

В І Д Г У К

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, головного наукового співробітника відділу надійності та динамічної міцності Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Воробйов Юрія Сергійовича 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.

Промислові підприємства постійно освоюють виробництво нових машинобудівних конструкцій, породжуючи проблемні ситуації при їх проектних дослідженнях.

Так, нещодавно у практиці різних галузей з’явилися складені тонкостінні машинобудівні конструкції, методики розрахунків яких або відсутні, або, як виявилось, дають значні похибки при аналізі напружено-деформованого стану та конструкційної міцності. Це створює проблемну ситуацію при обґрунтуванні проектних параметрів конструкцій, що досліджуються. Таким чином, це визначає актуальність теми роботи Атрошенка О.О. «Аналіз конструкційної міцності складених тонкостінних конструкцій з болтовим з’єднанням елементів», яка спрямована на розробку удосконалених методів аналізу конструкційної міцності складених тонкостінних конструкцій.

Такі конструкції є досить поширеними у машинобудуванні. Вони складаються з панелей різного профілю, які з’єднуються між собою болтовими та іншими кріпленнями. Як приклад можна навести: корпуси літаків, ракет, суден, металеві бункери, елеватори (силоси) тощо. Тонкостінні конструкції знаходяться під дією різнокомпонентних і циклічних

навантажень. З досвіду спеціалістів та практики проектування експлуатації подібного типу конструкцій спостерігається розбіжність між розрахунковими станами цих об'єктів й тими, що досягаються при експлуатації. Найбільш проблемними питаннями при цьому є точне моделювання вузлів з'єднання панелей за допомогою болтових кріплень. Крім того, необхідно враховувати додаткові чинники, які впливають на напружено-деформований стан та конструкційну міцність тонкостінних конструкцій.

В дисертаційній роботі Атрошенка О.О. значна увага приділяється дослідженню напружено-деформованому стану та конструкційної міцності складених тонкостінних металевих зерносховищ, панелі яких з'єднані болтовими кріпленням із зазором, з урахуванням особливостей тертя, наявності ущільнювальних елементів, гофрування, геометричної, структурної, фізичної нелінійностей.

Таким чином, здобувач визначив достатньо важливі аспекти проблеми дослідження міцності складених тонкостінних конструкцій, а саме моделювання та дослідження вузлів з'єднання тонкостінних елементів з урахуванням значущих чинників.

Це актуальне науково-практичне завдання становить значний науковий та практичний інтерес для машинобудування України в цілому і було розв'язане у дисертації Атрошенка О.О. При цьому необхідно відмітити внесок здобувача у теоретичну та практичну частини розв'язаної задачі.

Робота виконана у межах державних бюджетних тем, а також господарчих договорів з промисловими підприємствами України.

Обґрунтованість та достовірність положень, висновків та рекомендацій.

Обґрунтованість результатів дисертаційних досліджень базується на використанні апробованих методів досліджень в галузі прикладної теорії пружності, систем тривимірного геометричного параметричного

моделювання, методу скінченних різниць, методу скінченних елементів. Тривимірні геометричні та скінченно-елементні моделі створені у широко відомих програмних комплексах Pro/ENGINEER (Creo) та ANSYS, які успішно використовуються у багатьох компаніях світу не один рік.

Адекватність та точність побудованих моделей підтверджується порівнянням на кінцевому етапі досліджень з результатами експерименту. За результатами порівняння спостерігається висока збіжність результатів, що одержані із залученням числових моделей та експериментальним шляхом.

Отже, необхідно відзначити, що положення, висновки та рекомендації, що сформульовані у дисертаційній роботі Атрошенка О.О., є обґрунтованими достатньою мірою.

Достовірність теоретичних положень, висновків, розроблених методів підтверджується відповідністю між результатами числових й експериментальних досліджень та результатами, отриманими різними методами.

Наукова новизна одержаних результатів.

