

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
Жушмана Владислава Вікторовича на тему «Математичне та комп'ютерне
моделювання контактної взаємодії тіл складної форми», представленої на здобуття
ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика

ВИТЯГ

з протоколу №3 засідання міжкафедрального семінару при постійнодіючому
семінарі «Актуальні питання оптимізації та дискретної математики»
при Науковій раді НАН України з проблеми «Кібернетика»
факультету прикладної математики
Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара
від «10» травня 2024 року

ПРИСУТНІ: 36 з 36 членів наукового семінару.

ГОЛОВА НАУКОВОГО СЕМІНАРУ : член-кореспондент НАН України, д-р
фіз.-мат. наук, проф. Кісельова О.М. (01.05.01 – теоретичні основи інформатики та
кібернетики), в.о.декана факультету прикладної математики, професорка кафедри
обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського
національного університету імені Олеся Гончара;

СЕКРЕТАР ЗАСІДАННЯ: канд. фіз.-мат. наук, доц. Кузенков О.О. (01.05.02 –
математичне моделювання та обчислювальні методи) доцент кафедри обчислювальної
математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара.

ЧЛЕНИ НАУКОВОГО СЕМІНАРУ: д-р фіз.-мат. наук, проф. Гук Н. А.
(01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), в. о. проректора з науково-
педагогічної роботи, професорка кафедри комп'ютерних технологій 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), професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Гарт Л.Л. (01.05.01 – теоретичні основи інформатики та кібернетики), професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р техн. наук, проф. Байбуз О.Г. (05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту), завідувач кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Турчина В.А. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), завідувачка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Зайцева Т.А. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), завідувачка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Волошко В.Л. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Білозьоров В.Є. (01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень), професор кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р техн. наук, проф. Книш Л.І. (05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика), професорка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Золотько К.Є. (05.14.04 – промислова теплоенергетика), доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Зайцев В.Г. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент кафедри комп'ютерних технологій 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;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Хижа О.Л. (01.01.01 – математичний аналіз), доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Мацуга О.М. (05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук Козакова Н. Л. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцентка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Антоненко С.В. (05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд.фіз.-мат. наук, доц. Михальчук Г.Й. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцента кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Тонкошкур І.С. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук Степанова Н.І. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцентка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Сафронова І.А. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцентка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Сидорова М.Г. (05.13.06 – інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Божуха Л.М. (01.01.01 – математичний аналіз), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Білобородько О.І. (05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Ємел'яненко Т.Г. (05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Наконечна Т.В. (01.01.01 – математичний аналіз), доцентка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Трофімов О.В. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Полонська А.Є., асистентка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Лисиця Н.М., асистентка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Сірик С.Ф., асистентка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Єгошкін Д.І., асистент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Красношайка Д.В., старший викладач кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Лапець О.В., асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Лирчиков В.О., асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

ЗАПРОШЕНІ ФАХІВЦІ (7 осіб, з правом голосу):

д-р техн. наук, доц. Гакал П.Г. (05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика), завідувач кафедри аерокосмічної теплотехніки Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

канд. техн. наук, доц. Моїсеєнко С.В. (05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка), доцентка кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція вищої математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету;

д-р техн. наук, проф. Габрінець В.О. (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки), професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р техн. наук, с.н.с. Накашидзе Л.В. (05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії), провідний науковий співробітник науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

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 фіз.-мат. наук, проф. Кагадій Т. С. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), професорка кафедри прикладної математики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

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

На засіданні присутні аспіранти: Борисенко А. В., Масаликін С. С., Юрков Р. С., Караваєв К. Д., Жушман В. В.

Аспіранти участі в голосуванні не брали.

Порядок денний: розгляд і обговорення дисертаційної роботи Жушмана Владислава Вікторовича на тему «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми», 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 канд. техн. наук, доц. Зайцеву Т. А. Тема дисертації уточнена на засіданні вченої ради факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, протокол № 7 від 21 лютого 2024 р. у такій редакції – «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми».

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 Жушмана Владислава Вікторовича на тему: «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми» на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Перевірку на плагіат здійснювала комісія у складі: заст. декана факультету прикладної математики з навчальної роботи, канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Кузенков О. О., заст. голови бюро з академічної доброчесності факультету прикладної математики, канд. фіз.-мат. наук, доцентка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики, Козакова Н. Л., провідний інженер НДЛ ОСС, наук. досл. лабор. оптимізації складних систем, Яцечко Н. Є.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на плагіат програмою «Strikerplagiarism» зроблено висновок: дисертаційна робота Жушмана В. В. має високий рівень унікальності (88,06 %) і може бути допущена до захисту.

Робота виконана на 131 сторінці і містить такі складові частини: анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, список використаної літератури.

Слово надається аспіранту Жушману В. В. Будь ласка, регламент виступу – 30 хвилин.

Аспірант Жушман В. В.

Шановний голово, шановні члени міжкафедрального семінару, шановні колеги!

Тема моєї дисертації: «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми».

Актуальність теми.

Розвиток техніки поставив проблему контактної взаємодії в низку актуальних задач сучасної механіки деформівного твердого тіла. Складність цих завдань зумовила велику кількість чисельних і аналітичних методів, які використовують під час їх вирішення. Для застосування сучасних методик розрахунку на міцність необхідне детальне вивчення напружено-деформівного стану елементів конструкцій з урахуванням умов їх навантаження, особливостей форми та розмірів зон контакту. Вирішення цих проблем тісно пов'язано з використанням розв'язків контактних задач механіки деформівного твердого тіла.

Саме математичне та комп'ютерне моделювання контакту кількох тіл, що деформуються, має важливе прикладне значення для багатьох інженерних розрахунків, що зумовлює актуальність розроблення ефективних обчислювальних алгоритмів, які враховують можливий нелінійний характер взаємодії лінійно-пружних тіл. При цьому останнім часом дедалі частіше виникає необхідність формулювання контактних взаємодій коли можуть бути невідомі границі і форма площадок контакту.

На сьогодні ще не існує загального математичного апарату для розв'язання задач такого класу з різними умовами контакту та різними формами контактуючих тіл. Кожна постановка потребує розробки свого методу розв'язку.

Тому актуальними є проблеми створення нових математичних та комп'ютерних моделей, нових підходів та ефективних алгоритмів, також розробки на їх основі сучасного прикладного програмного забезпечення для розв'язання контактних задач теорії пружності.

Мета і завдання дослідження.

