

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора В.З. Грищака на дисертаційну роботу Меднікової М.А.

«Вплив кругових отворів на напружено-деформований стан циліндричних оболонок скінченної довжини при крученні»,
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

1. Актуальність теми досліджень.

В дисертаційній роботі розглянута надзвичайно важлива і водночас досить складна з точки зору фізичного представлення і математичного моделювання проблема, яка безпосередньо пов'язана з забезпеченням несучої здатності оболонкових елементів конструкцій сучасного машинобудування, зокрема, ракетно-космічної і авіаційної техніки, інженерних споруд в будівництві, в хімічній, нафтогазовій та інших галузях, які знаходяться в екстремальних умовах зовнішнього навантаження.

Вплив технологічних отворів різної геометричної форми на напружено-деформований стан і характер руйнування тонкостінної пружної кругової циліндричної оболонки при зовнішньому навантаженні є однією з принципових задач, які виникають при проектуванні силових оболонкових конструкцій нової техніки. При цьому значні труднощі виникають при теоретичному аналізі впливу значних деформацій із застосування геометрично нелінійного підходу до вирішення проблеми дослідження, що добре відомо як науковій спільноті, так і особам, які мають справу з проектуванням новітніх конструкцій та апаратів.

Як показують дослідження, домінуючими являються локалізовані ефекти деформування тонкої оболонки в околі отворів при заданих видах зовнішнього навантаження, що потребує визначення коефіцієнтів концентрації напружень, візуалізації процесів деформування і практичних рекомендацій стосовно проектування силових конструкцій і систем оболонкового типу. Моделювання процесу деформування досліджуваних механічних систем цілком природно має базуватися на геометрично нелінійному аналізі поведінки оболонки, що включає в себе ряд послідовних етапів деформування впритул до руйнування.

Очевидно, що реалізація теоретичного аналізу і проведення віртуальних

випробувань суттєво нелінійних задач можлива лише з використанням потужних комп'ютерів і програмних комплексів (ПК), які базуються на сучасних теоріях оболонок обертання. В даний час однією з можливостей чисельного аналізу і візуалізації характеру напружено-деформованого стану циліндричних оболонок з круговими отворами є застосування методу скінченних елементів на базі програмного комплексу NASTRAN.

Не зважаючи на досить значну кількість теоретичних і експериментальних досліджень у вказаному напрямку, необхідно констатувати, що тема дисертаційної роботи, яка присвячена дослідженню напружено-деформованого стану неоднорідних оболонкових конструкцій при наявності отворів при дії кручення є **безумовно актуальною з точок зору розвитку механіки деформівного твердого тіла та практичного застосування результатів дослідження у відповідних галузях науки і техніки.**

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідної роботи Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне ім. М.К. Янгеля» за міжнародним контрактом «АКРК-2» і держбюджетної науково-дослідної теми Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України «Теоретико-експериментальні методи і алгоритми визначення несучої здатності неоднорідних структур з пошкодженнями» (№ ДР 0115U002386, 2017).

3. Зміст роботи. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі до дисертаційної роботи обговорено актуальність проблеми, з якою пов'язане наукове дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Зазначається, що метою роботи є дослідження напружено-деформованого стану ізотропних пружних тонкостінних циліндричних оболонок скінченних довжин, ослаблених круговим отвором при дії кручення; зазначаються

завдання дослідження, зокрема розробка ефективного підходу на базі скінченно-елементних моделей з урахуванням критеріїв оцінки достовірності чисельних результатів, визначення меж застосування моделі з «малими» отворами, ефекту геометричної нелінійності у постановці задачі дослідження, впливу геометричних характеристик оболонки з отворами на коефіцієнт концентрації напружень при крученні, застосування сучасних програмних комплексів для чисельного моделювання процесів деформування оболонок при істотно неоднорідному напружено-деформованому стані. Сформульовані предмет та методи дослідження, наукова новизна отриманих результатів, зазначається їх теоретичне та практичне значення. Відзначається особистий внесок автора та апробація дисертаційної роботи.