У роботі представлені досягнені здобувачем нові наукові результати. Вони полягають у запропонованому новому підході аналізу міцності тонкостінних конструкцій з болтовим з'єднанням елементів на основі нелінійних математичних моделей напружено-деформованого стану. Можна виокремити наступні окремі складові наукової новизни:

- розроблені методи та моделі досліджень, що відрізняються одночасним урахуванням геометричної, структурної та фізичної нелінійностей в системі полос з болтовим з'єднанням;

- на основі модифікації методу простої ітерації, що відрізняється введенням параметру прискорення ітераційного процесу, розроблено метод розв'язання систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, що виникають при дискретизації диференціальних рівнянь вигину при великих переміщеннях;

- проведені дослідження прогинів системи смуг, з'єднаних болтовим кріпленням, що відрізняються урахуванням значущих чинників: попереднього затягування, тертя, проковзування, урахування полімерної шайби, гофрування, зазору при симетричному багатоцикловому навантаженні, а також встановлено наявність петель гістерезиса, які викликані незворотною процесів за наявності тертя;

- для попереднього «експрес-аналізу» проектно-технологічних параметрів тонкостінних машинобудівних конструкцій із болтовим з'єднанням елементів розроблено новий програмний комплекс;

- розроблено новий підхід до аналізу напружено-деформованого стану масштабних просторових тонкостінних конструкцій із виділенням типового елемента, що забезпечує визначення концентрації напружень у вузлах болтових з'єднань тонкостінних елементів.

Таким чином, з точки зору наукової новизни робота, без сумніву, заслуговує позитивної оцінки.

Практичне значення роботи визначається тим, що розроблені алгоритми, моделі, які є потужним інструментом для дослідження складених тонкостінних конструкцій з болтовим з'єднанням елементів та розробки проектних рекомендацій для створення металевих зерносховищ з високими технічними характеристиками. Одним із результатів досліджень є рекомендації, на основі яких спроектовано нові металеві зерносховища на ПАТ „Карлівський машинобудівний завод”. Крім того, розроблені алгоритми, моделі, рекомендації придатні до використання у проектуванні широкого класу подібних тонкостінних конструкцій.

Публікації і апробація результатів роботи. Основні положення дисертації висвітлено у 16 друкованих працях, з яких 10 статей – у фахових виданнях України, (1 – у наукометричній базі), 1 – у закордонному періодичному фаховому виданні, 5 – у матеріалах конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел – 199 одиниць, 3 додатки. Повний

обсяг дисертації складає 202 сторінки. Автореферат відображає основні положення дисертації. Матеріал рукопису викладено російською мовою, автореферат – українською.

У **1-му розділі** розглянуто різні аналізи методів розрахунку складених тонкостінних конструкцій, а також методи моделювання болтових з'єднань тонкостінних елементів. Окреслені основні задачі роботи та намічені шляхи їх розв'язання. Обсяг тексту першого розділу не перевищує 20% загального обсягу основних розділів.

У **2-му розділі** описано теоретичні основи запропонованих підходів та удосконалені математичні моделі для розв'язання поставленої задачі. У першому наближенні елемент складеної тонкостінної конструкції розглянуто в стрижневій постановці для виявлення якісних особливостей поведінки під навантаженням. Запропонована процедура осереднення внутрішнього зусилля розтягування-стиснення за довжиною досліджуваної системи у випадку поздовжньо-поперечного вигину стержня. Для розв'язання нелінійної системи рівнянь запропоновано модифікований метод простої ітерації, в якому впроваджено параметр регулювання величини кроку на поточному ітераційному етапі, як у методах розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь типу верхньої або нижньої релаксації.

Запропоновані розробки представлені як елементи – єдиної структури досліджень при проектуванні складених тонкостінних машинобудівних конструкцій, яка поєднує дослідження окремих складових та всього об'єкту в цілому.

3-й розділ містить опис розробки математичних моделей напружено-деформованого стану складених тонкостінних конструкцій з урахуванням усіх значущих чинників на прикладі елементів металевих зерносовищ. Враховувалися: геометрична нелінійність, попереднє затягування болтового кріплення, контакт, зазор в болтовому кріпленні, тертя між контактуючими поверхнями, фізична нелінійність, які описувалися параметричними просторовими моделями. Проведено аналіз

результатів досліджень, сформульовані висновки і розроблені рекомендації із підвищення конструкційної міцності складених тонкостінних конструкцій.