Метою даної роботи є побудова нових математичних та комп'ютерних моделей контактної взаємодії тіл складної форми, подальший розвиток аналітичних підходів до розв'язання просторових контактних задач, а також створення узагальнюючого алгоритму для організації комплексного підходу в задачах моделювання контактної взаємодії. А саме, шляхом поєднання за рахунок створеного власного програмного продукту наступних кроків – отримання аналітичних рішень, проведення чисельних

експериментів, створення експертної системи для ідентифікації форми площадки контакту із застосуванням сучасного прикладного програмного забезпечення.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення таких *завдань*:

- для задачі про тиснення на однорідний та ізотропний пружний півпростір абсолютно жорсткого плоского двозв'язного штампа отримати розрахункові формули аналітичного рішення задач для плоских штампів форми в плані близьких до кільцевих (кільця границі яких близькі до трикутників, шестикутників, восьмикутників). Застосувати змінене представлення меж області контакту;
- розробити відповідне програмне забезпечення для проведення розрахунків і аналізу отриманих аналітичних результатів;
- побудувати скінченно-елементні моделі процесу контактної взаємодії абсолютно жорсткого штампа з пружним півпростором за допомогою програмного комплексу ANSYS. Провести комп'ютерне моделювання для розрахунку напружено-деформівного стану. Створити групи скінченно-елементних моделей для врахування можливих пошкоджень у разі перебування системи в складних природних умовах або в агресивному середовищі за певний час модельного застосування. Таким чином сформувати базу знань з метою подальшого застосування її у експертній системі;
- сформулювати проблему для контактної задачі про взаємодію абсолютно жорсткого штампа і пружного півпростору для випадку коли область контакту є заздалегідь невідомою; розробити підхід для розв'язання цієї задачі із застосуванням сучасних математичних алгоритмів та інформаційних технологій; створити експертну систему для ідентифікації форми поперечного перерізу штампа за допомогою програмного засобу CLIPS, провести визначення контуру пошкодженої форми штампа із застосуванням розробленого інструментарію;
- розробити узагальнюючий алгоритм розв'язання контактної задачі для випадка взаємодії абсолютно жорсткого штампа з пружним півпростором.

Об'єкт дослідження – процеси деформування пружного півпростору під дією поверхнево навантажених абсолютно жорстких штампів різної форми.

Предмет дослідження – компоненти напружено-деформівного стану пружного півпростору, що знаходиться під дією поверхневого навантажених абсолютно жорстких штампів різної форми, а також ідентифікація площадок контакту для випадків її невідомості.

Методи дослідження. Для побудови і аналізу математичних та комп'ютерних моделей контактної взаємодії складних тіл застосовано аналітичні методи лінійної теорії пружності, методи обчислювальної математики, метод скінченних елементів, об'єктно-орієнтоване програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- Отримано аналітичні розв'язки для задачі про вдавлювання в однорідний та ізотропний пружний півпростір циліндричного абсолютно жорсткого плоского двозв'язного штампа в формі близької до кільця (трикутного, шестикутного і восьмикутного, коли межі області контакту не є подібними). Вперше було розв'язано задачі для штампів у формі кільця, границі яких близькі до трикутників, шестикутників, восьмикутників у вигляді розкладання за новим малим параметром.

- Розроблено нове програмне забезпечення на мові C++ для аналізу і візуалізації аналітичного розв'язку про вдавлювання в ізотропний пружний півпростір циліндричного абсолютно жорсткого штампу поперечний переріз якого займає двозв'язну область. Наведено відповідні порівняльні результатами.

- Вперше розроблено програмне забезпечення під ANSYS на специфічній пропрієтарній мові програмування для інженерних рішень (APDL) для корегування параметрів комп'ютерної моделі через функціонал, який відсутній в поточному інтерфейсі користувача програмного комплексу ANSYS.

- Було створено та протестовано експертну систему для розв'язання задачі ідентифікації форми поперечного перерізу штампу, що діє на пружний півпростір. Для цього вперше було застосовано програмну систему CLIPS і розроблено програмне забезпечення на мові програмування COOL під CLIPS.

- Вперше було створено підхід для розв'язання задачі ідентифікації форми поперечного перерізу штампу із застосуванням сучасних математичних алгоритмів та інформаційних технологій, а саме, розроблено узагальнюючий алгоритм у якому використовуються аналітичні підходи, програмні системи ANSYS, CLIPS, і розроблено власні програмні додатки, які поєднують всі етапи дослідження в один комплексний продукт.

Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів забезпечується використанням загальноновизнаних положень, співвідношень та методів механіки деформівного твердого тіла; гарантується суворістю використовуваного математичного апарату і підтверджується порівнянням результатів з отриманими раніше з використанням різних методів, а також з відомими результатами обчислювальних експериментів і експериментальними даними інших авторів. Сформульовані в роботі припущення обґрунтовані як шляхом їх змістовного характеру, так і методами математичного моделювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені в дисертаційній роботі нові математичні та комп'ютерні моделі, алгоритми і підходи можуть бути використані як при проведенні обчислювальних експериментів, так під час розв'язання практичних інженерних задач. Вони можуть служити науково-методичною основою для перспективних розробок в механіці контактної взаємодії для розв'язання актуальних задач, що виникають в інженерній практиці при розрахунках контактних характеристик в конструкціях та спорудах.

Проведені дослідження та їх результати складають відповідний розділ ініціативних науково-дослідних робіт «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми» (№ держреєстрації 0119U101053, 2019-2021 р.р.), «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 р.р.) при кафедрі комп'ютерних технологій у відповідності до тематичних планів науково-дослідних робіт

Теоретичні та практичні положення роботи стали складовою частиною навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання систем та процесів» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика ОП «Комп'ютерне моделювання та технології програмування» та дисципліни «Методи Computer modeling and simulation» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика ОП «Інформатика»). Окремі теоретичні результати було використано при виконанні курсових та дипломних робіт студентами факультету прикладної математики.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, основні положення, що виносяться на захист, а також наведено дані про структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** було проведено аналіз публікацій за проблематикою дисертаційного дослідження, а саме, присвячених математичному та комп'ютерному моделюванню контактної взаємодії тіл складної форми. Проведений огляд наукових публікацій мав на меті вивчення сучасних підходів до питань моделювання контактної взаємодії тіл складної форми, розв'язання контактних задач ідентифікації форми площадок контакту, а також оцінку коректності побудованих моделей. Обґрунтовано вибір напрямку дослідження.

У **другому розділі** надано постановку задачі контактної взаємодії плоского абсолютно жорсткого двозв'язного в плані штампу та пружного півпростору. Використано алгоритм зведення задачі про вдавлювання в ізотропний пружний півпростір жорсткого штампу, коли площадка контакту займає двозв'язну область, контур якої складається з двох ліній, що не перетинаються та можуть бути неподібними, до послідовності задач для області контакту в формі кругового кільця. При цьому застосовується відомий розв'язок задачі про кільцевий штамп в формі подвійного ряду, коефіцієнти якого визначаються з рекурентних співвідношень. Використано метод розкладу за малим параметром, який може мати фізичне значення або будь-яке інше, наприклад, характеризувати форму і розміри площадки контакту. Наведено розвинення потенціалу простого шару при відображенні двозв'язної області інтегрування на кругове кільце за допомогою перетворення змінних

інтегрування та перетворення координат полюса ядра. В результаті одержано послідовність аналогічних задач для кругового кільця для визначення функцій, що характеризують розподіл нормального тиску під штампом в формі некругового кільця, а також заглиблення, проекції векторів повороту штампів та ліній, які обмежують область контакту. Було проведено розрахунки для штампів різної конфігурації, а саме у формі кільця границі яких близькі до трикутників, шестикутників, восьмикутників та штампів ліній контурів якого не є подібні. Отримано аналітичні розв'язки для двозв'язного близького до трикутного, шестикутного та восьмикутного кільцевих в плані штампів (за рахунок іншого розкладання у ряд контуру штампів).

