

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Жушмана Владислава Вікторовича

**«Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії  
тіл складної форми»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 113 Прикладна математика

### **Актуальність теми дисертації**

Математичне та комп'ютерне моделювання контактних задач дозволяє з достатньою точністю та ефективністю відтворювати і аналізувати складні механічні процеси, завдяки чому набуває все більшої актуальності у сучасному науковому та інженерному середовищі. Саме такий підхід дозволяє розв'язувати широкий спектр практичних задач у різних галузях діяльності людини. Важливим етапом є оцінка технічного стану конструкцій, механізмів та споруд, що забезпечує механічну безпеку контактуючих об'єктів. Застосування сучасних аналітичних підходів у поєднанні з чисельними методами, зокрема методом скінченних елементів, дозволяє з враховувати особливості взаємодій, запобігти перенавантаженню або руйнуванню.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконується в рамках конкретних науково-дослідних програм, а саме 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.

**Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації.**

Дисертаційна робота відзначається чітким формулюванням наукової задачі, новий розв'язок якої отримано в результаті проведеного дослідження. **Мета роботи** полягає у побудові нових математичних та комп'ютерних моделей контактної взаємодії тіл складної форми, у подальшому розвитку аналітичних підходів до розв'язання просторових контактних задач, а також у створенні узагальнюючого алгоритму для організації комплексного підходу в задачах моделювання контактної взаємодії. Завдяки розробленому власному програмному продукту, здійснюються такі етапи: отримання аналітичних рішень, проведення числових експериментів, створення експертної системи для ідентифікації форми контактної площадки з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення.

**Завдання**, що були поставлені та вирішені автором для досягнення мети у дисертації складаються з наступного:

- для задачі про тиснення на однорідний та ізотропний пружний півпростір абсолютно жорсткого плоского двозв'язного штампа, із застосуванням відомого методу, отримано розрахункові формули аналітичного розв'язку задач для плоских штампів, близьких до кільцевих в плані із застосуванням варіанту метода збурень, що заснований на розкладанні за новим малим параметром потенціалу простого шару, розподіленого по двозв'язній області;
- розроблено програмне забезпечення для проведення розрахунків і аналізу отриманих аналітичних результатів;
- 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-деформованого стану. Створено групи скінченно-елементних моделей для врахування можливих пошкоджень у разі перебування системи в складних природних умовах або в агресивному середовищі. Таким чином, сформовано масиви даних, що склали базу знань у розробленій надалі експертній системі;

- сформульовано контактну задачу про взаємодію абсолютно жорсткого штампа і пружного півпростору для випадку коли область контакту є заздалегідь невідомою; розроблено підхід для розв'язання цієї задачі із застосуванням сучасних математичних алгоритмів та інформаційних технологій; створено експертну систему для ідентифікації форми поперечного перерізу штампку за допомогою програмного засобу CLIPS, проведено визначення форми контуру пошкодженого штампку із застосуванням розробленого інструментарію;

- розроблено узагальнюючий алгоритм розв'язання контактної задачі для випадку взаємодії абсолютно жорсткого штампку з пружним півпростором.

Вважаю, що

**Об'єкт дослідження** – процеси деформування пружного півпростору під дією поверхнево навантажених абсолютно жорстких штампків різної форми,

та

**предмет дослідження** – компоненти напружено-деформованого стану пружного півпростору, що знаходиться під дією поверхневого навантажених абсолютно жорстких штампків різної форми, а також ідентифікація форми площадок контакту для випадків коли вона є заздалегідь невідомою

**Відповідають** поставленим завданням і забезпечують комплексний підхід до вирішення наукової проблеми.

**Наукова новизна отриманих автором результатів.** Наукова новизна одержаних результатів:

1. *Розв'язана задача* про вдавлювання циліндричного абсолютно жорсткого штампку з двозв'язним поперечним перерізом в однорідний

ізотропний пружний півпростір для штампів кільцевої форми, з межами, що близькі до трикутних, шестикутних та восьмикутних форм з використанням відомого методу, у вигляді розкладання за новим малим параметром.

2. *Розроблено програмне забезпечення на мові C++ для візуалізації аналітичного розв'язку.*
3. *Створено програмне забезпечення під ANSYS на мові програмування для інженерних рішень Ansys Parametric Design Language (APDL) з метою більш ефективного створення груп скінченно-елементних моделей та коригування параметрів комп'ютерної моделі через функціонал, який відсутній у поточному інтерфейсі користувача ANSYS.*
4. *Застосовано програмну систему CLIPS та розроблено програмне забезпечення на мові COOL під CLIPS для створення експертної системи, призначеної для ідентифікації форми поперечного перерізу штампу, що діє на пружний півпростір.*
5. *Розроблено підхід для ідентифікації форми поперечного перерізу штампу за допомогою сучасних математичних алгоритмів та інформаційних технологій, створено узагальнюючий алгоритм, що включає аналітичні підходи, програмні системи ANSYS та CLIPS, а також власні програмні додатки, об'єднуючи всі етапи дослідження в один комплексний продукт.*

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Результати дисертації можуть бути використані при розробці комплексів прикладних програм, що дають змогу проводити обчислювальні експерименти під час розв'язання контактних задач статички. Також, результати проведеного дослідження можуть бути використані науковцями та інженерами при проектуванні конструкцій, що знаходяться під дією складних навантажень.