У **розділі 4** запропоновано нові методики дослідження напружено-деформованого стану та конструкційної міцності складених тонкостінних конструкцій. Зокрема, проведено аналіз напружено-деформованого стану металевого бункера (силос) з урахуванням гофрування панелей, визначені розподіли прогинів і напружень, які носять нерівномірний характер. Доведено, що використання ортотропної моделі оболонки не відповідає розподілам компонент напружено-деформованого стану. Додатково проведено аналіз впливу болтового з'єднання на конструкційну міцність елементів тонкостінних конструкцій. Проведено аналіз напружено-деформованого стану елементів авіаконструкцій та елементів автотранспорту.

Розділ 5 містить опис двох етапів експериментальних досліджень напружено-деформованого стану елементів тонкостінних конструкцій (система смуг), виконаних на спеціально розробленому стенді. Експериментально визначено прогини системи смуг, з'єднаних болтовим кріпленням із зазором і застосуванням ущільнювальної шайби, при ступеневому та циклічному навантаженні. Підтверджено якісну та кількісну відповідність результатів числових і експериментальних досліджень.

Загалом обсяг та якість експериментального матеріалу в дисертації є однією із найбільш вагомих складових роботи. Разом із тим його можна було б викласти більш розгорнуто, тим більше, що рівень проведених досліджень це дозволяє.

Результати роботи упроваджено у ПАТ «Карлівський машинобудівний завод» (м. Карлівка, Полтавська обл.), отримано акти впровадження. Отже, додатково підтверджується пряма практична націленість роботи.

Висновки та рекомендації за результатами дисертаційних досліджень – обгрунтовані, чіткі та слідуєть зі змісту дисертації.

Дисертація в цілому викладена як завершене цілісне дослідження.

Зауваження до роботи:

1. Здобувач не враховує дію динамічних навантажень на конструкцію. При цьому відсутні пояснення або дослідження, які мотивують неврахування цього чинника.

2. Для тонкостінних великогабаритних конструкцій дуже часто виникають проблеми втрати стійкості. У роботі же цей аспект не розглядається, а також відсутня аргументація щодо цієї проблеми.

3. У роботі в основному розглядається система двох смуг, з'єднаних болтами, тоді як висновки та рекомендації розповсюджені на весь клас складених тонкостінних конструкцій.

4. Діапазон напружень, показаних у результатах (графіки, діаграми, таблиці) передбачає роботу матеріалів досліджуваних систем із пластичними деформаціями. Разом із тим про пластичні деформації мова у тексті дисертації не йде.

5. В дисертації неодноразово згадується багатоцикловий характер навантаження досліджуваних складених тонкостінних конструкцій, але в ході оцінки конструкційної міцності такий чинник належним чином не враховано.

6. У дисертації не описані крайові умови при розрахунку напружено-деформованого стану металоконструкції зерносховища, а також не враховується вітрові, снігові, а також інші навантаження.

7. У тексті роботи містяться багато однотипних рисунків, в силу чого можна було би безболісно скоротити їхню кількість, але навести узагальнені результати.

Проте відзначені недоліки та зауваження не зменшують загальної позитивної оцінки роботи, але можуть ініціювати продуктивну наукову дискусію у ході захисту дисертації.

У цілому дисертаційна робота є завершеною науковою дослідницькою кваліфікаційною працею, яка відповідає усім чинним вимогам. У цілому розглянута дисертаційна робота задовольняє вимогам п.п 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. № 567, а її автор, Атрошенко Олександр Олександрович, гідний наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент, головний науковий співробітник
відділу надійності та динамічної міцності
Інституту проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України,
доктор технічних наук, професор

Ю.С. Воробйов

Підпис засвідчую:

Вчений секретар Інституту проблем
машинобудування ім. А.М. Підгорного
НАН України, к.т.н.



Н.М. Курська