Було розроблено спеціальне програмне забезпечення на мові програмування C++ для аналізу та візуалізації отриманих результатів. Наведено графіки розподілу нормального тиску під основою штампів різної конфігурації близьких до кільцевих. Проведено порівняння результатів з отриманими раніше аналітично.

У **третьому розділі** використовуючи систему автоматизованого проектування ANSYS були розроблені моделі контактної взаємодії плоских абсолютно жорстких штампів з пружним півпростором. Було створені моделі контактної взаємодії для однозв'язних та двозв'язних в плані штампів за формою поперечного перерізу близькою до круга, трикутника, шестикутника, кругового кільця, кільця, близького до трикутного та інші. Виконано порівняння отриманих результатів в середині зони контакту з результатами аналітичного розв'язку, яке продемонструвало, задовільне узгодження, що свідчить про адекватність запропонованих моделей. Потім на основі розроблених моделей, були створені групи таких, що мали різні типи і степені пошкоджень, або зношення.

Було розроблено програмне забезпечення під ANSYS на специфічній пропрієтарній мові програмування для інженерних рішень (APDL) для корегування параметрів комп'ютерної моделі через функціонал, який відсутній в поточному інтерфейсі користувача програмного комплексу ANSYS. Побудовані графіки розподілу напружень.

Результати чисельних експериментів були збережені у базі для подальшої передачі їх і систему CLIPS для створення експертної системи.

У **четвертому розділі** було розроблено експертну систему. Для створення і підтримки експертної системи було обрано програмний інструмент CLIPS, що дозволило автоматизувати процес прийняття рішень на основі набору правил та знань, які були створені і використані для розв'язання конкретних завдань. Була організована база знань, як один із ключових компонентів експертної системи. Вона включила в себе інформацію про геометричні характеристики і властивості матеріалів штампів і півпростору, інформацію щодо напружено-деформованого стану системи штамп-пружний півпростір, а також набір правил і фактів. Побудована експертна

система дозволила автоматизувати ідентифікацію поперечних перерізів штампів з плоскою підшоною, що тиснуть на пружний півпростір.

Для забезпечення зручності використання та інтеграції програмної системи CLIPS у розроблений проект на мові програмування C++, було створено додаткові бібліотечні файли.

У підсумку узагальнюючий алгоритм для задач створення та аналізу математичних і комп'ютерних моделей контактної взаємодії абсолютно жорсткого циліндричного штампу із плоскою основою з пружним півпростором під дією стискаючої сили. У якості прикладів розв'язані задачі ідентифікації геометричної форми поперечних перерізів абсолютно жорстких штампів що тиснуть на пружний півпростір, але мають пошкодження, які заздалегідь не відомі.

За результатами досліджень зроблені наступні ВИСНОВКИ:

- 1) Проведено аналіз публікацій, який показав, що розв'язання контактних задач механіки потребує побудови нових ефективних математичних і комп'ютерних моделей, розробки нових підходів та алгоритмів, щоб зменшити трудомісткість та ресурсоемність розв'язуваної задачі, що сприятиме подальшому практичному застосуванню результатів досліджень. Інтеграція різних методів і прийомів дозволяє удосконалити класичні підходи в області контактних задач механіки.
- 2) Отримано аналітичні розв'язки для задачі про вдавлювання в однорідний та ізотропний пружний півпростір циліндричного абсолютно жорсткого плоского двозв'язного штампу в формі близької до кільця (трикутного, шестикутного і восьмикутного, коли межі області контакту не є подібними). Вперше було розв'язано задачі для штампів у формі кільця, границі яких близькі до трикутників, шестикутників, восьмикутників у вигляді розкладання за новим малим параметром.
- 3) Розроблено нове програмне забезпечення на мові C++ для аналізу і візуалізації аналітичного розв'язку про вдавлювання в ізотропний пружний півпростір циліндричного абсолютно жорсткого штампу поперечний переріз якого займає двозв'язну область. Наведено відповідні порівняльні результати.
- 4) Побудовано скінченно-елементні моделі процесу контактної взаємодії абсолютно жорсткого штампу з пружним півпростором за допомогою програмного комплексу ANSYS. Проведено комп'ютерне моделювання для розрахунку напружено-деформівного стану. Створено групи скінченно-елементних моделей для врахування можливих пошкоджень у разі перебування системи в складних природних умовах або в агресивному середовищі. Сформовано масив даних для подальшого застосування його у експертній системі.
- 5) Вперше розроблено програмне забезпечення на специфічній пропрітарній мові програмування для інженерних рішень (APDL) з метою корегування параметрів комп'ютерної моделі через функціонал, який відсутній в поточному інтерфейсі користувача програмного комплексу ANSYS. Розроблене програмне забезпечення

надало можливість швидко створювати та аналізувати складні моделі, отримуючи доступ до всіх функцій ANSYS.

- 6) Створено та протестовано експертну систему для розв'язання задачі ідентифікації форми поперечного перерізу штамп, що діє на пружний півпростір. Для цього вперше було застосовано програмну систему CLIPS в поєднанні з програмним комплексом ANSYS. Для розробки коду експертної системи використовувалась мова COOL. Інтеграція COOL з CLIPS дозволила ефективно працювати з експертними правилами і фактами. Використання COOL забезпечило продуктивну і зручну розробку, що значно покращило процес обробки знань і прийняття рішень в створеній експертній системі.
- 7) Створено підхід для розв'язання задачі ідентифікації форми поперечно-го перерізу штамп із застосуванням сучасних математичних алгоритмів та інформаційних технологій, а саме, вперше розроблено узагальнюючий алгоритм у якому використовуються аналітичні підходи, програмні системи ANSYS, CLIPS, і використано розроблені власні програмні додатки, які поєднують всі етапи дослідження в один комплекс-ний продукт.

ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Кагадій Т. С., професорка кафедри прикладної математики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»:
Який метод для отримання аналітичного розв'язку Ви використовували?

Жушман В. В:

Для отримання аналітичного розв'язку, застосовано варіант метода збурень заснований на розкладанні за малим параметром потенціала простого шару, розподіленого по двозв'язній області. Таким чином відбулося зведення задачі про вдавлювання плоского штамп у формі некругового кільця до послідовності задач для штамп у формі кругового кільця. Це дозволило використати відоме рішення для кругового кільця.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Кагадій Т. С., професорка кафедри прикладної математики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»:
Як Ви опрацьовували особливості в кутових точках кільцевого штамп трикутної форми?

