

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Проректор з наукової роботи**  
**Дніпровського національного**  
**університету імені Олеся Гончара**  
**Олег МАРЕНКОВ**  
\_\_\_\_\_ **2024 р.**



### **ВИСНОВОК**

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації  
Терьохіна Богдана Ігоровича на тему «Концентрація напружень навколо отворів  
тонких пластин і циліндричних оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів»,  
представленої на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності  
113 Прикладна математика

### **ВИТЯГ**

з протоколу № 6 міжкафедрального семінару  
«Математичні проблеми механіки»  
Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара  
від 14 березня 2024 року

**ПРИСУТНІ: 13 з 14 членів наукового семінару.**

**ГОЛОВУЮЧИЙ:** д-р фіз.-мат. наук, проф. Лобода В. В. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), завідувач кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

**СЕКРЕТАР ЗАСІДАННЯ:** канд. фіз.-мат. наук, доц. Ходанен Т. В. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

**Члени наукового семінару:**

д-р фіз.-мат. наук, проф. Гарт Е. Л. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Гук Н. А. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), в. о. проректора з науково-педагогічної роботи, професор кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р техн. наук, проф. Дзюба А. П. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

д-р фіз.-мат. наук, проф. Кузьменко В. І. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Шевельова А. Є. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, с.н.с. Адлуцький В. Я. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), старший науковий співробітник НДІ механіки руйнування та пластичного деформування матеріалів кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Гергель І. Ю. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Комаров О. В. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Панін К. В. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Чернецький С. О. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук Дзюба П. А. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

**ЗАПРОШЕНІ ФАХІВЦІ (3 особи, з правом голосу):**

д-р фіз.-мат. наук, проф. Говоруха В. Б. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), завідувач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін Дніпровського державного аграрно-економічного університету;

д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Стеблянко П. О. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), провідний науковий співробітник відділу термопластичності Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України.

На засіданні присутні аспіранти кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки: асп. Коваленко, асп. Левченко М. С., асп. Семенча О. О., асп. Терьохін Б. І., асп. Шевельова Н. В.

**Аспіранти участі в голосуванні не брали.**

**Порядок денний:** розгляд і обговорення дисертаційної роботи Терьохіна Богдана Ігоровича на тему «Концентрація напружень навколо отворів тонких пластин і циліндричних оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів», поданої на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, протокол № 4 від 19 листопада 2020 р. Науковим керівником призначено д-ра фіз.-мат. наук, проф. Гарт Е. Л.

Тема дисертації уточнена на засіданні вченої ради механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, протокол №5 від 23 січня 2024 року у формулюванні «Концентрація напружень навколо отворів тонких пластин і циліндричних оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів».

Підготовка здобувача третього рівня вищої освіти здійснюється за акредитованою освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» зі спеціальності 113 Прикладна математика (сертифікат про акредитацію освітньої програми 2068, дійсний до 01.07.2027 р.).

#### **СЛУХАЛИ:**

Обговорення дисертації аспіранта 4 року навчання Терьохіна Богдана Ігоровича на тему: «Концентрація напружень навколо отворів тонких пластин і циліндричних оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів» на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Перевірку на плагіат здійснювала комісія у складі: канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Комаров О. В., канд. фіз.-мат. наук, доцентка кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Ходанен Т.В., канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Панін К. В.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на плагіат програмою «Strikeplagiarism» зроблено висновок: дисертаційна робота Терьохіна Б. І. має високий рівень унікальності (98,3 %) і може бути допущена до захисту.

Робота виконана на 143 сторінках і містить такі складові частини: анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, список використаної літератури, два додатки.

Слово надається аспіранту Терьохіну Б. І. Будь ласка, регламент виступу – 30 хвилин.

**Аспірант Терьохін Б. І.**

Шановний голову, шановні члени міжкафедрального семінару, шановні колеги!

**Тема моєї дисертації:** «Концентрація напружень навколо отворів тонких пластин і циліндричних оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів».

**Актуальність теми.**

В останні роки все частіше на практиці використовуються інноваційні функціонально-градієнтні матеріали (ФГМ), які характеризуються плавною просторовою зміною складу і властивостей. Градієнт властивостей дозволяє впливати на напружено-деформований стан (НДС) з метою підвищення міцності конструкцій. Особливість ФГМ робить їх корисними, зокрема, для зниження міжфазних напружень. Ці матеріали знаходять широке застосування в аерокосмічній, енергетичній, електронній, хімічній, оптичній і біомедичній інженерії та ін.

Актуальність дисертаційного дослідження полягає в вирішенні проблеми механіки деформівного твердого тіла стосовно знаходження шляхів зменшення концентрації напружень навколо отворів. У дисертації пропонується це робити за допомогою використання інноваційних ФГМ і підкріплювальних елементів (включень) в тонких пластинах і циліндричних оболонках з локальними концентраторами напружень. Дослідження у цьому напрямку представляють як теоретичний, так і практичний інтерес для багатьох сучасних галузей техніки, зокрема ракетно-космічної.

**Мета і завдання дослідження.**

*Мета роботи* полягає у встановленні раціональних механічних і геометричних параметрів радіально-неоднорідних включень навколо отворів у тонких пластинах і циліндричних оболонках, що надає змогу зменшити величину коефіцієнта концентрації напружень (ККН).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *завдання*:

- розробити математичні розрахункові моделі для визначення НДС пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з неоднорідностями у вигляді отворів і включень з урахуванням властивостей ФГМ;
- розробити методику визначення параметрів НДС структурно неоднорідних тіл з радіально-неоднорідними включеннями навколо отворів при пружному деформуванні на основі використання методу скінченних елементів;
- розробити обчислювальні алгоритми запропонованої методики числового моделювання процесів пружного деформування пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з отворами і ФГМ-включеннями;
- провести дослідження НДС пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з отворами і радіально-неоднорідними включеннями навколо них при варіюванні механічних і геометричних параметрів включень (різні модельні матеріали ФГМ-

включень, закони зміни їх модуля пружності, жорсткості та варіанти їх розмірів) з вивченням впливу включень на величину ККН;

- побудувати епюри і графіки розподілу інтенсивності напружень за шириною включень, виявити закономірності перерозподілу напружень і деформацій в елементах конструкцій за наявністю включень;

- здійснити порівняльний аналіз результатів числових розрахунків, отриманих у разі застосування ФГМ-включень та однорідних включень, а також з відомими аналітичними розв'язками в окремих випадках;

- виявити й дослідити загальні закономірності поведінки пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з круговими отворами за наявності навколо них радіально-неоднорідних включень; встановити раціональні з точки зору зменшення ККН механічні і геометричні параметри ФГМ-включень.

*Об'єкт дослідження* – напружено-деформований стан пружних тонких пластин і циліндричних оболонок з отворами і кільцевими включеннями із функціонально-градієнтних матеріалів.

*Предмет дослідження* – концентрація напружень в околі отворів неоднорідних тонких пластин і циліндричних оболонок з урахуванням впливу механічних властивостей і геометричних параметрів ФГМ-включень.

*Методи дослідження.* При виконанні дисертаційної роботи використовувались методи механіки деформівного твердого тіла і обчислювальної математики. Для побудови математичних моделей досліджуваних об'єктів застосовано варіаційні принципи механіки. Для знаходження числових розв'язків задач пружного деформування пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з отворами і ФГМ-включеннями застосовано метод скінченних елементів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в такому:

- запропоновано нові розрахункові моделі варіаційних задач визначення НДС структурно неоднорідних тіл з отворами і радіально-неоднорідними включеннями з урахуванням властивостей ФГМ;

- розроблено методика і обчислювальні алгоритми числового моделювання процесів пружного деформування пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з отворами і ФГМ-включеннями;

- вперше розв'язано задачу визначення НДС пластин і циліндричних оболонок з круговим (квадратним) отвором і радіально-неоднорідними включеннями навколо нього з нових модельних матеріалів;

- побудовано і досліджено розвиток і трансформацію зон перерозподілу інтенсивності напружень в залежності від параметрів ФГМ-включень. Вивчено вплив розмірів, жорсткості та закону зміни модуля пружності радіально-неоднорідних кільцевих включень на деформаційні процеси в матеріалі в околі концентраторів напружень;

– виявлено нові механічні ефекти на основі проведеного числового і комп'ютерного моделювання поведінки пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з круговими отворами і кільцевими ФГМ-включеннями з різними механічними і геометричними параметрами (різні закони зміни модуля пружності включень, жорсткості та варіанти їх розмірів) при їх пружному деформуванні;

– вперше на основі запропонованої методики досліджено вплив кільцевих ФГМ-включень з нових модельних матеріалів на концентрацію напружень в пластинчато-оболонкових елементах конструкцій з круговими отворами; встановлено їх раціональні параметри з точки зору зменшення величини ККН; здійснено порівняльний аналіз отриманих числових розв'язків для пластин і відповідних циліндричних оболонок з отворами і радіально-неоднорідними кільцевими включеннями.

– отримано розв'язки низки нових за постановкою задач пружного деформування тонких пластин і циліндричних оболонок з отворами і ФГМ-включеннями, здійснено ґрунтовний числовий аналіз результатів широкомасштабного обчислювального експерименту;

– встановлено нові механічні ефекти і закономірності при дослідженні стану тонких пластин і циліндричних оболонок з отворами і кільцевими ФГМ-включеннями в умовах пружного деформування, надано практичні рекомендації щодо застосування розроблених розрахункових моделей, алгоритмів і методики знаходження раціональних з точки зору зменшення ККН механічних і геометричних параметрів ФГМ-включень.

**Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів** забезпечується використанням загальноновизнаних положень, співвідношень та методів механіки деформівного твердого тіла; строгістю і коректністю математичних постановок задач у межах теорії пружності; використанням апробованих обчислювальних схем числових методів; апробацією розробленої методики на тестових задачах та узгодженістю одержаних розв'язків із відомими в літературі; відповідністю одержаних результатів фізичній суті процесів і явищ, що вивчаються.

#### **Теоретичне і практичне значення одержаних результатів**

Розроблені в дисертаційній роботі нові розрахункові моделі, алгоритми і методика знаходження раціональних з точки зору зменшення ККН механічних і геометричних параметрів ФГМ-включень в пластинчато-оболонкових елементах конструкцій з отворами мають як теоретичне, так і практичне значення. Вони можуть служити науково-методичною основою для перспективних розробок в механіці деформівного твердого тіла, надають змогу проводити дослідження актуальних задач механіки, які виникають в інженерній практиці при розрахунках міцності неоднорідних конструкцій з різноманітними концентраторами напружень. Одержані результати розв'язаних задач для пластинчато-оболонкових елементів конструкцій можуть безпосередньо використовуватися при прогнозуванні безпечної

роботи відповідних конструкцій в машинобудуванні, енергетиці, будівництві, аерокосмічній техніці тощо.

Одержані автором результати знайшли застосування в ДП КБ «Південне» (Довідка про впровадження, 2020 р., див. Додаток Б дисертаційної роботи) та впроваджено у навчальний процес Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара МОН України як методична розробка «Посібник до вивчення дисципліни «Прикладні обчислювальні технології» (Вид-во «Ліра», 2023 р.), що використовується при підготовці магістрів за спеціальністю 113 Прикладна математика, освітньо-професійна програма «Комп'ютерна механіка». (Рекомендовано вченою радою механіко-математичного факультету 21 листопада 2023 р., протокол № 3).

Запропонована в дисертаційній роботі методика зі зменшення концентрації напружень навколо отворів може бути застосована у науково-дослідних і проектно-конструкторських організаціях при проектуванні, розрахунку і оцінці міцності елементів конструкцій нової техніки, зокрема, ракетно-космічної.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми дисертації; окреслено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; сформульовано мету й задачі дослідження; відзначено наукову новизну, достовірність і практичне значення одержаних результатів; наведено відомості про апробацію результатів роботи, публікації та особистий внесок автора, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі проведено аналіз праць з визначення НДС пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з локальними концентраторами напружень. Розглянуто ключові аспекти та проблеми, пов'язані з розрахунком та зниженням концентрації напружень в неоднорідних пластинах і оболонках з отворами, у тому числі із функціонально-градієнтних матеріалів. Наведено наявні методи розв'язання цих задач, а також акцентовано увагу на перевагах застосування числових методів при розв'язанні складних практично важливих задач механіки деформівного твердого тіла. Розглянуто особливості використання функціонально-градієнтних матеріалів в пластинчато-оболонкових елементах конструкцій.

У другому розділі роботи наведено основні теоретичні відомості і співвідношення з теорії пластин і оболонок, основні положення методу скінченних елементів, розглянуто його застосування для аналізу НДС тонких неоднорідних пластин і циліндричних оболонок. Представлені основні рівняння НДС тонких радіально-неоднорідних пластин та наведено алгоритм розв'язання крайової задачі для них в аналітичному вигляді.

Розглянута варіаційна постановка задачі для тонкостінної пластини і циліндричної оболонки, наведено відповідні функціонали повної потенціальної енергії деформації системи. Запропоновано математичні моделі варіаційних задач для випадку використання функціонально-градієнтних матеріалів.

У третьому розділі дисертації запропоновано методику і обчислювальний алгоритм числового моделювання процесів пружного деформування тонких пластин з отворами і включеннями із функціонально-градієнтних матеріалів. За допомогою цієї методики здійснено комп'ютерне моделювання і числовий МСЕ-аналіз поведінки тонкої пружної прямокутної пластини з круговим отвором і радіально-неоднорідним кільцевим включенням. Досліджено вплив геометричних і механічних параметрів включення на концентрацію напружень навколо отвору за різних законів зміни модуля пружності функціонально-градієнтного матеріалу. Проведено порівняльний аналіз результатів для пластин з включеннями із функціонально-градієнтного матеріалу та з однорідними включеннями. Встановлено, що за наявності включень із певними механічними властивостями стає можливим впливати не лише на величину коефіцієнта концентрації напружень у пластині поблизу локальних концентраторів напружень, але й на розподіл напружень по ширині включення. Знайдені раціональні параметри включень в пластині, які дають змогу отримати механічний ефект в околі концентратора напружень: зменшити і напруження, і деформації.

Верифікацію одержаних результатів проведено для окремих випадків з відомими аналітичними розв'язками.

У четвертому розділі на основі запропонованої числової методики здійснено комп'ютерне моделювання та скінченноелементний аналіз НДС тонкостінних циліндричних оболонок, ослаблених круговим отвором за наявності оточуючого його радіально-неоднорідного кільцевого включення. Досліджено вплив розмірів включення із функціонально-градієнтного матеріалу та закону зміни його модуля пружності на концентрацію параметрів НДС оболонок в околі отвору. Отримано розподіл інтенсивностей напружень і деформацій в зонах локальної концентрації напружень. Здійснено порівняльний аналіз одержаних результатів для циліндричних оболонок із відповідними даними для пластин. Встановлено, що за використання радіально-неоднорідного включення із функціонально-градієнтного матеріалу з певними механічними властивостями і геометричними характеристиками можна впливати на коефіцієнт концентрації напружень в пластині й оболонці як з круговим, так і з прямокутним отворами.

Знайдено раціональні параметри включень (їх розмір і закон зміни модуля пружності), які дають змогу зменшити коефіцієнт концентрації напружень в пластині й оболонці більш ніж на 56%. При цьому має місце механічний ефект в околі концентратора напружень: спостерігається зменшення величини інтенсивності як напружень, так і деформацій.

За результатами досліджень зроблені наступні **ВИСНОВКИ**:

Проведене комп'ютерне моделювання і широкомасштабні обчислювальні експерименти за допомогою методу скінченних елементів дали змогу здійснити аналіз впливу кільцевого включення із ФГМ на концентрацію напружень навколо кругового отвору в тонких пластинах і циліндричних оболонках та проаналізувати



можливість застосування ФГМ-включень для зменшення величини коефіцієнта концентрації напружень в оболонкових конструкціях з гострокутними отворами. Одержано нові наукові результати, а саме:

- 1) запропоновано нові розрахункові моделі варіаційних задач визначення НДС структурно неоднорідних тіл з отворами і радіально-неоднорідними включеннями з урахуванням властивостей ФГМ;
- 2) розроблено методику і обчислювальні алгоритми числового моделювання процесів пружного деформування пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з отворами і ФГМ-включеннями;
- 3) вперше розв'язано задачу визначення НДС пластин і циліндричних оболонок з круговим (квадратним) отвором і радіально-неоднорідними включеннями навколо нього з нових модельних матеріалів;
- 4) побудовано і досліджено розвиток і трансформацію зон перерозподілу інтенсивності напружень в залежності від параметрів ФГМ-включень. Вивчено вплив розмірів, жорсткості та закону зміни модуля пружності радіально-неоднорідних кільцевих включень на деформаційні процеси в матеріалі в околі концентраторів напружень;
- 5) виявлено нові механічні ефекти на основі проведеного числового і комп'ютерного моделювання поведінки пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з круговими отворами і кільцевими ФГМ-включеннями з різними механічними і геометричними параметрами (різні закони зміни модуля пружності включень, жорсткості та варіанти їх розмірів) при їх пружному деформуванні;
- 6) вперше на основі запропонованої методики досліджено вплив кільцевих ФГМ-включень з нових модельних матеріалів на концентрацію напружень в пластинчато-оболонкових елементах конструкцій з круговими отворами; встановлено їх раціональні параметри з точки зору зменшення величини ККН; здійснено порівняльний аналіз отриманих числових розв'язків для пластин і відповідних циліндричних оболонок з отворами і радіально-неоднорідними кільцевими включеннями.
- 7) отримано розв'язки низки нових за постановкою задач пружного деформування тонких пластин і циліндричних оболонок з отворами і ФГМ-включеннями, здійснено ґрунтовний числовий аналіз результатів широкомасштабного обчислювального експерименту;
- 8) встановлено нові механічні ефекти і закономірності при дослідженні стану тонких пластин і циліндричних оболонок з отворами і кільцевими ФГМ-включеннями в умовах пружного деформування, надано практичні рекомендації щодо застосування розроблених розрахункових моделей, алгоритмів і методики знаходження раціональних з точки зору зменшення ККН механічних і геометричних параметрів ФГМ-включень.

## **ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ**

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Лобода В. В., завідувач кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

На чому базується обґрунтованість одержаних Вами результатів?

