

РЕЦЕНЗІЯ

Кудіна Олексія Володимировича,
кандидата фізико-математичних наук, доцента
Запорізького національного університету
на дисертацію Козуба Владислава Юрійовича «Скінченно-елементний аналіз
з використанням паралельних технологій», подану на здобуття наукового
ступеня доктора філософії за спеціальністю – 122 Комп'ютерні науки

Актуальність теми наукової роботи. Науково-технічний прогрес нерозривно пов'язаний розвитком інформаційних технологій. Інтенсифікація обміну та використання значних об'ємів даних вимагає розробки та застосування ефективних методів обробки інформації. Використання багатоядерних процесорів, мультипроцесорних обчислювальних пристроїв, розподілених комп'ютерних систем дозволяють в значній мірі прискорити ці процеси. Для забезпечення ефективного використання таких систем необхідні відповідні технології, одними з яких є використання технологій паралельних обчислень.

Одним з особливо важливих напрямів використання інформаційних технологій та систем є проєктувальні системи, що дозволяють моделювати новітні конструкції. В багатьох випадках чисельне моделювання являє собою чи не єдиний шлях визначення несучої здатності і прогнозування ресурсу відповідальних елементів конструкцій. Зокрема це стосується випадків деталей складної геометричної форми, а також елементів конструкцій, термін експлуатації яких вимірюється десятками тисяч годин, що унеможливило проведення натурних експериментальних досліджень. Найбільш поширеним методом моделювання поведінки конструкцій є метод скінченних елементів.

Задача підвищення продуктивності розрахунків за методом скінченних елементів потребує розробки новітніх підходів до організації обчислювальних процесів, зокрема, розробки алгоритмів паралельних обчислень в рамках методу скінченних елементів. З огляду на вищенаведене дисертаційна робота Козуба В.Ю. є актуальною, оскільки серед основних

задач були визначені такі як:

- на основі використання паралельних обчислень розробити методику формування систем розв’язувальних рівнянь методу скінченних елементів;
- розробити методику розв’язування задач теплопровідності тривимірних ізотропних та анізотропних твердих тіл;
- розробити методику розв’язування лінійних і нелінійних задач механіки з використанням паралельних технологій.

Вирішення поставлених задач орієнтовано на досягненні мети, яка полягає в розробці ефективних методів визначення напружено-деформованого стану тривимірних твердих тіл з довільними умовами закріплення, які знаходяться під дією силового та термічного навантаження.

Об’єкт та предмет дослідження відповідають меті та завданню проведеного дослідження. Об’єктом дослідження виступає процес розробки програмного забезпечення для скінченно-елементного аналізу напружено-деформованого стану тривимірних твердих тіл, а предметом – технології паралельних обчислень для моделювання напружено-деформованого стану на основі методу скінченних елементів.

Методи дослідження базуються на застосуванні методів математичного моделювання, обчислювальної математики та паралельних обчислень.

Наукова новизна одержаних у дисертації результатів відповідно до її тексту полягає в тому, що:

- 1) вперше розроблено алгоритми паралельних обчислень матриць жорсткості скінченних елементів на основі моментної схеми скінченних елементів для задач пружності;
- 2) вперше розроблено паралельні алгоритми обчислення матриць теплопровідності для розв’язання задач теплопровідності;
- 3) отримали подальший розвиток алгоритми паралельних обчислень у застосуванні до розв’язування лінійних та нелінійних задач;

4) вперше розроблено застосунок з використанням алгоритмів паралельних обчислень пакету прикладних програм “МІРЕЛА+” для розв’язання задач термопружності конструкцій.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці методики і програмних засобів для визначення напружено-деформованого стану конструкцій.

Оцінка змісту дисертації та її основних положень. Дисертація складається з анотації українською та англійською мовами, переліку публікацій здобувача за темою роботи, вступу, чотирьох розділів та списку використаних джерел.

У вступі визначено актуальність теми дисертації, сформульовано мету, завдання, об’єкт, предмет, методи дослідження; визначено його наукову новизну та практичну значущість; наведено дані щодо апробації роботи, її структури та змісту.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми. Найбільш поширеним підходом до чисельного моделювання фізико-механічних процесів є метод скінченних елементів. Автор представив детальний аналіз розвитку МСЕ для різних галузей науки, в яких математична модель представляє собою крайову задачу. Процедура розв’язування крайових задач методом СЕ можна поділити на три основних етапи:

- підготовка вихідних даних: завдання геометричних характеристик області крайової задачі, формування сітки скінченних елементів, формування граничних;
- формування матриці і рішення системи розв’язувальних рівнянь;
- виведення та аналіз отриманих результатів розрахунку.

