове розв'язання послідовності нелінійних задач.

У третьому розділі проведено опис числової реалізації розробленої математичної моделі складених тонкостінних машинобудівних конструкцій з болтовим з'єднанням елементів. Встановлено закономірності впливу урахування різних чинників на напружено-деформований стан досліджуваних тонкостінних машинобудівних конструкцій. Розроблені рекомендації щодо удосконалення досліджуваних конструкцій металевих зерноскровищ.

У четвертому розділі із застосуванням розроблених інструментів досліджень розв'язано низку прикладних задач аналізу конструкційної міцності складених тонкостінних конструкцій. Зокрема, привертають увагу важливі результати щодо визначення напружено-деформованого стану металевих зерноскровищ. При проведенні цих досліджень встановлено, що розподіл прогинів і напружень за висотою носить істотно нерівномірний характер, що

відповідає експериментальним даним, які отримані у ході реальних випробувань. Проведено дослідження впливу болтового з'єднання на конструкційну міцність елементів тонкостінних конструкцій. Застосування методики підмоделювання дало змогу дослідити вузол болтового з'єднання елементів, який у традиційних методиках не враховується. На додаток досліджені конструкції фрагмента обшивки літака, автомобільних ресор, продемонстровано вплив окремих чинників на напружено-деформований стан. Підтверджено доцільність урахування всіх чинників у сукупності залежно від типу конструкції: з болтовими чи іншими кріпленнями.

Одержані та описані у розділі 4 результати були передані у виробництво для формування рекомендацій щодо обґрунтування проектно-технологічних рішень за критерієм забезпечення конструкційної міцності складених тонкостінних машинобудівних конструкцій.

У п'ятому розділі описано проведені експериментальні дослідження напружено-деформованого стану зразків тонкостінних елементів (системи смуг), виконані на спеціально розроблених стендах з метою верифікації результатів проведених чисельних розрахунків. Експериментально визначено характер поведінки системи смуг, з'єднаних болтовим кріпленням із зазором і застосуванням ущільнювальної шайби, навантажених рівномірно розподіленим по верхній кромці поперечним зусиллям і циклічним навантаженням у вигляді навантаження і розвантаження системи. Підтверджено якісну відповідність результатів числових і експериментальних досліджень зміни прогинів системи смуг при варіюванні компоновок болтового з'єднання і виду навантаження, що прикладається на систему.

Загальні висновки і рекомендації, які містяться в дисертації, відображають результати проведеного дослідження, є конкретними і корисними для теоретичних досліджень, практичних розрахунків і проектування складених тонкостінних машинобудівних конструкцій за критерієм забезпечення конструкційної міцності.

Ступінь апробації результатів дисертаційного дослідження можна вважати достатньо повним. Автором опубліковано 16 наукових праць, де висвітлено всі теоретичні аспекти, зроблено багато доповідей на науково-технічних конференціях різних рівнів з публікацією відповідних тез і матеріалів. Опубліковано 1 статтю – у наукометричній базі, 1 – у закордонному періодичному фаховому виданні.

В цілому, оцінюючи дисертаційну роботу Атрошенка О.О., вважаю, що вона має цілісний і завершений характер, розв'язує актуальну і важливу науково-прикладну задачу, пов'язану із визначенням напружено-деформованого стану та конструкційної міцності складених тонкостінних машинобудівних конструкцій.

Стиль викладу матеріалу – чіткий та послідовний. Рукопис містить достатньо ілюстрацій. Терміни, що використовуються, є загальноприйнятними у механіці та машинобудуванні.

Автореферат дисертації відображає основні положення виконаної роботи і дає достатню уяву про ступінь новизни та практичне значення отриманих результатів.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Здобувач основні зусилля зосередив на дослідженні напружено-деформованому стані системи двох смуг, які з'єднані болтом. Разом із тим він розповсюджує визначенні особливості та закономірності напружено-деформованого стану на всю множину складених тонкостінних конструкцій. Але для такого узагальнення потрібно було би здійснити більший обсяг досліджень.

2. Як одну із переваг здобувач заявив урахування у своїй математичній моделі напружено-деформованого стану складених тонкостінних конструкцій фізичної нелінійності. Проте у роботі про цей чинник мова йде тільки при фрагментарному описі властивостей матеріалу ущільнювальної шайби.

3. У роботі запропонована модифікація метода простої ітерації. Для цього вводиться параметр прискорення ітераційного процесу. Проте слід зауважити, що його рекомендоване значення встановлено в ході чисельних експериментів для конкретного випадку поздовжньо-поперечного вигину системи з'єднаних стержнів. Тому твердження про рекомендований діапазон значень цього параметра виглядає занадто необґрунтованим для застосування у випадку досліджень будь-яких складених тонкостінних конструкцій.

4. У назві та меті роботи заявлено про забезпечення конструкційної міцності складених тонкостінних конструкцій. Разом із тим основна увага приділяється аналізу напружено-деформованого стану, а оцінка міцності здійснюється дещо побіжно.

5. У роботі зустрічається значна кількість повторів при описі результатів досліджень та висновків.

6. У рукописі занадто багато уваги та обсягу опису приділяється деяким дослідженням. Так, щодо гофрування мова йде і у другому, і в четвертому розділах. Можна було би зменшити цей обсяг матеріалу без шкоди для сприйняття змісту дисертації в цілому.

7. Текст дисертації та автореферат містить окремі орфографічні та стилістичні помилки.

Зазначені зауваження не мають вирішального значення для оцінки дисертації і не зменшують наукового рівня виконаного дослідження та практичної цінності результатів роботи. Вони мають рекомендаційний та роз'яснювальний характер. Відзначені аспекти також можуть стати підґрунтям для дискусійного обговорення на засіданні спеціалізованої вченої ради.

Загальний висновок.

Дисертація Атрошенка О.О. є завершеною кваліфікаційною науковою дослідницькою роботою, у якій розв'язана важлива науково-прикладна задача зі створення методів дослідження міцності складених тонкостінних конструкцій з болтовим з'єднанням елементів.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин, зокрема, напрямком «конструкційна міцність машин, приладів та апаратури при статичних, циклічних, динамічних та термосилових навантаженнях; експериментальні методи та засоби досліджень міцності машин,

приладів та апаратури».

Дисертаційна робота «Аналіз конструкційної міцності складених тонкостінних конструкцій з болтовим з'єднанням елементів» виконана на належному рівні, відповідає сучасним вимогам до кандидатських дисертацій, зокрема, п.п. 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а здобувач Атрошенко Олександр Олександрович продемонстрував високу кваліфікацію дослідника та професійні знання, що дає підстави для висновку про те, що він заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент, кандидат технічних наук,
доцент кафедри опору матеріалів і машинознавства
Сумського державного університету

Д.О. Жигилій

Підпис к.т.н. Жигилія Д.О. засвідчую:

прор. Д.О. Жигилій

Секретар вченої ради
Сумського державного університету

А.І. Рубан



А.І. Рубан