**Терьохін Б. І.:**

Одержані в дисертації результати обґрунтовуються застосуванням загально-визнаних положень, співвідношень та методів механіки деформівного твердого тіла. Ми строго дотримувалися математичних постановок задач в рамках теорії пружності і використовували апробовані обчислювальні схеми числових методів. Також була проведена апробація розробленої методики на тестових задачах та показана добра узгодженість одержаних розв'язків із відомими в літературі. Відповідність одержаних результатів фізичній суті процесів і явищ, що вивчаються, також підкреслюють їх обґрунтованість.

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Лобода В. В., завідувач кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Ви отримали ефект зменшення величини коефіцієнта концентрації напружень на 56%. Це граничне значення, або можна ще більше знизити концентрацію?

**Терьохін Б. І.:**

Для розглянутих в дисертації параметрів пластин і оболонок це найкращий результат, який було отримано. Я вважаю, що ще більше знизити концентрацію суттєво не вдасться, тому що було отримано ККН в пластині 1,33, а це означає, що концентрація майже зникла.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Ходанен Т. В., доцентка кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Як Ви вважаєте, чи можна застосувати запропоновані Вами розрахункові моделі для пластин і оболонок за наявності в них не отворів, а тріщин? Наскільки ускладниться методика розрахунку?

**Терьохін Б. І.:**

Я вважаю, що в такому вигляді, в якому представлені розрахункові моделі, – ні, оскільки для цього потрібно ще використовувати механіку руйнування. Але вважаю, що можна спробувати розширити та адаптувати запропоновані розрахун-

кові моделі для дослідження НДС пластин і оболонок з тріщинами. Це для майбутніх досліджень.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Ходанен Т. В., доцентка кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Які Ви знайшли раціональні параметри? Для пластин і оболонок ці параметри відрізняються? Як Ви можете це пояснити?

**Терьохін Б. І.**

Раціональними параметрами є закон зміни модуля пружності ФГМ-включення та розмір включення (його ширина). Для пластин і оболонок вид закону зміни модуля пружності однаковий, а також однаковий розмір включення. Відрізняються лише відносна жорсткість включень та розмір кожної з зон ФГМ-включення. Як для пластин, так і для оболонок знайдені раціональні параметри дають змогу отримати майже однаковий виграш в зменшенні величини ККН (більше ніж на 53%).

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Ходанен Т. В., доцентка кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Які механічні ефекти вдалося спостерігати?

**Терьохін Б. І.**

Для однорідних «м'яких» включень був ефект зменшення ККН та збільшення ККД (коефіцієнта концентрації деформацій). Для «жорстких» включень був отриманий протилежний ефект. Для деяких випадків включень із функціонально-градієнтних матеріалів були виявлені аналогічні закономірності. Але вдалося знайти та запропонувати в дисертаційній роботі такий закон зміни модуля пружності ФГМ-включення, який дозволив отримати новий механічний ефект: зменшення як максимальних напружень, так і деформацій.

**Д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П., заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:**

Які конкретні матеріали Ви використовували в оболонках і пластинах?

**Терьохін Б. І.**

В роботі ми розглядали модельні матеріали з певними механічними властивостями, варіювали величину «жорсткості» включення. Тобто задавали закон зміни модуля пружності матеріалу за радіальним напрямком, а також різну величину

максимального значення модуля пружності для моделювання механічних властивостей ФГМ-включення.

**Д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П., заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:**

До яких матеріалів можна застосувати Ваші розробки? Можете навести приклади функціонально-градієнтних матеріалів?

**Терьохін Б. І.:**

Одержані результати можна застосувати до функціонально-градієнтних матеріалів, які можна виготовити з запропонованим законом зміни модуля пружності. Наприклад, є експериментальне дослідження, в якому виготовили пластини із функціонально-градієнтних матеріалів на 3D принтері із фото-полімерних смол.

**Д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П., заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:**

Ви оперуєте поняттями «м'які» та «жорсткі» включення. За якими критеріями визначаються «м'які» та «жорсткі» включення?

**Терьохін Б. І.:**

Це умовне позначення. Тобто, ми вважали включення «м'якими», якщо модуль пружності включення менший, ніж модуль пружності в пластині та оболонці, а «жорсткими» – навпаки. В дисертаційній роботі введено поняття «відносна жорсткість включення» як відношення модуля пружності включення до модуля пружності пластини або оболонки. Якщо це відношення більше одиниці, то включення вважаємо «жорстким», якщо менше одиниці, то «м'яким».

**Д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П., заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:**

А якщо дорівнює?

**Терьохін Б. І.:**

Тоді матеріал включення такий же, як і в пластині або оболонці, але ми такі випадки не розглядали.

**Д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П., заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:**

Чи проводили Ви оцінку міцності пластини та оболонки при використанні включень із функціонально-градієнтних матеріалів? Як параметри включень впливають на міцність?

**Терьохін Б. І.**

У роботі розрахунки на міцність не проводилися. Досліджувався тільки напружено-деформований стан пластин і оболонок з отворами. Але це дослідження може стати підґрунтям для подальших досліджень, зокрема, оцінки міцності.

**Д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П., заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:**

Ви використовували стандартний пакет чи авторську програму?

**Терьохін Б. І.**

При проведенні дисертаційних досліджень мною використовувався стандартний пакет скінченноелементного аналізу.

**Д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П., заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:**

Які практичні рекомендації Вами надано для ефективного застосування включень?

**Терьохін Б. І.**

У роботі запропонована загальна методика застосування ФГМ-включень, але є й конкретні вказівки. Дослідження проведено для пластин і оболонок з конкретними розмірами і конкретними параметрами включень (варіювалась ширина включень і механічні властивості функціонально-градієнтних матеріалів). Виявлені при числових розрахунках закономірності для конкретних випадків вдалося узагальнити і отримати загальну методику.

Проведені в дисертації дослідження показали, що застосування ФГМ-включень дуже ефективно при вирішенні питання зниження концентрації напружень. У роботі надано конкретні рекомендації, як отримати раціональні параметри включень і які саме параметри ФГМ-включень слід вважати раціональними.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Чернецький С. О., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Скажіть, будь ласка, які скінченні елементи Ви використовували?

**Терьохін Б. І.:**

У роботі як для пластин, так і для оболонок ми використовували плоскі трикутні шестивузлові скінченні елементи з квадратичним поліномом для апроксимації переміщень у межах скінченного елемента.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Чернецький С. О., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Що відбувається на межі включення з пластиною або оболонкою? Яку кількість скінченних елементів Ви використовуєте?

**Терьохін Б. І.:**

При розрахунку пластин, кількість скінченних елементів була приблизно 2000. Для отримання більшої точності використовувалась адаптивна сітка.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Чернецький С. О., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Скажіть, будь ласка, Ви порівнювали результати розрахунків при використанні різних розмірів сітки?

**Терьохін Б. І.:**

Так, була досліджена практична збіжність результатів. Ми робили розрахунки на одній сітці, потім розмір сітки зменшували приблизно на 30%, отримували новий розрахунок, і потім порівнювали ці результати. Якщо відмінність була до 5%, то ми вважали, що розв'язок знайдено із задовільною точністю.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Чернецький С. О., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

А Ви  $\sigma_r$  на межі двох зон досліджували? Там не було стрибків?

**Терьохін Б. І.:**

Так, це питання у дисертаційній роботі досліджено. Побудовано графіки розподілу напружень за шириною пластини та поверхнею оболонки. Стрибків напружень на стику не було, оскільки ми підбирали такі закони зміни модуля пружності включення, щоб на границі включення з матрицею стрибків напружень не було. Запропоновані у роботі види закону зміни модуля пружності включення із функціонально-градієнтних матеріалів дозволяють це забезпечити.

**Д-р техн. наук, проф. Дзюба А. П., професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Кожний скінченний елемент має розмір і механічні властивості матеріалу. Якщо це функціонально-градієнтний матеріал, то які властивості усередині кожного скінченного елемента, а особливо у вузлі, що знаходиться на стику між декількома сусідніми скінченними елементами з різними механічними характеристиками?

**Терьохін Б. І.:**

Скінченноелементний пакет – це як «чорний ящик», і ми не можемо впливати на розрахунки, які відбуваються всередині цього пакету. Але дослідження проводилися у припущенні, що у кожному скінченному елементі механічні властивості постійні, а у вузлах бралися усереднені властивості скінченних елементів із спільною вершиною.

**Д-р техн. наук, проф. Дзюба А. П., професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Чи можете Ви дати якісь рекомендації, щоб знизити концентрацію напружень і деформацій біля отворів?

**Терьохін Б. І.:**

При наявності отворів в пластинах і оболонках концентрація напружень виникає біля отворів. І знизити цю концентрацію можна за рахунок використання ФГМ-включень з певним законом зміни модуля пружності. Основна ідея запропонованого в дисертації закону зміни модуля пружності в тому, що біля отвору та на стику матеріалів модуль пружності такий самий, як і в самій пластині або оболонці. А середню частину ФГМ-включення робимо більш «жорсткою». Розмір включення теж впливає на зменшення величини коефіцієнта концентрації напружень, хоча для запропонованого закону при різних розмірах включення, все одно є ефект зменшення і напружень, і деформацій.

**Д-р техн. наук, проф. Дзюба А. П., професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Чи можливо виготовити матеріал з такими механічними властивостями?