Окремі результати впроваджено в навчальний процес кафедри комп'ютерних технологій факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара при викладанні дисциплін для студентів спеціальності 113 Прикладна математика. Окремі теоретичні результати було використано при виконанні курсових та дипломних робіт студентами факультету прикладної математики.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Вважаю, що основні положення та висновки, що представлені в дисертаційній роботі науково обґрунтовані. Достовірність отриманих результатів забезпечується строгим математичним доведенням ключових результатів, коректністю математичних постановок основних задач та зроблених висновків. Дисертаційна робота відповідає вимогам до досліджень даного рівня.

**Особистий внесок здобувача.**

Представлені в дисертаційній роботі чисельні та теоретичні результати, що виносяться на захист, були отримані автором самостійно або за його безпосередньої участі. В роботі проведено критичну оцінку наукової літератури та представлено шляхи вдосконалення існуючих методів розв'язання контактних задач. Автором було проведено чисельні експерименти, деякі результати яких були порівняні з опублікованими даними інших авторів.

**Структура та обсяг дисертації.**

Структура дисертації відповідає всім вимогам до наукових робіт такого рівня та забезпечує всебічне висвітлення досліджуваної проблематики.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів основного тексту, висновків та списку використаних джерел.

У **вступі** автор обґрунтовує актуальність теми, формулює мету і завдання дослідження, визначає об'єкт і предмет дослідження, а також окреслює наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

**Перший розділ** присвячений огляду літератури та аналізу існуючих методів моделювання контактної взаємодії тіл складної форми. Досліджено сучасні підходи до моделювання та розв'язання контактних задач теорії пружності.

У **другому розділі** автор показує можливість застосування метода збурень, що заснований на розкладанні за новим малим параметром потенціалу простого шару, розподіленого по двозв'язній області. Здобувач використовує алгоритм зведення задачі про вдавлювання штампу спеціальної форми в пружний півпростір до послідовності задач для кругового кільця.

**Третій розділ** присвячено розробці комп'ютерних моделей контактної взаємодії абсолютно жорстких штампів з пружним півпростором за допомогою програмного комплексу ANSYS. Було створено програмне забезпечення на основі ANSYS, використовуючи мову програмування для інженерних рішень Ansys Parametric Design Language (APDL).

У **четвертому розділі** розроблено експертну систему за допомогою програмного інструменту CLIPS для ідентифікації форми штампу та представлено результати чисельних експериментів.

**Висновки** узагальнюють основні результати дослідження, підкреслюють їхню новизну та практичну цінність, а також окреслюють можливі напрями подальших досліджень.

**Список використаних джерел** містить 144 найменувань, що свідчить про ґрунтовність проведеного огляду сучасної літератури.

Обсяг дисертації відповідає вимогам до наукових робіт такого рівня та відповідає вказаній темі. Кожен розділ логічно продовжує попередній, що сприяє

кращому розумінню матеріалу. Викладення матеріалу є чітким, структурованим і послідовним, що робить роботу доступною для сприйняття.

Проте у процесі підготовки дисертаційної роботи автору не вдалося уникнути певних недоліків, серед яких слід відмітити наступні:

1. В дисертації запропоновано узагальнюючий алгоритм для організації комплексного підходу в задачах моделювання контактної взаємодії, але відомо, що математичний апарат розв'язання контактних задач достатньо складний і не завжди можна отримати аналітичний розв'язок для проведення порівняльних оцінок. Вважаю, що потрібно було б більш чітко вказати класи задач, для яких запропонований метод найбільш вигідний у застосуванні і довести це твердження.
2. Автор у 2 розділі дисертації для отримання аналітичного розв'язку, застосовує варіант метода збурень заснований на розкладанні за малим параметром потенціалу простого шару, розподіленого по двозв'язній області, але не наводить в дисертації обґрунтування вибору величини малого параметру.
3. На стор. 48 не описано зміст позначень індексів в формулах (2.33).
4. Для більш логічного викладання матеріалу на стор. 54 при застосуванні формул (2.39, 2.40) бажано вказати посилання на формули (2.9, 2.10), що на стор. 42.
5. На стор. 51 у таблиці 2.1 наведені значення контактного тиску під основою штампу з поперечним перерізом у формі близької до трикутного кільця. Ця таблиця вдало демонструє необхідність проведення певної кількості ітерацій. Для інших конфігурацій штампів подібні розрахунки в дисертаційній роботі відсутні.
6. У роботі є деякі описки, що не впливають на розуміння тексту дисертації.

Представлені зауваження не знижують цінності проведеного дисертаційного дослідження.

### **Загальний висновок.**

З огляду на актуальність, новизну, важливість результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків, дисертаційна робота «Математичне та комп'ютерне моделювання контактної взаємодії тіл складної форми», представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика, відповідає встановленим вимогам відповідно наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р. зі змінами від 21.03.2022), а її автор Жушман Владислав Вікторович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

### **Офіційний опонент**

доктор фізико-математичних наук, професор,  
професор кафедри прикладної математики  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»

  
Тетяна КАГАДІЙ

Підпис професора Кагадій Т.С.  
засвідчую:

Вчений секретар Вченої ради  
НТУ «Дніпровська політехніка»



  
Таїсія КАЛЮЖНА