Для підвищення продуктивності МСЕ на кожному з етапів можна застосувати різні підходи до розпаралелювання обчислень.

Обрання методу паралельних обчислень залежить від функціональних особливостей обчислювальної системи, що використовується. Більшість

розроблених пакетів прикладних програм на основі МКЕ використовуються на окремому обчислювальному пристрої. В такому випадку виникає необхідність підвищення ефективності обробки даних, що знаходяться на одному носієві.

У другому розділі представлено методи формування розв'язувальних рівнянь на основі теорії пружності та термопружності для твердих тіл з різними фізико-механічними властивостями. На основі моментної схеми скінченних елементів представлено універсальний підхід до формування матриці жорсткості для конструкцій зі слабостисливих матеріалів. На основі такого підходу розроблено процедуру побудови матриць жорсткості та теплопровідності для анізотропних тіл.

В третьому розділі наведено процедури розв'язування задач в рамках на основі пакету прикладних програм «МІРЕЛА+». Розроблено алгоритми формування матриць жорсткості та теплопровідності з використанням паралельних обчислень. Представлено алгоритми розв'язування нелінійних задач пружності, теплопровідності та термопружності з використанням паралельних технологій.

У четвертому розділі представлені розв'язки практичних задач пружності та термопружності шаруватих конструкцій з анізотропними фізико-механічними властивостями шарів. Визначено напружено-деформований стан тришарової плити з трансверсально-ізотропними шарами під дією згинального навантаження. Досліджено термопружний стан композитного обтікача з графіто-епоксидними волокнистими шарами для різних варіантів укладки волокон. Одержано рішення зв'язаної задачі термопружності пневматичної шини. Визначено поля температур дисипативного розігріву шини при циклічному навантаженні. Для кожної задачі одержано розв'язки за традиційною схемою методу скінченних елементів та з використанням запропонованого підходу з паралельним обчисленням матриць розв'язувальних рівнянь, а також проведено порівняння часу розв'язування для різних розрахункових сіток.

Результати дисертаційної роботи висвітлено у 10 наукових працях, зокрема: 3 статтях у фахових періодичних виданнях України, 2 статті у інших виданнях, в тому числі одна стаття у закордонному виданні, 5 матеріалах наукових конференцій.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Позитивно оцінюючи рецензовану наукову працю, відзначаючи її теоретичну і практичну значущість та наголошуючи на позитивних аспектах, можна висловити деякі положення та зауваження, які мають дискусійний характер:

1. В першому розділі було б доцільно приділити більше уваги обмеженням використання паралельних технологій, таким як ресурси, складність програмування або варіативність результатів в залежності від конкретних умов використання.

2. Розкриваючи засади використання паралельних технологій інженерних розрахунків, на нашу думку, було б доцільно детальніше обговорити переваги та недоліки використання паралельних обчислень в методі скінченних елементів, зокрема, провести порівняння різних підходів до паралельного програмування та їх вплив на продуктивність.

3. У роботі виконані оцінки ефективності запропонованих алгоритмів паралельних обчислень. На жаль, в тексті оціночному тестуванню не було приділено достатньої уваги.

4. В роботі наведено рішення задач термопружності для композитних елементів конструкцій. Проте не вказані обмеження на діапазон деформацій та температур, для яких може бути застосований розроблена методика.

Слід зазначити, що вказані недоліки та рекомендації не знижують наукової цінності проведеного дослідження та не заперечують його основних результатів і практичної значущості.

Висновок. Дисертаційна робота Козуба Владислава Юрійовича «Скінченно-елементний аналіз з використанням паралельних технологій» є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані

результати особисто проведених здобувачем досліджень, які мають суттєве значення для галузі комп'ютерних наук і відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022р., а її автор, Козуб Владислав Юрійович, за результатами публічного захисту наукових досліджень у формі дисертації, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент

Кандидат фізико-математичних наук, доцент

доцент кафедри

програмної інженерії

Запорізького національного університету

Олексій КУДІН