**Терьохін Б. І.:**

Так, я думаю, що це можливо. І вже є експериментальні дослідження, коли функціонально-градієнтні матеріали виготовляють, а потім досліджують їх механічні властивості. В моїй дисертаційній роботі запропонований новий закон зміни модуля пружності ФГМ-включення, але з огляду на дослідження, які вже існують, я вважаю, що виготовити такі матеріали можливо.

**Канд. техн. наук Дзюба П. А., доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Я почув, що Ви робили огляд експериментальних досліджень за цією тематикою. Чи пробували Ви порівнювати Ваші результати з експериментальними даними?

**Терьохін Б. І.:**

У даній роботі порівняння з експериментальними даними проводилось опосередковано. Тобто, було проведено порівняння результатів для деяких тестових задач, які мають аналітичний розв'язок. Для цих розв'язків вже було проведено порівняння із експериментальними даними.

**Канд. техн. наук Дзюба П. А., доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

А взагалі, чи можна провести такий експеримент і порівняти емпіричні дані з Вашими? Наскільки це складно, і чи не думали Ви таке зробити?

**Терьохін Б. І.:**

Так, я цікавився цим питанням, звісно, хотілося б ще провести експеримент, щоб підтвердити одержані дані. Виготовити зразки функціонально-градієнтних матеріалів можна на 3D-принтері за допомогою багатоматеріального друку. Саме так виготовляли пластини із функціонально-градієнтних матеріалів в експериментальному дослідженні китайський вчених. Вони змішали фотополімерні смоли в різних пропорціях, отримали шість матеріалів, експериментально дослідили, знайшли їхні модулі пружності. І потім надрукували із цих матеріалів дві радіально-неоднорідні пластини. А далі проводився експеримент із розтягування пластин, і було показано, що експериментальні дані добре узгоджуються з аналітичними.



Але такий принтер коштує близько 100 000 у.о. Звісно, якщо з'явиться можливість, то мені було б цікаво провести такий експеримент.

**Канд. техн. наук Дзюба П. А., доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

В дослідженнях Ви розглядаєте тонкостінні конструкції з одним отвором. А якщо там буде декілька отворів, яким чином реалізувати запропонований Вами алгоритм для завдання радіально-неоднорідних включень? Чи буде він працювати?

**Терьохін Б. І.:**

Я вважаю, що цей алгоритм буде працювати і у випадку декількох отворів і включень, але, можливо, знадобиться деяке доопрацювання алгоритму, оскільки це більш складна задача, в якій треба більш ретельно підбирати розмір основної та адаптивної сітки, а також досліджувати збіжність.

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Шевельова А. Є., професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Які гіпотези для пластин і оболонок Ви використовуєте при побудові математичних моделей задач?

**Терьохін Б. І.:**

При розв'язанні задач визначення напружено-деформованого стану пластин застосовано теорію тонких пластин, а для циліндричних оболонок застосовано геометрично лінійну теорію тонких оболонок на основі моделі Кірхгофа – Лява. У дослідженні використовувалась безмоментна теорія оболонок. Використовуються такі гіпотези: гіпотеза прямої нормалі, гіпотеза про ненатискання шарів оболонки.

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Шевельова А. Є., професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Чому у роботі Ви віддасте перевагу варіаційній постановці задач?

**Терьохін Б. І.:**

Якщо розглядати задачу у варіаційній постановці, то в математичній моделі присутня друга похідна. А якби ця задача розглядалась у диференціальній постановці, то там була би четверта похідна, і допустимі функції переміщень

повинні бути неперервними разом зі своїми похідними до 4-го порядку. Таким чином, в даному випадку більш доцільно використовувати варіаційну постановку.

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Шевельова А. Є., професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Як вирішується питання достовірності отриманих результатів?

**Терьохін Б. І.:**

У роботі була досліджена практична збіжність результатів, тобто були здійснені розрахунки на одній скінченноелементній сітці, потім розмір сітки зменшувався і проводився новий розрахунок, далі проводилось порівняння. Якщо результат порівняння був задовільний, розв'язок вважався знайденим. Також верифікація результатів здійснена для окремих випадків, відомих в літературі.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Панін К. В., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Ви розглядаєте звичайний трикутний скінченний елемент, а потім в роботі Ви використовуєте інший скінченний елемент. Чому?

**Терьохін Б. І.:**

При розрахунках у роботі використовувались плоскі трикутні шестивузлові скінченні елементи. Для шестивузлових скінченних елементів схема виведення розрахункових формул є аналогічною, як це зроблено для елемента, представленого на слайді. Формули для шестивузлових елементів більш громіздкі, ніж для трьохвузлових елементів, тому на слайдах наведено трьохвузловий скінченний елемент.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Панін К. В., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Чому при розрахунках Ви змінюєте тільки  $E$  і не змінюєте  $\nu$ ?

**Терьохін Б. І.:**

Як було показано в роботі китайських вчених, та за результатами проведених нами розрахунків, зміна  $\nu$  несуттєво впливає на величину коефіцієнта концентрації напружень, тому ми досліджували тільки вплив модуля пружності.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Панін К. В., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Як Ви реалізували зміну  $E(r)$ ?

**Терьохін Б. І.:**

Прямої можливості задавати зміну модуля пружності за об'ємом в пакеті, яким я користувався, немає. Але я знайшов опосередковану можливість, як це можна реалізувати. Це авторська методика.

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Панін К. В., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Я знаю декілька робіт, в яких використовуються градієнтні скінченні елементи, і було показано, що вони краще працюють для таких матеріалів. Ви не використовували такі скінченні елементи?

**Терьохін Б. І.:**

Такі елементи я не використовував, тому що в пакеті, яким я користувався для проведення своїх досліджень, такої можливості немає. Але із тими елементами, які були використані в роботі, вдалося отримати задовільну точність результатів розрахунків.

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Стеблянко П. О., провідний науковий співробітник відділу термопластичності Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України:**

Чи можливо у Вашій методиці враховувати пластичні деформації?

**Терьохін Б. І.:**

У роботі всі задачі розглядалися в межах теорії пружності, і запропонована методика не розрахована на врахування пластичних деформацій. Так, як і в стандартному пакеті МСЕ-аналізу. У пакеті, який мною використовувався, не було модулів для врахування пластичності. Але вважаю, що запропонована методика може бути розвинена у подальшому для врахування пластичних деформацій при застосуванні теорії пластичності. Для цього, вважаю, потрібні дві речі: 1) отримання додаткових експериментальних даних стосовно властивостей функціонально-

градієнтних матеріалів, з'ясування для них границі текучості; 2) розширені можливості пакету.

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Стебляк П. О., провідний науковий співробітник відділу термопластичності Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України:**

У Вас на плакаті наведені раціональні параметри включень, а саме, механічні та геометричні. Що мається на увазі під геометричними параметрами включень? Товщина включень така ж, як і в пластині та оболонці?

**Терьохін Б. І.:**

Геометричні параметри включень – це розмір включення, тобто його ширина і товщина, а також розмір (ширина) кожної із зон ФГМ-включення відповідно запропонованого закону зміни його модуля пружності. Товщина включень була така ж, як і в пластині та оболонці, а ширина включення і розмір його зон варіювались.

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Кузьменко В. І., професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Мене цікавить, які якісні ефекти дало використання функціонально-градієнтних матеріалів у порівнянні з класичними матеріалами?

**Терьохін Б. І.:**

Найкращий механічний ефект, який вдалося отримати – це зменшення і напружень, і деформацій навколо отворів. Причому це одержано при застосуванні «жорстких» включень. При використанні однорідних матеріалів для включень такого ефекту не відбувається.

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Кузьменко В. І., професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Яким чином Ви враховували підвищення коефіцієнта концентрації напружень при побудові сітки?

**Терьохін Б. І.:**

Ми використовували згущення сітки в околі отворів. На слайді наведено фрагмент адаптивної скінченноелементної сітки, де це продемонстровано. Згущення сітки для кругових і прямокутних отворів є різним. Прямокутні отвори потребують

використання подрібнення з більшим коефіцієнтом, ніж це необхідно для кругових, щоб отримати результати із задовільною точністю.

**Головуючий, д-р фіз.-мат. наук, проф. Лобода В. В., завідувач кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Запитань більше немає. Переходимо до обговорення дисертаційної роботи. Слово має науковий керівник.

### **ВИСТУП НАУКОВОГО КЕРІВНИКА:**

Добрий день, шановні члени семінару, шановні присутні!

Насамперед, дозвольте подякувати вам, що прийняли запрошення та змогли знайти час та можливість взяти участь у роботі семінару! Дякую за запитання здобувачу, для нього це, вважаю, піде на користь і допоможе надалі при підготовці до захисту.

Мною, як науковим керівником здобувача Богдана Терьохіна, підготовлено ВИСНОВОК за встановленою формою про його роботу, як аспіранта кафедри, при виконанні ним індивідуального навчального плану. Мій офіційний висновок з оцінкою роботи аспіранта 4 року навчання Терьохіна Богдана Ігоровича подано до відділу аспірантури та головуєчому на засіданні сьогоднішнього міжкафедрального наукового семінару. З вашого дозволу, зачитувати повністю свій ВИСНОВОК я не буду, а зупинюсь на деяких моментах характеристики здобувача.

Богдан Терьохін є випускником спочатку бакалаврата, а потім магістратури нашої кафедри. Закінчив він навчання в магістратурі в 2020 р. і отримав диплом з відзнакою. Того ж року вступив до очної аспірантури ДНУ.