Жушман В. В:

Для штамп з поперечним перетином у формі трикутного кільця лінії, що обмежують область контакту було представлено у полярній системі координат у

вигляді рядів Фур'є, що дозволило провести перетворення границь контакту у лінії без особливих точок.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Кагадій Т. С., професорка кафедри прикладної математики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»:
В чому новизна Ваших результатів для аналітичного розв'язку?

Жушман В. В.:

Новизна отриманих результатів полягає в отриманні розв'язків задач для штампів у формі кільця, границі яких близькі до трикутників, шестикутників, восьмикутників у вигляді розкладання за новим малим параметром.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Кагадій Т. С., професорка кафедри прикладної математики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»:

Поясніть, будь-ласка, яким чином Ви обрали величину малого параметра ε для поперечного перерізу штампа у формі близької до кругового кільця?

Жушман В. В.:

Величина малого параметра для поперечного перерізу штампа у формі близької до кругового кільця $\varepsilon = 0.1406$ була розрахована з наступного співвідношення $\varepsilon = \sqrt{1 - h_1^2 / h^2}$, де $h = 1.5$ - висота трикутника, а $h_1 = 1.4851$ - її допустиме відхилення для усунення гострих кутів.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Кагадій Т. С., професорка кафедри прикладної математики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»:

Скільки членів ряду Ви брали для представлення поперечної форми штампа у вигляді кільця близького до трикутника?

Жушман В. В.:

Ми залишали три члени ряду.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Говоруха В. Б., завідувач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін Дніпровського державного аграрно-економічного університету:

Ви досліджували задачу контактної взаємодії плоского абсолютно жорсткого двозв'язного в плані штампу та пружного півпростору. Поперечний переріз штампів мав вигляд концентричних фігур тобто кільцевих штампів близьких до трикутного кільця, шестикутного кільця і т. д. Поясніть, будь-ласка, чи було в вашій роботі

досліджено вплив ширини кільця на розподіл напружень під штампом розглядаємої форми?

Жушман В. В.:

Так, ми розглядали випадки коли, наприклад, під штампом у формі близької до трикутного кільця ширина кільця у відносних величинах змінювалась від 0.1 до 0.7. Зі зменшенням ширини кільця напруження зростали по всій площині контакту. А загальний характер розподілу напружень не змінювався.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Говоруха В. Б., завідувач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін Дніпровського державного аграрно-економічного університету:

Скажіть, будь-ласка, в умовах якого навантаження відбувалася взаємодія штамп з пружним півпростором.

Жушман В. В.:

Розглядався випадок навантаження на штамп, коли сила була прикладена до центру тяжіння штамп, тобто враховувалась тільки дія центральної сили, а моменти були рівні нулю.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Говоруха В. Б., завідувач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін Дніпровського державного аграрно-економічного університету:

В скінченно-елементних пакетах існують спеціальні елементи для проведення досліджень в кутових точках, чи використовувались вони в Вашому дослідженні?

Жушман В. В.:

Дякую за запитання. В даній постановці задачі цими можливостями ми не користалися. Для побудови скінченно-елементної моделі застосовувався переважно елемент SOLID186.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Говоруха В. Б., завідувач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін Дніпровського державного аграрно-економічного університету:

На слайді під номером 24 Ви наводите порівняльний графік розподілу нормальних напружень під штампом з поперечним перерізом у формі близькою до трикутного кільця для аналітичного та чисельного рішень. Чим ви можете обумовити розбіжності в значеннях напружень на краях штамп?

Жушман В. В:

Результати дослідження показали що нормальні напруження, отримані аналітичним шляхом, на краях зони контакту прямують до нескінченності. Поза зоною контакту нормальні напруження відсутні. Що стосується рішення отриманого чисельним шляхом то ми маємо скінченно-елементу модель, що відображає більш реальну ситуацію взаємодії штампу з пружним півпростором. Тобто, на границях штампу напруження досягають свого максимуму і не прямують до нескінченності (як це відбувається у випадку з аналітичним розв'язком). Поза межами штампу з зовнішньої сторони, вони поступово спадають до нуля, а з внутрішньої сторони кільця зменшуються. В зоні контакту в межах середньої частини кільця значення нормальних напружень майже близькі.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Гук Н. А., в. о. проректора з науково-педагогічної роботи, професорка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Будь-ласка, поясніть яким чином будувалась скінченно-елемента сітка?

Жушман В. В:

В результаті чисельних експериментів з конфігурацією сітки, було прийнято рішення використовувати гексаедр в якості домінуючого скінченного елемента, тому що він надавав більш контрольовані та точні результати в рамках нашого дослідження. Дане рішення збільшило точність отриманих результатів, та значно спростило отриману сітку. Також слід відмітити універсальність даної дискретизації півпростору, адже це надало можливість змінювати конфігурацію штампу не змінюючи при цьому розбиття самого пружного півпростору. Окрім цього, використання гексаедрів надало можливість провести регуляризацію скінченно-елементної сітки за допомогою методу Face Meshing, що значно зменшило відхилення в розрахунках. Для зменшення кількості надлишкових вузлів, було проведено процес виокремлення зони контакту і поліпшення густини сітки в даній зоні. Оптимальний розмір ділянки в якій була поліпшена сітка було отримано в результаті поступового зменшення зони та порівнянні результатів моделювання. Для збільшення деталізації сітки в зоні контакту було використано метод Face Sizing, який надає можливість корегувати мінімальні допустимі розміри елемента сітки в вказаній області. Треба відзначити, що обраний елемент підтримує пластичність, гіперпластичність, напруженість, великі вигини та великі деформації.

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Гук Н. А., в. о. проректора з науково-педагогічної роботи, професорка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Цікаве зауваження, отже скінченний елемент з яким Ви працювали підтримує пластичність, гіперпластичність, напруженість, великі вигини та великі деформації. Тому у мене виникло питання, чи досліджували Ви, наприклад, пластичні деформації?

Жушман В. В.:

В даному дослідженні ми не виходили за межі пружних деформацій. Але коли ми проектували скінченно-елементні моделі, то заздалегідь вже враховували можливе використання розроблених моделей для перспективних подальших наукових досліджень з виходом за межі пружних деформацій.

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

Доброго дня! Владиславе Вікторовичу, я подивилася Ваші наукові публікації і в мене виникло питання: яке практичне значення представленої роботи?

Жушман В. В.:

Дякую за запитання. Хочу сказати, що питання практичного значення нашої роботи є непересічним тому що пошук ефективних шляхів розв'язку задач контактної взаємодії підтримує висока вартість та довготривалість створення реальних прототипів, а також осмислення отриманих емпіричних результатів. Використання складних конструкцій виготовлених з металу, що знаходяться в умовах агресивного середовища, яке є причиною зміни їх конструкційних особливостей, за рахунок, наприклад, корозії потребує постійного контролю зі сторони науковців і працівників. Причиною потенційної аварії може стати деградації конструкції в процесі її експлуатації. Забезпечення довговічності таких конструкцій для зменшення майбутніх витрат є вкрай актуальним питанням.