У першому розділі надано аналітичний огляд розвитку експериментальних та теоретичних базових досліджень у напрямку дисертаційної роботи. Особлива увага приділена аналізу сучасного стану досліджень напружено-деформованого стану пружних кругових циліндричних оболонок з отворами, зокрема проведених на базі методу скінченних елементів, описом існуючих уявлень фізичних процесів, пов'язаних із розподілом поля напружень і переміщень, дослідженнями збіжності отриманих результатів. Розділ з точки зору опонента має самостійне наукове значення, в результаті аналізу досліджень чітко сформульована проблема, з якої випливають мета і завдання дослідження.

Другий розділ присвячений опису запропонованого алгоритму вирішення задачі про напружено-деформований стан в тонких оболонках із застосуванням варіаційного підходу методу скінченних елементів у формі переміщень за допомогою метода Рітца на базі програмного пакету MSC/Nastran. Нелінійний статичний аналіз базується на ітераційному алгоритмі методу Ньютона-Рафсона з розкладанням нелінійної функції у ряд Тейлора і методу продовження по параметру довжини дуги, який автоматично вибирає крок по зовнішньому навантаженню. Особливістю запропонованого алгоритму є розробка індивідуальних скінченно-елементних сіток для кожної геометрії отвору і довжини оболонки. При цьому кожна з моделей відрізняється схемою розбиття на скінченні елементи та їх

кількістю з індивідуальним підбором параметрів ітераційного рішення. Для моделювання оболонок методом скінченних елементів використовувалися лінійні двовимірні чотирих- і трьох-вузлові елементи типу QUAD4 і STRIA3, для врахування граничних умов застосовано жорсткий елемент типу RBE2.

У *третьому розділі* надано чисельний лінійний аналіз напружено-деформованого стану оболонок з отворами. На базі запропонованих автором роботи припущень використання МСЕ-технології розрахунку геометрично лінійної задачі дозволило оцінити ефективність моделі А.І. Лур'є оболонок скінченної відносної довжини при широкому діапазоні зміни геометричних параметрів отвору, дослідити коефіцієнт концентрації напружень і сформулювати критерії достовірності результатів обчислення. Необхідно зазначити достатньо глибоке порівняння отриманих результатів з даними інших авторів. Завдяки отриманим результатами обчислень у широкому діапазоні геометричних характеристик досліджуваних оболонок сформульовано основний і додатковий методи контролю якості застосованих сіток, аналіз залежності коефіцієнта концентрації напружень від відносної довжини оболонки і визначення точності здобутих розв'язків. При цьому обговорюються нові механічні ефекти, виявлені у процесі дослідження, з візуалізацією полів напружень.

Розділ 4 присвячений дослідженню напружено-деформованого стану оболонок з круговими отворами у геометрично нелінійній постановці. Застосовано нелінійний МСЕ-аналіз для виявлення впливу нелінійних складових дослідження на величину і міграцію максимальних зон напружень. Надано аналіз впливу величини зовнішнього навантаження крутним моментом на рівень концентрації напружень з візуалізацією характеру розподілу напружень по поверхні оболонки з отворами при різних геометричних характеристиках оболонки та отворів. Особливої уваги заслуговує дослідження, яке пов'язане із формуванням тривимірних полів переміщень у процесі навантаження з наданням картини відносних прогинів контуру отвору і оболонки, розвитку окружних та осьових переміщень оболонок для різного параметру r/R .

4. Наукова новизна отриманих результатів полягає в нових якісних і кількісних даних чисельних експериментів, що стосуються поведінки розглянутих оболонок при наявності круглих отворів, а також в оцінці точності чисельного моделювання поведінки оболонок, які відрізняються істотно неоднорідним напружено-деформованим станом.

Ключовим моментом, на думку опонента, є наступне. Автору вдалося вперше виконати порівняльний чисельний аналіз на базі геометрично лінійного і нелінійного підходів напружено-деформованого стану оболонок скінченної довжини з круговими отворами при дії кручення, виявити нові ефекти впливу країв оболонки на ефект концентрації напружень, запропоновано алгоритм чисельної реалізації на базі методу скінченних елементів для заданого типу зовнішнього навантаження з візуалізацією досліджуваних процесів.

5. Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується коректною постановкою задач геометрично лінійного і нелінійного аналізу на базі програмного комплексу NASTRAN, відповідністю наведених в роботі результатів дослідження існуючим теоретичним і експериментальним даним і результатам інших авторів, фізичним уявленням досліджуваних процесів.

6. Практичне значення роботи полягає в актуальності використання запропонованого алгоритму дослідження напружено-деформованого стану циліндричних оболонок з круговими отворами при дії кручення при проектуванні конструкцій нової техніки із суттєвою неоднорідністю НДС, а також можливістю заміни досить дорогих фізичних випробувань реальних оболонкових систем віртуальним чисельним експериментом

7. Впровадження роботи. Результати дослідження безпосередньо використані на Державному підприємстві «Конструкторське бюро «Південне ім. М.К. Янгеля» при проектуванні ракети космічного призначення..

8. Публікації та апробація дисертаційної роботи.

Робота пройшла досить широку апробацію на міжнародних, національних і регіональних конференціях, симпозіумах і авторитетних наукових семінарах провідних фахових установ.

Основні результати дисертаційної роботи викладені у 13 друкованих наукових працях, серед яких 2 статті у виданнях, що входять до науко-метричних баз даних (SCOPUS, Index Copernicus), 3 статті у фахових видання на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук згідно переліку МОН України, 8 праць у матеріалах наукових міжнародних конференцій та тез доповідей.

9. Зауваження до роботи:

- 1) У висновках до дисертаційної роботи слід було б надати узагальнюючі рекомендації при проектуванні силових конструкцій з круговими отворами при дії кручення, зокрема щодо впливу крайових умов на напружено-деформований стан.*
- 2) На базі проведеного дослідження доцільно було б обговорити проблему взаємовпливу локальних і загальних характеристик деформування оболонок з круговими отворами при крученні.*
- 3) Надання інформації стосовно переваг програмного комплексу у порівнянні з іншими існуючими програмними комплексами надало б більшої впевненості щодо його застосування в практиці проектування нової техніки.*
- 4) Опис у додатках до роботи методики і запропонованих алгоритмів розрахунку за конкретною задачею сприяло би застосуванню результатів роботи у подальших дослідженнях.*

Необхідно зазначити, що наведені зауваження не впливають на загальну позитивну наукову оцінку дисертації. Дисертаційна робота є виконанням на сучасному рівні закінчених досліджень, що містить нові наукові і практично важливі результати.

10. Висновок

В цілому подана дисертаційна робота виконана на актуальну тему, є цілісною завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові наукові результати дослідження несучої здатності циліндричних оболонок при наявності отворів при дії кручення, що у сукупності є вагомим внеском у розвиток механіки деформованого твердого тіла, зокрема, механіки оболонкових конструкцій з технологічними отворами.

Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла (технічні науки).

Результати наведених в дисертації досліджень викладено у логічній формі і аргументовані. Сформульовані 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.

Вважаю, що за актуальністю теми, високим науковим рівнем виконаних досліджень, новизною, та прикладним значенням одержаних результатів дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор **Меднікова Маргарита Анатоліївна** заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент

Заслужений діяч науки і техніки України,

доктор технічних наук, професор,

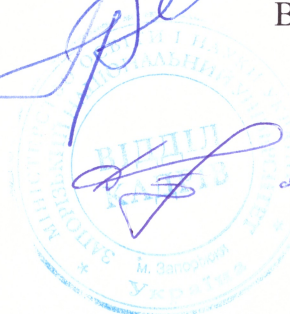
завідувач кафедри прикладної математики і механіки

Запорізького національного університету

В.З. Грищак

Підпис
засвідчую *В. З.*

НАЧАЛЬНИК
ВІДДІЛУ КАДРІВ

В. З. Грищак


М. М. Меднікова