Свій інтерес до наукових досліджень здобувач виявив ще бакалавром, наша з ним наукова співпраця почалася ще, коли Богдан був на третьому курсі. Вже тоді я помітила потенціал цього талановитого і працьовитого хлопця.

Що особливо мені імponує у ньому, як *особистості*, – це висока вимогливість, передусім до себе, і ставлення до виконання будь-якої справи, як то кажуть «на межі можливостей», тобто досконало, якісно, скрупульозно, коли немає дрібниць. Це велика рідкість.

Як у молодому вченому, в Богдані Терьохіні, мені імponує його сміливість у формулюванні наукових ідей, його наполегливість і творчий підхід до розв'язання наукових задач, прагнення дістатися істини, сутності досліджуваного процесу чи явища. Це якості справжнього дослідника.

Також слід відзначити такі якості здобувача як чуйність, готовність прийти на допомогу, щедро ділитися набутими знаннями. Він допомагає кафедрі в профорієнтаційній роботі (створив власний YouTube-канал кафедри, змонтував профорієнтаційний відеоролик з рекламою нової освітньої програми зі спеціальності

131 Прикладна механіка), допомагає іншим аспірантам подолати труднощі, які у них виникають. Це дуже цінна якість людини як особистості.

На сьогоднішній день здобутками Богдана Терьохіна, які можуть слугувати своєрідною візитівкою нашого Університету, вважаю:

*По-перше*, отриманий ним Диплом 1 ступеня у Всеукраїнському конкурсі наукових студентських робіт.

*По-друге*, Довідка про впровадження наукових результатів у розрахункову практику КБ «Південне» ім. Я.М. Янгеля.

*По-третє*, навчальний посібник до вивчення дисципліни «Прикладні обчислювальні технології», рекомендований до друку вченою радою механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол № 3 від 21 листопада 2023 року), в якому здобувач є співавтором.

Тобто це яскраве свідчення про практичне значення отриманих здобувачем результатів.

Вважаю, що такі випускники аспірантури, як Богдан Терьохін, є гордістю нашого Університету. Вони є гідною зміною, і потрібно створювати умови для того, щоб такі добре підготовлені кваліфіковані кадри з кращими людськими якостями залишалися в Університеті.

За період навчання в аспірантурі за темою дисертації асп. Терьохіним Б. І. опубліковано 21 наукову працю, з них 6 статей: 2 статті у провідних міжнародних журналах, що входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 4 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б. Апробацію одержаних наукових результатів дисертаційного дослідження проведено на 15 міжнародних наукових конференціях: опубліковано 3 тези та 12 статей, що увійшли у матеріали конференцій. Асп. Терьохін Б. І.: має сертифікати участі у роботі 6 міжнародних наукових конференцій. Є співавтором опублікованого 1 навчального посібника.

Крім того, за матеріалами дисертації асп. Терьохіним Б. І. підготовлено ще **дві статті**, які вже пройшли дуже суворе незалежне рецензування та прийняті до друку в авторитетних фахових виданнях України категорії А: у журналах «Математичні методи та фізико-механічні поля» та «Прикладна механіка». На виході із друку розділ колективної монографії англійською мовою видання Springer.

На жаль, за інструкціями, на сьогоднішній день ми не можемо включити ці роботи, поки що вони не мають DOI.

Звертаюсь до членів семінару з клопотанням про можливість долучити ці статті до дисертації, якщо вони вийдуть з друку до засідання вченої ради університету з розгляду питання про утворення разової ради.

Отже, як науковий керівник я задоволена роботою здобувача. Дисертація є самостійно виконаною науковою працею на актуальну тему, отримані здобувачем результати є новими, мають теоретичне й практичне значення у галузі механіки деформівного твердого тіла. Робота як за змістом, так і за оформленням, вважаю,

виконана якісно, на високому науковому рівні, в кращих традиціях наукової школи чл.-кор. НАН України, проф. Гудрамовича Вадима Сергійовича.

Автор роботи, Терьохін Богдан Ігорович, за всіма набутими компетентностями, на мою думку, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика. Вважаю, що робота може бути рекомендована до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді. Сподіваюсь на підтримку учасників нашого наукового семінару.

Дякую за увагу!

### **В ОБГОВОРЕННІ ДИСЕРТАЦІЇ ТЕРЬОХІНА Б. І. ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:**

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Ходанен Т. В., доцентка кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Шановні колеги!

Я мала змогу ознайомилася з дисертацією Богдана Терьохіна, яка представлена ним з метою присудження ступеня доктора філософії. Можу підтвердити виконання необхідних умов для подання дисертації до розгляду на міжкафедральному семінарі з подальшою рекомендацією її до захисту.

По-перше, дисертація дійсно оформлена дуже ретельно, з дотриманням правил, викладених у наказі МОН України. Сьогодні не всі молоді дослідники звертають на це увагу, проте в цій роботі відчувається позитивний вплив наукового керівника в цьому плані. Робота добре структурована, має багато ілюстрацій власних числових розрахунків автора.

По-друге, основні результати дисертації повною мірою опубліковані у фахових виданнях, зокрема у 2 статтях у виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science. Загальна кількість публікацій – більше 20, це надзвичайно великий доробок автора!

По-третє, матеріали дисертації апробовано на багатьох наукових конференціях, що також можна вважати її позитивною рисою.

По-четверте, робота має дуже високий відсоток унікальності, отримані результати є новими.

Мені особисто сподобався і виступ дисертанта, і його відповіді на запитання, які свідчать як про самостійність виконання роботи, так і про ґрунтовність його теоретичної підготовки зі спеціальності 113 Прикладна математика. Вважаю, що є всі підстави підтримати роботу Богдана Терьохіна та рекомендувати її до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Дякую за увагу!

**Канд. фіз.-мат. наук, доц. Чернецький С. О., доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Робота дуже складна, виконана на доброму рівні. Виконано багато розрахунків. Вважаю, що Богдан Ігорович талановитий молодий вчений. Але я не розумію до чого в роботі наведено звичайний трикутний скінченний елемент. Це на роботу ніяк не впливає, але я вважаю, що це потрібно виправити. А науковий доробок дуже добрий.

**Д-р техн. наук, проф. Пошивалов В. П., заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:**

Я за декілька днів ознайомився з дисертаційною роботою. Вона є кваліфікаційною та відповідає минулим вимогам до кандидатських дисертацій, і теперішнім до докторів філософії. Все обґрунтовано. Публікації добрі. Тому я пропоную, щоб цю роботу висунули на захист.

**Д-р техн. наук, проф. Дзюба А. П., професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Робота виконана на тому рівні, на якому достатньо, щоб в недалекому минулому захистити кандидатську дисертацію перед великою радою. Тема роботи не тільки актуальна, але й сучасна. Що стосується думки про виправлення теоретичної частини, то я цю думку не підтримаю. У роботі наведено класичне поняття скінченного елемента, яке є ілюстративним і мені здається, що нічого переробляти не треба. Розрахункова схема, яка наведена в роботі – правильна. Формальні показники виконані і навіть перевиконані. Зауважень щодо перебування здобувача в аспірантурі немає. Я вважаю, що у нас є всі підстави для того, щоб клопотати про створення разової ради та рекомендувати роботу для захисту. Дякую за увагу!

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Шевельова А. Є., професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Я підтримаю роботу і її автора. Якщо поглянути на сьогоднішній семінар, робота справляє приємне враження: ґрунтовна, цікава, викликала таке жваве і ґрунтовне обговорення, що теж показує, що робота написана на актуальну тему і викликає інтерес. Із відповідей здобувача на запитання видно, що він є зрілим фахівцем в галузі прикладної математики, вільно володіє матеріалом і фаховою термінологією, набув необхідних компетентностей для можливості претендувати на отримання ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна



математика». Тому вважаю, що Терьохін Богдан Ігорович представив завершене наукове дослідження, яке виконано методично грамотно, на високому рівні, має як теоретичне, так і практичне значення. І тому я рекомендую представлену дисертацію до захисту в разовій спеціалізованій раді. Дякую за увагу!

**Д-р фіз.-мат. наук, проф. Стеблянко П. О., провідний науковий співробітник відділу термопластичності Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України, :**

Я почув багато відповідей на запитання, які я сам хотів поставити. З відповідей видно, що Богдан Ігорович повністю сформований фахівець, який добре володіє матеріалом. Вважаю, що представлена кваліфікаційна робота актуальна та цікава, виконана на високому рівні. Тому я її підтримаю та рекомендую до захисту.

**Головуючий, д-р фіз.-мат. наук, проф. Лобода В. В., завідувач кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Робота мені сподобалась. Тут є і актуальність, і складні задачі, і дуже акуратний підхід до розв'язування цих задач. Високий рівень публікацій, який рідко можна зустріти. Вважаю, що Богдан Ігорович набув необхідних компетентностей і думаю, що ми не помилились, якщо підтримаємо висунення цієї роботи до захисту на разовій спеціалізованій раді.