Тому результати нашої роботи можуть бути використані під час розроблення ефективних методик, алгоритмів і комплексів прикладних програм, що дають змогу з порівняно малими часовими витратами проводити пошукові, оптимізаційні та діагностичні обчислювальні експерименти під час розв'язання контактних задач. Також, результати проведеного дослідження можуть бути використані дослідниками та інженерами при проектуванні конструкцій, які будуть перебувати наприклад під дією агресивного середовища, або в складних природних умовах, а розроблених узагальнюючий алгоритм і програмне забезпечення мають елементи універсальності

та можуть бути використані для створення і аналізу інших моделей контактної взаємодії штамп з пружним півпростором.

Голова, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, в.о. декана факультету прикладної математики Кісельова О.М.:

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

ВИСТУП НАУКОВОГО КЕРІВНИКА:

Добрий день, шановні члени семінару, шановні присутні!

Я хочу подякувати вам за активну участь у роботі семінару. Дуже слушні і корисні питання допоможуть здобувачу в процесі підготовки до захисту дисертаційної роботи.

Я, як науковий керівник здобувача Жушмана Владислава Вікторовича, підготувала офіційний відгук з оцінкою його роботи за 4 року навчання у аспірантурі і подала до відділу аспірантури та головуєчому на засіданні сьогоднішнього міжкафедрального наукового семінару. З вашого дозволу, я стисло зупинюся на основних його положеннях.

Жушман Владислав Вікторович у 2020 році закінчив факультет прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара за спеціальністю 113 Прикладна математика. Він отримав дипломи з відзнакою бакалавра і магістра. Після закінчення магістратури він виявив бажання вступити до аспірантури на кафедру комп'ютерних технологій, де й навчається до теперішнього часу.

Протягом навчання в аспірантурі Владислав Вікторович повністю і своєчасно виконав освітню складову індивідуального навчального плану та індивідуальний план наукової роботи.

У процесі підготовки дисертаційної роботи та виконання індивідуального плану наукової роботи він проявив здатність самостійно проводити наукові дослідження, проявив наполегливість і творчий підхід до розв'язання наукових задач, обґрунтування і аналізу отриманих результатів, працював систематично, сумлінно і творчо.

Основні результати дисертації одержано аспірантом Жушманом В.В. самостійно.

За період навчання в аспірантурі за темою дисертації здобувачем опубліковано 12 наукових праць. Основні результати дисертації опубліковано у 5 статях, зокрема 2 статті – у виданнях, що проіндексовано у наукометричних базах Scopus. 3 статті у фахових виданнях України категорії Б. Дисертаційна робота добре апробована, її основні результати доповідались на 7 міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях.

Усі вимоги МОН України щодо кількості публікацій за результатами дисертаційного дослідження та їх рівня виконані. Одержані результати обговорено на авторитетних міжнародних наукових конференціях.

Проведені дослідження та їх результати складають відповідний розділ ініціативних науково-дослідних робіт «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми» (№ держреєстрації 0119U101053, 2019-2021 р.р.), «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 р.р.) при кафедрі комп'ютерних технологій у відповідності до тематичних планів науково-дослідних робіт

Теоретичні та практичні положення роботи стали складовою частиною навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання систем та процесів» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика ОП «Комп'ютерне моделювання та технології програмування» та дисципліни «Методи Computer modeling and simulation» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика ОП «Інформатика»). Окремі теоретичні результати було використано при виконанні курсових та дипломних робіт студентами факультету прикладної математики.

Окрім зазначених здобутків у науковій роботі дисертанта хотіла би відмітити його відповідальність, відмінні організаторські здібності, надзвичайну працездатність. Він вже почав працювати асистентом на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики ДНУ і зарекомендував себе як старанний, активний і творчий викладач, що прагне шляхом самовдосконалення та натхненної роботи готувати і викладати складні дисципліни пов'язані з математикою та IT-технологіями і плідно працювати зі студентами. Хотілося б висловити побажання, щоб після закінчення аспірантури Владислав Вікторович не полишив цю важливу справу, і за умови позитивного рішення нашого семінару та подальшого позитивного рішення разової спеціалізованої вченої ради щодо його дисертації, вже після закінчення аспірантури він продовжив працювати на нашій кафедрі з правом викладання лекцій як викладач.

Підсумовуючи, хочу сказати, що автор роботи, Жушман Владислав Вікторович, за всіма набутими компетентностями, на мою думку, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 11 Математика та статистика зі спеціальності 113 Прикладна математика. Вважаю, що робота може бути рекомендована до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді. Сподіваюсь на підтримку членів наукового семінару.

Дякую за увагу!

В ОБГОВОРЕННІ ДИСЕРТАЦІЇ ЖУШМАНА В. В. ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Кагадій Т. С., професорка кафедри прикладної математики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»:

Шановні колеги, хочу висказати свою думку. Я уважно слухала доповідь Жушмана Владислава Вікторовича, хочу відзначити, що представлена дисертаційна робота присвячена актуальній тематиці. В роботі розвиваються як аналітичні так і чисельні методи розв'язання просторових контактних задач теорії пружності. Побудовані математичні і комп'ютерні моделі, надано сучасний підхід до розв'язання питання ідентифікації форми площадки контакту. Отримані результати вказують на ефективність запропонованого узагальнюючого алгоритму. Результати дослідження, що викладені в дисертації, мають вагоме практичне значення і можуть бути використані для розв'язання прикладних задач.

У цілому я підтримую цю роботу і пропоную голосувати «за». Дякую за увагу!

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Говоруха В. Б., завідувач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін Дніпровського державного аграрно-економічного університету:

Я приєднуюсь до думки Тетяни Станіславівни щодо оцінки роботи, її актуальності і новизни. Дисертаційна робота справляє добре враження. В ній розглянуто принципово нові підходи до вирішення задач ідентифікації форми поперечного перерізу штампів. Слід відмітити, що окрім чисельного вирішення поставленої задачі, були отримані і нові аналітичні рішення. Отримані нові наукові результати є суттєвими як з теоретичної, так і з практичної точки зору, оскільки їх успішно можна застосувати для розв'язання реальних практичних задач.

Результати роботи опубліковано у впливових наукових виданнях. Дисертантом було проведено апробацію матеріалів дисертації на достатній кількості міжнародних наукових конференцій. Тому саме робота Владислава Вікторовича має особливу цінність.

Я вважаю, що в роботі на достатньому рівні наявні і актуальність, і новизна, і достовірність, тому я рекомендую цю роботу до захисту на разовій раді. Дякую за увагу!

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

Шановні колеги, я хочу сказати, що згоден з оцінкою роботи, яка була висловлена попередніми доповідачами. Мені сподобався запропонований підхід щодо побудови експертної системи, а саме створення бази знань експертної системи за рахунок побудови скінченно-елементних моделей у програмному комплексі ANSYS. Це демонструє різносторонність знань і умінь здобувача, а також творчий

підхід до пошуку нових методів розв'язку класичних задач механіки твердого тіла. Тому я також рекомендую підтримати його роботу і рекомендувати для захисту у разовій спецраді. Дякую!

Д-р фіз.-мат. наук, проф. Гук Н. А., в. о. проректора з науково-педагогічної роботи, професорка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Шановні колеги! Ми почули змістовну доповідь про наукове дослідження, яке на мій погляд є безумовно актуальним. Хочу звернути увагу, що дуже плідно відбувалась наукова дискусія, що продемонструвало зацікавленість членів семінару щодо тематики дослідження. Робота мені сподобалась.

Також хочу звернути увагу на високий науковий рівень представленої роботи, на те, що здобувач виконав усі необхідні умови, а саме – освітню складову, наукову складову, має достатню кількість публікацій, навіть значно перевищує необхідну кількість наукових статей та широку апробацію цієї роботи. Тому я також рекомендую підтримати його роботу і рекомендувати для захисту у разовій спецраді. Дякую за увагу, колеги!

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

Шановні колеги! Я уважно ознайомила з текстом дисертації Владислава Вікторовича. Можу відзначити, що дисертація оформлена з дотриманням вимог МОН України. Робота добре структурована, супроводжується ілюстраціями числових розрахунків, має ґрунтовний огляд наукових джерел. Хочу відмітити творчий підхід здобувача в процесі виконання роботи, оригінальність його ідей, які обґрунтовано розвинуто, впроваджені і досліджені в процесі виконання дисертаційної роботи. Основні результати дисертації опубліковані у відповідних статтях, та апробовано на наукових конференціях.

Виступ Жушмана Владислава Вікторовича та його відповіді на запитання свідчать про самостійність виконання роботи і достатній рівень його теоретичної підготовки з галузі знань 11 Математика та статистика зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Я пропоную підтримати роботу Владислава Вікторовича та рекомендувати її до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Дякую за увагу!

Голова, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, в.о. декана факультету прикладної математики Кісельова О.М.:
Чи є ще бажаючі виступити? Якщо немає, то я також скажу декілька слів.

Владислав Вікторович добре володіє матеріалом, на мій погляд. За роки навчання він ставився до навчання старанно. У процесі навчання в аспірантурі до нього ніяких нарікань не було, тобто він виконав усі вимоги, які потрібні для аспірантів: виконав індивідуальний навчальний план, а дисертація – це вже показник його наукової складової. Тому я також рекомендую підтримати його роботу і рекомендувати для захисту у разовій спецраді.

Якщо немає питань, то давайте перейдемо до висновку.

ВИСНОВОК

Актуальність теми дисертації

Інтенсивний розвиток методів математичного та комп'ютерного моделювання як ефективних засобів дослідження складних процесів контактної взаємодії є однією з актуальних проблем прикладної математики. Завдяки цьому з'являються нові можливості для розвитку механіки деформівного твердого тіла, а також значно розширюються перспективи створення та практичного застосування систем автоматизованого проектування та експертних систем. Найважливішими з цього погляду є питання подальшого розвитку перспективних прикладних методів математичного та комп'ютерного моделювання стосовно розв'язання нових класів задач математичні постановки яких у найзагальнішому вигляді враховують складні фізико-механічні ефекти, що виникають в процесі деформування з урахуванням контактної взаємодії. Це дає можливість проведення більш повного і детального аналізу напружено-деформівного стану відповідальних деталей, елементів конструкцій, механізмів, будівель, їх фундаментів та ін., що піддаються складному силовому на-вантаженню, та отримання на його основі даних для більш точної оцінки ресурсних характеристик. Таким чином, створення математичних та комп'ютерного моделей і розв'язання на їхній основі конкретних завдань є однією з актуальних проблем сьогодення. Саме вирішенню таких проблем і присвячена дана дисертаційна робота.

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 канд. техн. наук, доц. Зайцева Т. А.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження здійснювалися у відповідності до планів наукових досліджень кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара в рамках наукових тем «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми» (№ держреєстрації 0119U101053, 2019-2021 р.р.), «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 р.р.)

при кафедрі комп'ютерних технологій у відповідності до тематичних планів науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Публікації та особистий внесок здобувача. За темою дисертації опубліковано 5 статей. Три з них опубліковані у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus. Дві статті – у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України категорії Б. Основні результати дисертації отримано автором самостійно. Визначення загального плану досліджень належить науковому керівнику Т. А. Зайцевій. У працях, що опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у розробці програмного забезпечення для розрахунку контактних характеристик взаємодії жорсткого штамп у формі близького до трикутного кільця з пружним півпростором; побудові скінченно-елементні моделі для системи штамп – пружній півпростір, штамп у поперечному перерізі займає форму близьку до трикутних кілець різної ширини; проведенні числових експериментів; порівнянні з результатами отриманими раніше; розробці програмного забезпечення для розрахунку контактних характеристик взаємодії жорстких штампів у формі близької до кільця з пружним півпростором; отриманні аналітичного розв'язку для деяких форм штампів; проведенні числових експериментів; наданні результатів комп'ютерного моделювання системи штамп – пружній півпростір, яке проведено на основі розробленого програмного додатку, створенні експертної системи для розв'язання контактної задачі взаємодії двозв'язних та однозв'язних штампів з пружним півпростором для ідентифікації геометричної форми основ штампів яка була змінена в результаті пошкоджень; розробці програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання контактної взаємодії, забезпечення комунікації між експертною системою і даними та для реалізації аналізу отриманих результатів. Публікації Жушмана В. В. 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 одержаних результатів забезпечується використанням загальноновизнаних положень, співвідношень та методів механіки деформівного твердого тіла; гарантується суворістю використовованого математичного апарату і підтверджується порівнянням результатів з отриманими раніше з використанням різних методів, а також з відомими результатами обчислювальних експериментів і експериментальними даними інших авторів. Сформульовані в роботі припущення обґрунтовані як шляхом їх змістовного характеру, так і методами математичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Отримано аналітичні розв'язки для задачі про вдавлювання в однорідний та ізотропний пружний півпростір циліндричного абсолютно жорсткого плоского

двозв'язного штампа в формі близької до кільця (трикутного, шестикутного і восьмикутного, коли межі області контакту не є подібними). Вперше було розв'язано задачі для штампів у формі кільця, границі яких близькі до трикутників, шестикутників, восьмикутників у вигляді розкладання за новим малим параметром.

2. Розроблено нове програмне забезпечення на мові C++ для аналізу і візуалізації аналітичного розв'язку про вдавлювання в ізотропний пружний півпростір циліндричного абсолютно жорсткого штампу поперечний переріз якого займає двозв'язну область. Наведено відповідні порівняльні результатами.
3. Вперше розроблено програмне забезпечення під ANSYS на специфічній пропріитарній мові програмування для інженерних рішень (APDL) для корегування параметрів комп'ютерної моделі через функціонал, який відсутній в поточному інтерфейсі користувача програмного комплексу ANSYS.
4. Було створено та протестовано експертну систему для розв'язання задачі ідентифікації форми поперечного перерізу штампу, що діє на пружний півпростір. Для цього вперше було застосовано програмну систему CLIPS і розроблено програмне забезпечення на мові програмування COOL під CLIPS.
5. Вперше було створено підхід для розв'язання задачі ідентифікації форми поперечного перерізу штампу із застосуванням сучасних математичних алгоритмів та інформаційних технологій, а саме, розроблено узагальнюючий алгоритм у якому використовуються аналітичні підходи, програмні системи ANSYS, CLIPS, і розроблено власні програмні додатки, які поєднують всі етапи дослідження в один комплексний продукт.