## ВИСНОВОК

**Актуальність теми дисертації.** В останні роки все частіше на практиці використовуються функціонально-градієнтні матеріали (ФГМ), які характеризуються плавною просторовою зміною складу і властивостей. Градієнт властивостей дає змогу впливати на напружено-деформований стан (НДС) елементів конструкцій. Вказана особливість ФГМ робить їх корисними, у тому числі, для зниження міжфазних напружень. Ці матеріали знаходять широке застосування в різних галузях техніки і промисловості. Використання ФГМ відкриває нові перспективи для створення матеріалів з унікальними комбінаціями характеристик, що, в свою чергу, дозволяє розширювати горизонти у розробці та вдосконаленні тонкостінних конструкцій. *Актуальність дослідження* полягає у вирішенні проблеми механіки деформівного твердого тіла, що пов'язана зі знаходженням способів зменшення концентрації напружень навколо отворів пластинчато-оболонкових елементів конструкцій для запобігання передчасного початку руйнівних процесів, що можуть бути ініційовані певними умовами експлуатації конструкції. У дисертації запропоновано підхід до розв'язання цієї проблеми за рахунок використання

функціонально-градієнтних матеріалів і підкріплювальних елементів (включень) в тонкостінних конструкціях з локальними концентраторами напружень. Дослідження у цьому напрямку представляють як теоретичний, так і практичний інтерес для багатьох сучасних галузей техніки, зокрема ракетно-космічної.

**Затвердження теми та плану дисертації.** Тема дисертації затверджена вченою радою Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара 19 листопада 2020 р., протокол № 4. Науковим керівником призначено д-р фіз.-мат. наук, проф. Гарт Е. Л.

Тема дисертації уточнена вченою радою механіко-математичного факультету 23 січня 2024 року, протокол №5 у формулюванні «Концентрація напружень навколо отворів тонких пластин і циліндричних оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів».

Підготовка здобувача третього рівня вищої освіти здійснюється за акредитованою освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» зі спеціальності 113 Прикладна математика (сертифікат про акредитацію освітньої програми 2068, дійсний до 01.07.2027 р.).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з індивідуальним планом підготовки аспіранта кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Дослідження за темою дисертації здійснювалися також в проблемній науково-дослідній лабораторії міцності і надійності конструкцій кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара в рамках держбюджетних тем 1-645-19 «Оптимізація та дослідження поведінки неоднорідних структур з урахуванням появи мікродефектів, тріщиноутворень та отворів», номер державної реєстрації № 0119U100642, 2019–2021 рр. та 1-657-21 «Розробка методів прогнозування несучої здатності елементів конструкцій ракетної техніки без використання руйнуючих випробувань і вибір їх раціональних параметрів», номер державної реєстрації № 0121U109768, 2021–2023 рр.

**Публікації та особистий внесок здобувача.** За темою дисертації опубліковано 21 наукова праця, з них 6 статей: 2 статті у провідних міжнародних журналах, що входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 4 статі у наукових фахових виданнях України категорії Б згідно переліку, встановленому МОН України, 15 матеріалів міжнародних наукових конференцій і тез доповідей, 1 навчальний посібник. Усі основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно. Визначення загального плану досліджень належить науковому керівнику проф. Е. Л. Гарт. У працях, написаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у побудові математичних моделей задач, запропонованій методиці й алгоритмі числової реалізації їх розв'язування, безпосередній участі у виконанні всіх етапів робіт: комп'ютерне моделювання, проведення обчислювальних експериментів,

інтерпретація результатів, обговорення і формулювання висновків. Публікації Терьохіна Б.І. відповідають вимогам пп. 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів забезпечується використанням загальноновизнаних положень, співвідношень та методів механіки деформівного твердого тіла; строгістю і коректністю математичних постановок задач у межах теорії пружності; використанням апробованих обчислювальних схем числових методів; апробацією розробленої методики на тестових задачах та узгодженістю одержаних розв'язків із відомими в літературі; відповідністю одержаних результатів фізичній суті процесів і явищ, що вивчаються.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- 1) запропоновано нові розрахункові моделі варіаційних задач визначення НДС структурно неоднорідних тіл з отворами і радіально-неоднорідними включеннями з урахуванням властивостей ФГМ;
- 2) розроблено методику і обчислювальні алгоритми числового моделювання процесів пружного деформування пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з отворами і ФГМ-включеннями;
- 3) вперше розв'язано задачу визначення НДС пластин і циліндричних оболонок з круговим (квадратним) отвором і радіально-неоднорідними включеннями навколо нього з нових модельних матеріалів;
- 4) побудовано і досліджено розвиток і трансформацію зон перерозподілу інтенсивності напружень в залежності від параметрів ФГМ-включень. Вивчено вплив розмірів, жорсткості та закону зміни модуля пружності радіально-неоднорідних кільцевих включень на деформаційні процеси в матеріалі в околі концентраторів напружень;
- 5) виявлено нові механічні ефекти на основі проведеного числового і комп'ютерного моделювання поведінки пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з круговими отворами і кільцевими ФГМ-включеннями з різними механічними і геометричними параметрами (різні закони зміни модуля пружності включень, жорсткості та варіанти їх розмірів) при їх пружному деформуванні;
- 6) вперше на основі запропонованої методики досліджено вплив кільцевих ФГМ-включень з нових модельних матеріалів на концентрацію напружень в пластинчато-оболонкових елементах конструкцій з круговими отворами; встановлено їх раціональні параметри з точки зору зменшення величини ККН;

здійснено порівняльний аналіз отриманих числових розв'язків для пластин і відповідних циліндричних оболонок з отворами і радіально-неоднорідними кільцевими включеннями;

- 7) отримано розв'язки низки нових за постановкою задач пружного деформування тонких пластин і циліндричних оболонок з отворами і ФГМ-включеннями, здійснено ґрунтовний числовий аналіз результатів широко-масштабного обчислювального експерименту;
- 8) встановлено нові механічні ефекти і закономірності при дослідженні стану тонких пластин і циліндричних оболонок з отворами і кільцевими ФГМ-включеннями в умовах пружного деформування, надано практичні рекомендації щодо застосування розроблених розрахункових моделей, алгоритмів і методики знаходження раціональних з точки зору зменшення ККН механічних і геометричних параметрів ФГМ-включень.

**Практичне значення результатів дослідження.** Розроблені в дисертаційній роботі нові розрахункові моделі, алгоритми і методика знаходження раціональних з точки зору зменшення коефіцієнта концентрації напружень механічних і геометричних параметрів ФГМ-включень в пластинчато-оболонкових елементах конструкцій з отворами мають як теоретичне, так і практичне значення. Вони можуть служити науково-методичною основою для перспективних розробок в механіці деформівного твердого тіла, надають змогу проводити дослідження актуальних задач механіки, які виникають в інженерній практиці при розрахунках міцності неоднорідних конструкцій з різноманітними концентраторами напружень. Одержані результати розв'язаних задач для пластинчато-оболонкових елементів конструкцій можуть безпосередньо використовуватися при прогнозуванні безпечної роботи відповідних конструкцій в машинобудуванні, енергетиці, будівництві, аерокосмічній техніці тощо.

### **Список опублікованих праць за темою дисертації**

#### *Статті у наукових фахових виданнях України*

1. *Гарт Е. Л., Терьохін Б. І.* Вибір раціональних параметрів підкріплюючих елементів при комп'ютерному моделюванні поведінки циліндричної оболонки з двома прямокутними отворами // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. – Дніпро: Ліра, 2019. – Вип. 30. – С. 19–32. <https://doi.org/10.15421/4219024> (фахове видання).

2. *Терьохін Б. І., Гарт Е. Л.* Скінченноелементний аналіз напружено-деформованого стану пластини з круговим отвором і включенням із функціонально-градієнтного матеріалу // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. – Дніпро: Ліра, 2021. – Вип. 33. – С. 156–170. <https://doi.org/10.15421/4221014> (фахове видання, категорія Б).

3. Гарт Е. Л., Гудрамович В. С., Терьохін Б. І. Вплив включення із функціонально-градієнтного матеріалу на концентрацію напружень в тонких пластинах та циліндричних оболонках з круговим отвором // Технічна механіка. – 2022. – № 4. – С. 67–78. <https://doi.org/10.15407/itm2022.04.067> (фахове видання, категорія Б).

4. Гарт Е. Л., Терьохін Б. І. Комп'ютерне моделювання впливу кільцевого включення із функціонально-градієнтного матеріалу на концентрацію напружень навколо кругового отвору у тонких пластин і циліндричних оболонках // Допов. Нац. акад. наук України. – 2023. – № 2. – С. 37–46. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2023.02.037> (фахове видання, категорія Б).

*Статті у наукових виданнях,  
які входять до міжнародних наукометричних баз даних*

5. Hart E. L., Terokhin B. I. Computer simulation of the stress-strain state of the plate with circular hole and functionally graded inclusion // Journal of Optimization, Differential Equations and their Applications. – 2021. – Vol. 29, Iss. 1. – P. 42–53. <https://doi.org/10.15421/142103> (Scopus).

6. Hart E. L., Terokhin B. I. Computer simulation of the stress-strain state of thin plates and cylindrical shells with a circular hole reinforced by an inclusion from functionally graded material // Strength of materials and theory of structures. – Kyiv: KNUBA, 2023. – Iss. 110. – P. 63–80. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.63-80> (Web of Science).

*Матеріали конференцій*

7. Гарт Е. Л., Терьохін Б. І., Семенча О. О., Петров І. І. Числовий аналіз взаємовпливу двох кругових та видовжених еліптичних отворів пружної пластини в залежності від заданих крайових умов // Математичні проблеми технічної механіки – 2018: Матеріали Міжнародної наукової конференції (16–19 квітня 2018 р.). – Кам'янське, Дніпро: Дніпровський держ. техн. ун-т, 2018. – С. 39.

8. Гарт Е. Л., Терьохін Б. І., Семенча О. О. Вплив форми, розмірів та розташування деконцентраторів напружень на напружено-деформований стан пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з отворами // Математичні проблеми технічної механіки та прикладної математики – 2019: Матеріали Міжнародної наукової конференції (15–18 квітня 2019 р.). – Дніпро, Кам'янське: Дніпровський держ. техн. ун-т, 2019. – С. 43–44.

9. Гарт Е. Л., Терьохін Б. І. Вибір параметрів підкріплюючих елементів для циліндричної оболонки з прямокутним отвором // Математичні проблеми технічної механіки та прикладної математики – 2019: Матеріали Міжнародної наукової конференції (2–5 грудня 2019 р.). – Частина 2. – Дніпро, Кам'янське, 2019. – С. 29–31. [http://biblio.umsf.dp.ua/jspui/bitstream/12345678\\_9/4208/1/МПТМ\\_ПМ\\_2019.pdf](http://biblio.umsf.dp.ua/jspui/bitstream/12345678_9/4208/1/МПТМ_ПМ_2019.pdf)

10. Гарт Е. Л., Терьохін Б. І. Концентрація напружень в однорідній пластині з круговим отвором, підкріпленим включенням із функціонально-градієнтного

матеріалу // Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні ІТММ'2021: Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (16–18 березня 2021 р., Дніпро). – Дніпро: НМетАУ, 2021. – С. 110–115. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.013>

11. *Гарт Е. Л., Терьохін Б. І.* Вплив включення із функціонально-градієнтного матеріалу на напружено-деформований стан однорідної пластини з круговим отвором // Математичні проблеми технічної механіки – 2021: Матеріали Міжнародної наукової конференції (13–16 квітня 2021 р.). – Том 1. – Дніпро, Кам'янське, 2021. – С. 34–37. [http://www.dstu.dp.ua/uni/downloads/maket\\_zbirnik\\_mater\\_conf\\_mptm2021.pdf](http://www.dstu.dp.ua/uni/downloads/maket_zbirnik_mater_conf_mptm2021.pdf)

12. *Hart E., Terokhin B.* Influence of inclusion from functional-gradient material on stress concentration factor in a homogeneous plate with a circular hole // Science and practice: implementation to modern society: Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference (April 18–19, 2021). Manchester, Great Britain: Peal Press Ltd, 2021. P. 866–872. <https://interconf.top/documents/2021.04.18-19.pdf>

13. *Гарт Е. Л., Семенча О. О., Терьохін Б. І.* Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану пружної трапецієвидної пластини з прямокутним отвором // Results of modern scientific research and development: Proceedings of VIII International Scientific and Practical Conference (October 17–19, 2021). – Madrid, Spain. – P. 179–186. <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/10/RESULTS-OF-MODERN-SCIENTIFIC-RESEARCH-AND-DEVELOPMENT-17-19.10.21.pdf>

14. *Гарт Е. Л., Терьохін Б. І.* Моделювання впливу включення із функціонально-градієнтного матеріалу на концентрацію напружень в пластині з круговим отвором // Implementation of Modern Science in Practice: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference (November 29–December 01, 2021, San Francisco, USA). – P. 456–459. <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/11/IMPLEMENTATION%20OF%20MODERN%20SCIENCE%20IN%20PRACTICE.pdf>

15. *Гарт Е. Л., Терьохін Б. І.* Вплив включення із функціонально-градієнтного матеріалу на концентрацію напружень навколо кругового отвору в циліндричній оболонці // Modern Science: Innovations and Prospects: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference (May 29–31, 2022, Stockholm, Sweden). – SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2022. – P. 301–306. <https://sci-conf.com.ua/ix-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-modern-science-innovations-and-prospects-29-31-maya-2022-goda-stokgolm-shvetsiya-arhiv/>

16. *Гарт Е. Л., Терьохін Б. І.* Про концентрацію напружень в тонких пластинах та циліндричних оболонках з круговим отвором, підкріпленням включенням із функціонально-градієнтного матеріалу // Інноваційні технології, моделі управління кібербезпекою ІТМК-2022: Матеріали Міжнародної наукової конференції (12–14 грудня, 2022, Київ, Україна). – Т. 2. – Київ, 2022. – С. 27–29. [https://drive.google.com/file/d/1GnZe\\_jMADiC0j\\_9BbVa6tyAbTAZ\\_waN1oI/view](https://drive.google.com/file/d/1GnZe_jMADiC0j_9BbVa6tyAbTAZ_waN1oI/view)

17. *Гарт Е. Л., Терьохін Б. І.* Числовий аналіз поведінки пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з круговими отворами за наявності радіально-неоднорідних

включень // Математичні проблеми технічної механіки – 2023: Матеріали Міжнародної наукової конференції (18–20 квітня 2023 р.). – Том 1. – Київ, Дніпро, 2023. – С. 66–67. <https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/materiali%20conf/%D0%9C%D0%9F%D0%A2%D0%9C-2023.pdf>

18. Гарт Е. Л., Терьохін Б. І. Про раціональні параметри кільцевих включень із функціонально-градієнтного матеріалу при комп'ютерному моделюванні поведінки пластинчато-оболонкових елементів конструкцій з отворами // Сучасні проблеми механіки та математики – 2023: Матеріали Міжнародної наукової конференції (23 – 25 травня 2023 р.). – Львів: ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України, 2023. – С. 273–274. [http://iapmm.lviv.ua/mpmm2023/materials/mm07\\_21.pdf](http://iapmm.lviv.ua/mpmm2023/materials/mm07_21.pdf)

#### *Тези доповідей*

19. Hart E., Semencha O., Terokhin B. Influence of inclusions around a rectangular hole on the stress concentration factor in a trapezoidal plate // EJONS: Book of Abstract of the 13th International Conference on Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences (October 26-27, 2021). – Cappadocia, Turkey. – P. 154–155. <https://ad6a8388-4205-4213-85bd-af6ef6e6fa58.filesusr.com/ugd/614b1fbef6925b211f4ec38036433972f07d3d.pdf>

20. Hart E., Terokhin B. Numerical analysis of the behavior of plate-shell structural elements with circular holes the presence of radial inhomogeneous inclusions // Innovative Technologies, Models Cyber Security Management ITCSSM-2023: Book of Abstracts of the International Scientific Conference (April 18–20, 2023). Part 1. – Dnipro, Ukraine, 2023. – P. 6. <https://drive.google.com/file/d/1JOUlhpHdfKCnLhwGo1dMd5PXBn1o5Nas/view?pli=1>

21. Гудрамович В. С., Гарт Е. Л., Терьохін Б. І. Числове моделювання впливу радіально-неоднорідних включень навколо отворів на напружено-деформований стан пластинчато-оболонкових елементів конструкцій ракетно-космічної техніки / Актуальні проблеми механіки: Тези доповідей на Міжнародній науковій конференції (до 145-річчя від дня народження С.П. Тимошенка, 14–16 листопада 2023 р.). – Київ, Ін-т механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, 2023. – С. 261–262. [https://inmech.kyiv.ua/doc/news/2023/actual\\_problems\\_of\\_mechanics/abstracts.pdf](https://inmech.kyiv.ua/doc/news/2023/actual_problems_of_mechanics/abstracts.pdf)

#### *Навчальні посібники*

22. Гарт Е. Л., Семенча О. О., Терьохін Б. І. Посібник до вивчення дисципліни «Прикладні обчислювальні технології». – Дніпро: Ліра, 2023. – 92 с. (Рекомендовано до друку вченою радою механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, протокол № 3 від 21 листопада 2023 року).

**На підставі заслуховування та обговорення доповіді Терьохіна Б. І. про основні положення дисертаційної роботи, питань та відповідей на них**

**УХВАЛИЛИ:**

1. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів дисертація Терьохіна Богдана Ігоровича на тему «Концентрація напружень навколо отворів тонких пластин і циліндричних оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів» відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

2. Рекомендувати дисертаційну роботу Терьохіна Богдана Ігоровича на тему «Концентрація напружень навколо отворів тонких пластин і циліндричних оболонок із функціонально-градієнтних матеріалів» до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

3. Клопотати перед вченою радою університету розглянути питання про створення спеціалізованої вченої ради для проведення разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика Терьохіна Богдана Ігоровича у такому складі:

№ /п	Прізвище, ім'я, по батькові	Місце основної роботи, підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності, за якою захищена дисертація, рік присудження	Вчене звання (за спеціальністю, кафедрою), рік присвоєння	Наукові публікації, опубліковані за останні п'ять років, за науковим напрямом, за яким підготовлено дисертацію здобувача
1	2	3	4	5	6
1.	Дзюба Анатолій Петрович (голова)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки	доктор технічних наук 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла 2004 р., Україна	професор кафедри обчислювальної механіки і міцності конструкцій, 2006 р., Україна	1. Dzyuba A.P., Sirenko V.N. Algorithmization of the determination of physicomachanical characteristics of the material of multilayer composite shells of revolution varying along the meridian // Journal of Mathematical Sciences. – 2022. – Vol. 263. – P. 93–103. DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/s10958-022-05909-6">https://doi.org/10.1007/s10958-022-05909-6</a> (Scopus). 2. Dzyuba A.P., Dzyuba P.A. Experimental studies of the stability of cylindrical shells damaged by randomly located circular holes // International Applied Mechanics. – 2023. – Vol. 59, No. 2. – P. 218–224.