Практичне значення результатів дослідження полягає в тому, що розроблені в дисертаційній роботі нові математичні та комп'ютерні моделі, алгоритми і підходи можуть бути використані як при проведенні обчислювальних експериментів, так під час розв'язання практичних інженерних задач. Вони можуть служити науково-методичною основою для перспективних розробок в механіці контактної взаємодії для розв'язання актуальних задач, що виникають в інженерній практиці при розрахунках контактних характеристик в конструкціях та спорудах.

Проведені дослідження та їх результати складають відповідний розділ ініціативних науково-дослідних робіт «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми» (№ держреєстрації 0119U101053, 2019-2021 р.р.), «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 р.р.) при кафедрі комп'ютерних технологій у відповідності до тематичних планів науково-дослідних робіт

Теоретичні та практичні положення роботи стали складовою частиною навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання систем та процесів» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 113

Прикладна математика ОП «Комп'ютерне моделювання та технології програмування» та дисципліни «Методи Computer modeling and simulation» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика ОП «Інформатика»). Окремі теоретичні результати було використано при виконанні курсових та дипломних робіт студентами факультету прикладної математики.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Зайцева Т.А., Жушман В.В. Про побудову скінченно-елементної моделі взаємодії двозв'язного в плані штампа з пружним півпростором. Збірник наукових праць «Питання прикладної математики і математичного моделювання». Дніпро, 2021. – Вип. 21.–С.78-86. DOI: <https://doi.org/10.15421/322108>
2. Жушман В.В. Інтелектуальні системи для вирішення обернених контактних задач. Збірник наукових праць «Питання прикладної математики і математичного моделювання». Дніпро, 2023. – Вип. 23.–С.64-71. DOI: <https://doi.org/10.15421/322307>
3. Жушман В.В., Зайцева Т.А. Комплексний підхід до розв'язання задачі взаємодії абсолютно жорсткого двозв'язного штампу та пружного півпростору. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології». 2024. Vol. 2 № 151. P.133-143. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-2-151-2024-12>.

Стаття у науковому фаховому виданні України, яке входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus

4. Zaytseva T., Zhushman V. Construction of mathematical and computer models for calculating contact characteristics of interaction between a rigid punch and an elastic half-space. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024. 2 (7 (128)). P 67–78. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.302792>.

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science Core Collection

5. Shyshkanova G., Zaytseva T., Zhushman V., Levchenko N., Korotunova O. Solving three-dimensional contact problems for foundation design in green building. Journal of Physics: Conference Series, 2023. – V.2609, №1 – p. 012001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2609/1/012001>.

Додаткові праці апробаційного характеру

1. Zhushman V., Zaytseva T., Hurko O. The latest information technologies for modeling problems of mechanics of deformed solid *Сучасні науково-технічні дослідження у контексті мовного простору (англійською мовою): матеріали X Регіон. наук.-практ. конф. молодих науковців та студентів, 13 травня 2021р.* м. Дніпро, 2021. С. 171-173
2. Жушман В. В. Сучасні методи розв'язання класичних задач механіки деформованого твердого тіла. *Класичні та прикладні аспекти спадкоємної математичної підготовки у ЗВО : історичний та сучасний погляд молодих вчених і здобувачів вищої освіти : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених.* м. Харків, 2021. С. 240-243.
3. Зайцева Т. А., Жушман В. В. Застосування програмного комплексу ANSYS для моделювання контактної задачі механіки. *World science: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference.* Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2021. Pp. 393-396. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/04/WORLD-SCIENCE-PROBLEMS-PROSPECTS-AND-INNOVATIONS-21-23.04.2021.pdf>
4. Жушман В. В., Зайцева Т. А. Комп'ютерне моделювання взаємодії тіл складної форми з пружним півпростором. *Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2021): Матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції, 17-19 листопада 2021., м. Дніпро, 2021. С. 77.* URL: <http://mpzis.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2021/12/mpzis-2021.pdf>
5. Жушман В. В., Зайцева Т. А. Комп'ютерне моделювання взаємодії тіл складної форми з пружним півпростором під дією позацентральної сили. *Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2022): Матеріали XX ювілейної міжнародної науково-практичної конференції, 23-25 листопада 2022., м. Дніпро, 2022. С. 87.* URL: <http://mpzis.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2022/12/MPZIS-2022-1.pdf>
6. Жушман В. В. Рендерінг процесів взаємодії складнопрофільних тіл. *Виклики та проблеми сучасної науки.* м. Дніпро, 2023. Т. 1. С. 474-476. URL: <https://fti.dp.ua/conf/2023/06047-2130/>.
7. Жушман В. В., Зайцева Т. А. Експертні системи для розв'язання обернених контактних задач статички. *Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2023): Матеріали XXI міжнародна науково-практична конференція до 105-річчя Дніпровського національного*

університету імені Олеся Гончара, 22-24 листопада 2023., м. Дніпро, 2023. С. 126-127. URL: <http://mpzis.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2023/11/mpzis-2023.pdf>.

На підставі заслуховування та обговорення доповіді Жушмана В. В. 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 Жушмана Владислава Вікторовича на тему «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми» 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 Жушмана Владислава Вікторовича на тему «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми» 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 Жушмана Владислава Вікторовича у такому складі:

№ з/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.	Гук Наталія Анатоліївна (голова)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, в.о. проректора з науково-педагогічної роботи	доктор фізико-математичних наук 01.02.04-механіка деформівного твердого тіла 2011 р., Україна	професор кафедри комп'ютерних технологій, 2016 р., Україна	1. Guk N. A., Kozakova N. L. Delamination of a Three-Layer Base Under the Action of Normal Loading. <i>J. Math. Sci.</i> 2021. Vol. 254, 89–102. DOI: https://doi.org/10.1007/s10958-021-05290-w (Scopus). 2. Гук Н. А., Єгошкін Д. І. Налаштування та навчання нечіткої моделі для задачі класифікації. <i>Вісник Запорізького національного університету. Серія фіз.-мат. наук.</i> 2021. Вип. 1. С. 33-43. DOI: https://doi.org/10.26661/2413-6549-2021-1-04 URL:

1	2	3	4	5	6
					<p>http://journalsofznu.zp.ua/index.php/phys-math/article/view/2286 DOI: (фахове видання, категорія Б).</p> <p>3. Yehoshkin, D., Guk, N. Automatic construction of a fuzzy system with a matrix representation of rules and a correct knowledge base. <i>Eastern-European Journal of Enterprise Technologies</i>, 2022. 6(4 (120)), 14–22. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268908 (Scopus)</p> <p>4. Гук Н. А. Ідентифікація пошкоджень в деформівних системах на основі нечіткого логічного виведення. <i>Проблеми обчислювальної механіки та міцності конструкцій</i>, 2023. – Вип. 37. С. 20–29. https://doi.org/10.15421/4223213 (фахове видання, категорія Б).</p>
2.	Говоруха Володимир Борисович (опонент)	Дніпровський державний аграрно-економічний університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри вищої математики, фізики та загально-інженерних дисциплін	доктор фізико-математичних наук 01.02.04-механіка деформівного твердого тіла, 2012 р., Україна	професор кафедри вищої математики, 2015 р., Україна	<p>1. Shporta A.H., Kagadii T.S., Govorukha V.B., Onopriienko O.D., Zhao S. Analysis of numeric results for analogue of Galin's problem in curvilinear coordinates. <i>Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu</i>. – 2023. – № 1. – С. 142–148. DOI: https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/142 (Scopus)</p> <p>2. Кагадій Т.С., Шпорта А.Г., Білова О.В., Щербина І.В., Говоруха В.Б. Динамічна взаємодія стрингеру та криволінійного ортотропного напівпростору. <i>Прикладні питання математичного моделювання</i>. 2023. – Т. 6, № 2. – С. 60-67. DOI: https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-2-7 (фахове видання, категорія Б)</p> <p>3. Govorukha, V., Kamlah, M. Analysis of an interface crack with multiple electric boundary conditions on its faces in a one-dimensional hexagonal quasicrystal bimaterial. <i>Archive of Applied Mechanics</i>, 2024, DOI: https://doi.org/10.1007/s00419-024-02538-0 URL:</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>https://link.springer.com/article/10.1007/s00419-024-02538-0 (Scopus). 4. Говоруха В.Б., Луц П.М., Кисельов О.В. Фізико-математична модель процесу пресування паливних брикетів з рослинних матеріалів. <i>Вібрації в техніці та технологіях</i>. – 2023. – №3(110). – С. 67-74. DOI: 10.37128/2306-8744-2023-3-8; URI: http://81.30.162.23/repository/getfile.php/35329.pdf (фахове видання, категорія Б)</p>
3.	Кагадій Тетяна Станіславівна (опонент)	Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України, професор кафедри прикладної математики	доктор фізико-математичних наук 01.02.04- механіка деформівного твердого тіла 2005 р., Україна	професор кафедри вищої математики, 2008 р., Україна	<p>1. Kagadiy T.S., Shporta A.G. Onoprienko O.D. Asymptotic method in two-dimensional problems of electroelasticity. <i>Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu</i>. 2020-02 journal-article. DOI: https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/130 (Scopus). 2. Kagadiy T.S., Shporta A.G. Mathematical modeling in the calculation of reinforcing elements. <i>Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu</i>. 2019-10 journal-article. DOI: https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-5/10 (Scopus). 3. Кагадій Т. С., Шпорта А. Г., Білова О. В., Щербина І. В. Математичне моделювання в задачах геометрично нелінійної теорії пружності. <i>Прикладні питання математичного моделювання</i>. 2021. Т. 4, №1. С. 103–110. DOI: https://doi.org/10.32782/KNTU_2618-0340/2021.4.1.11, 2021 (фахове видання, категорія Б).</p>
4.	Ходанен Тетяна Володимирівна на (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, доцент	кандидат фізико-математичних наук 01.02.04 – механіка деформівного	доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки, 2015 р., Україна	<p>1. Шевельова Н. В., Ходанен Т. В. Взаємодія двох штампів із різними умовами контакту на границі ізотропної півплощини. <i>Computer Science and Applied Mathematics</i>. 2021. №1. С. 81-89. DOI: https://doi.org/10.26661/2413-6549-2021-1-10. URL: https://journalsofznu.zp.ua/index.php</p>

1	2	3	4	5	6
		кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки	тіла, 2009 р., Україна		<p>/comp-science/article/view/2292 (фахове видання, категорія Б).</p> <p>2. Loboda V., Shevelova N., Khodanen T., Lapusta Y. An interaction of electrically conductive and electrically permeable collinear cracks in the interface of piezoelectric materials // <i>Archive of Applied Mechanics</i>. – 2022. – Vol. 92 (5). – P. 1465–1480. DOI: https://doi.org/10.1007/s00419-022-02123-3 (Scopus, Web of Science Core Collection, Q2).</p> <p>3. Shevelova N., Khodanen T., Chapelle F., Lapusta Y, Loboda V. A set of collinear electrically charged interfacial cracks in magnetoelastic bimaterial // <i>Acta Mech.</i> – 2023. – Vol. 234. – P. 4899–4915. DOI: https://doi.org/10.1007/s00707-023-03642-y (Scopus, Web of Science Core Collection, Q2).</p>
5.	Дзюба Петро Анатолійович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри комп'ютерних технологій	кандидат технічних наук, 01.02.04-механіка деформівного тіла, 26.09.2012 р., Україна	доцент кафедри комп'ютерних технологій, 2015 р., Україна	<p>1. Dzyuba A. P., Dzyuba P. A. Experimental Studies of the Stability of Cylindrical Shells Damaged by Randomly Located Circular Holes. <i>International Applied Mechanics</i>, 2023, 59(2). P. 218–224. DOI: https://doi.org/10.1007/s10778-023-01214-0 URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10778-023-01214-0 (Scopus).</p> <p>2. Dzyuba A.P., Dzyuba P.A., Iskanderov R.A. Numerical and experimental simulation of destruction of stretched cylindrical shell damaged by random cuts-cracks. <i>International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering</i>, 2022, 14(4). P. 175-181. URL: https://www.iotpe.com/IJTPE/IJTPE-2022/IJTPE-Issue53-Vol14-No4-Dec2022/24-IJTPE-Issue53-Vol14-No4-Dec2022-pp175-181.pdf (Scopus).</p> <p>3. Дзюба, П. А. Експериментальні дослідження стійкості ослаблених</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>круговими отворами циліндричних оболонок при осьовому стисненні. <i>Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій</i>, 2020. (32), 23-39. DOI: https://doi.org/10.15421/4220013</p> <p>(фахове видання, категорія Б).</p> <p>4. Dzyuba A.P., Dzyuba P.A., Iskanderov R.A. Experimental studies of the stability of composite cylindrical shells with a hole of various sizes under axial compression International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE) IJTPE - Issue 56. Volume. 15. Number 3. pp. 315-321. September 2023 (Serial No: 0056-1503-0923). ISSN 2077-3528 URL: https://www.ijotpe.com/IJTPE/IJTPE-2023/IJTPE-Issue56-Vol15-No3-Sep2023/43-IJTPE-Issue56-Vol15-No3-Sep2023-pp316-321.pdf</p> <p>(Scopus)</p>

Результати голосування:

«За» – 43 особи,

«Проти» – немає,

«Утримались» – немає.

Голова

наукового семінару

Секретар



Олена КІСЕЛЬОВА

Олександр КУЗЕНКОВ