1	2	3	4	5	6
					<p><a href="https://doi.org/10.1007/s10778-023-01214-0">https://doi.org/10.1007/s10778-023-01214-0</a> (Scopus).</p> <p>3. Дзюба А.П., Пацюк А.Г. Експериментальне моделювання процесу виникнення тріщини на контурі отвору з включенням // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. – 2021. – Вип. 33. – С. 55–65. DOI: <a href="https://doi.org/10.15421/4221005">https://doi.org/10.15421/4221005</a> (фахове видання, категорія Б).</p> <p>4. Пацюк А.Г., Дзюба А.П., Дзюба О.А. Дослідження залежності температури поверхні матеріалу в зоні концентратора напружень від швидкості навантаження в зразках із полікарбонату // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 2022. – Вип. 35. – С. 64–72. DOI: <a href="https://doi.org/10.15421/422216">https://doi.org/10.15421/422216</a> (фахове видання, категорія Б).</p>
2.	Пошивалов Володимир Павлович (опонент)	Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України, заступник директора з наукової роботи, завідувач відділу міцності і надійності механічних систем	доктор технічних наук, 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла, 1993 р., Україна	професор за спеціальністю «Динаміка і міцність машин», 1999 р., Україна	<p>1. Пошивалов В.П., Данієв Ю.Ф., Резниченко Л.В., Телегіна І.І. Про забезпечення надійності об'єктів ракетно-космічної техніки на етапі проектування// Технічна механіка. – 2020. – № 1. – С. 67–75. DOI: <a href="https://doi.org/10.15407/itm2020.01.067">https://doi.org/10.15407/itm2020.01.067</a> (фахове видання, категорія Б).</p> <p>2. Леднянський О.Ф., Бісик С.П., Санін А.Ф., Пошивалов В.П. Визначення придатності пористих пресовок з алюмінію та алюмінієвих сплавів для використання в якості ударопоглинаючих елементів // Технічна механіка. – 2020. – №4. – С.109–116. DOI: <a href="https://doi.org/10.15407/itm2020.04.109">https://doi.org/10.15407/itm2020.04.109</a> (фахове видання, категорія Б).</p> <p>3. Пошивалов В. П. Ймовірнісна модель довготривалої міцності конструкційних матеріалів на основі кінетичної теорії // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій:</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>зб. наук. праць. – Дніпро: Ліра, 2022. – Вип. 35. – С. 73 – 83. DOI: <a href="https://doi.org/10.15421/4222217">https://doi.org/10.15421/4222217</a> (фахове видання, категорія Б).</p> <p>4. Пошивалов В. П., Данієв Ю. Ф. Надійність і безпека стартових комплексів ракет-носіїв // Технічна механіка. – 2023. – № 2. – С. 13–20. DOI: <a href="https://doi.org/10.15407/itm2023.02.013">https://doi.org/10.15407/itm2023.02.013</a> (фахове видання, категорія Б).</p>
3.	Стеблянко Павло Олексійович (опонент)	Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України, відділ термопластичності, провідний науковий співробітник	доктор фізико-математичних наук 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла 1996 р., Україна	професор кафедри вищої математики, 1999 р., Україна	<p>1. Steblyanko P., Chernyakov Y., Petrov A., Loboda V. Phenomenological Model of Pseudo-Elastic-Plastic Material Under Nonstationary Combining Loading // Structural Integrity. Theoretical, Applied and Experimental Mechanics, SpringerVerlag. – 2019. – Vol. 8. – P. 205–208. DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-21894-2_39">https://doi.org/10.1007/978-3-030-21894-2_39</a> (Scopus, Q3).</p> <p>2. Steblyanko P., Demichev K., Petrov A. Behaviour Modelling of Pseudo-Elastic-Plastic Material at Non-Stationary Loading // Metallofiz. Noveishie Tekhnol. – 2021. – Vol. 43, No. 1. – P. 107–128. DOI: <a href="https://doi.org/10.15407/mfint.43.01.0107">https://doi.org/10.15407/mfint.43.01.0107</a> (Scopus, Q3).</p> <p>3. Steblyanko P., Domichev K., Petrov O. Bending of a plate from a functionally heterogeneous material in the presence of large deformations // Strength of materials and theory of structures: Scientific-and-technical collected articles. – Kyiv: KNUBA, 2023. – Iss. 110. P. 447-456. DOI: <a href="https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.447-456">https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.447-456</a> (Web of Science)</p> <p>4. Стеблянко П.О., Петров О.П. Нелінійна модель поведінки псевдо-пружно-пластичних сплавів // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. – Дніпро: Ліра, 2023. – Вип. 36. – С. 127–141. DOI:</p>

1	2	3	4	5	6
					<a href="https://doi.org/10.15421/4223111">https://doi.org/10.15421/4223111</a> <b>(фахове видання, категорія Б)</b>
4.	Шевельова Алла Євгенівна (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики	доктор фізико-математичних наук, 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла, 2016 р., Україна	професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики, 2018 р., Україна	<p>1. Loboda V., Shevelova N., Khodanen T., Lapusta Y. An interaction of electrically conductive and electrically permeable collinear cracks in the interface of piezoelectric materials // Archive of Applied Mechanics. – 2022. – Vol. 92 (5). – P. 1465–1480. DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/s00419-022-02123-3">https://doi.org/10.1007/s00419-022-02123-3</a> (<b>Scopus, Web of Science Core Collection, Q2</b>).</p> <p>2. Loboda V., Sheveleva A., Chapelle F., Lapusta Y. A dielectric breakdown model for an electrode along an interface between two piezoelectric materials // Engineering Fracture Mechanics. – 2020. – Vol. 224. – P. 1–14. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106809">https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106809</a> (<b>Scopus</b>)</p> <p>3. Lapusta Y., Sheveleva A., Chapelle F., Loboda V. A dielectric breakdown model for an interface crack in a piezoelectric bimaterial // Journal of Mechanics of Materials and Structures. – 2020. – Vol. 15, iss. 1. – P. 87–105. DOI: <a href="https://doi.org/10.2140/jomms.2020.15.87">https://doi.org/10.2140/jomms.2020.15.87</a> (<b>Scopus</b>)</p> <p>4. Govorukha, V., Sheveleva, A., Kamlah, M.A. Crack along a part of an interface electrode in a piezoelectric bimaterial under anti-plane mechanical and in-plane electric loadings. – Acta Mech. – 2019. – P. 1999–2012. DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/s00707-019-2364-y">https://doi.org/10.1007/s00707-019-2364-y</a> (<b>Scopus</b>)</p>
5.	Ходанен Тетяна Володимирівна (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України,	кандидат фізико-математичних наук 01.02.04 – механіка деформівного тіла, 2009 р.,	доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки, 2015 р., Україна	1. Шевельова Н.В., Ходанен Т.В. Система колінеарних електрично та магнітно проникних тріщин між двома п'єзоелектромагнітними матеріалами // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія фіз.-мат. науки. – 2023. – Вип. 2.

1	2	3	4	5	6
		доцент кафедри теоретичної та комп'ютер- ної механіки	Україна		<p>– С. 164–167. DOI: <a href="https://doi.org/10.17721/1812-5409.2023/2">https://doi.org/10.17721/1812-5409.2023/2</a> URL : <a href="https://bphm.knu.ua/index.php/bphm/issue/view/77/76">https://bphm.knu.ua/index.php/bphm/issue/view/77/76</a> (фахове видання, категорія Б, Scopus).</p> <p>2. Щербак Р.О., Шевельова А.Є., Ходанен Т.В. Використання методів машинного навчання для прогнозування довговічності елементів конструкцій // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. – Д.: Ліра, 2022. Вип. 35. – С. 84–94. DOI: <a href="https://doi.org/10.15421/4222218">https://doi.org/10.15421/4222218</a> (фахове видання, категорія Б).</p> <p>3. Loboda V., Shevelova N., Khodaneni T., Lapusta Y. An interaction of electrically conductive and electrically permeable collinear cracks in the interface of piezoelectric materials // Archive of Applied Mechanics. – 2022. – Vol. 92 (5). – P. 1465–1480. DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/s00419-022-02123-3">https://doi.org/10.1007/s00419-022-02123-3</a> (Scopus, Web of Science Core Collection, Q2).</p> <p>4. Shevelova N., Khodaneni T., Chapelle F., Lapusta Y, Loboda V. A set of collinear electrically charged interfacial cracks in magneto-electroelastic bimaterial // Acta Mech. – 2023. – Vol. 234. – P. 4899–4915. DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/s00707-023-03642-y">https://doi.org/10.1007/s00707-023-03642-y</a> (Scopus, Web of Science Core Collection, Q2).</p>

**Результати голосування:**

«За» – 15 осіб ,

«Проти» – немає,

«Утримались» – 1 особа.

Головуючий



Володимир ЛОБОДА

Секретар



Тетяна ХОДАНЕН