

## **РЕЦЕНЗІЯ**

**на дисертаційну роботу Єршова Павла Сергійовича  
«Інтелектуальна система комп'ютерної математики /для математичного  
моделювання в науці і інженерії», подану на здобуття наукового ступеня  
доктора філософії  
за спеціальністю 113 Прикладна математика**

### **1. Актуальність обраної теми дисертації.**

Високопродуктивні обчислення і суперкомп'ютерні технології на основі паралельних обчислень є одним з основних інструментів математичного моделювання, що широко застосовуються при розв'язуванні наукових та інженерних задач. Розвиток обчислювальної техніки в напрямку підвищення продуктивності переважно за рахунок зростання кількості, а не продуктивності ядер у багатоядерних процесорах, застосування пристроїв з масивною паралельністю, насамперед, графічних прискорювачів вже понад десятиріччя сприяє широкому впровадженню паралельних обчислень. Проте збільшення числа процесорних ядер і застосування гібридних архітектур одночасно призводить до підвищення накладних видатків на комунікацію і синхронізацію, що знижує загальну ефективність обчислень. Тому дослідження математичних методів, які враховують особливості гібридної архітектури для розробки ефективних алгоритмів, та інженерних ідей, які враховують особливості сучасних комп'ютерів для розробки на їх основі швидких програм, є надзвичайно актуальними.

Серед досягнень в цьому напрямку треба відзначити нові моделі обчислень, багаторівневий паралелізм, шарово-циклічні методи розподілу та обробки інформації у розподілених обчислювальних системах (що дозволили знизити вплив на ефективність ефекту Гайдна), методи структурної регуляризації для ущільнення великих розріджених даних, кеш-когерентні методи обробки даних (кешизація обчислень), динамічну адаптивну реконфігурацію архітектури в процесі обчислень, зокрема, з використанням багаторозрядної арифметики для запобігання накопиченню похибки без значного уповільнення обчислень.

Проблема достовірності комп'ютерних рішень є важливою, оскільки практично всі інженерні та наукові задачі мають наближені початкові дані, а отже математичні властивості відповідних задач є апріорі невідомими і можуть відрізнитись від властивостей їх теоретичних моделей. Зокрема, при застосуванні арифметики обмеженої точності неможливо розрізнити вироджену матрицю від погано обумовленої, патологічно близькі власні значення від кратних тощо.

Іншою важливою проблемою, що розглянута в дисертаційному дослідженні

П.С. Єршова, є взаємодія математичного програмного забезпечення з користувачем, який не є спеціалістом з обчислювальної математики. Складність та багатоваріантність вибору алгоритмів та їх параметрів пропонується приховати від користувача через розробку інтелектуальних програмних засобів, що автоматизують процес розв'язування задачі починаючи з вибору алгоритму на основі аналізу даних, забезпечують швидкість отримання розв'язку та його достовірність в рамках наявних обмежень і з застосуванням додаткової інформації.

В дисертаційній роботі названі проблеми розглядаються на прикладі систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАУ) з розрідженими матрицями для комп'ютерів гібридної архітектури.

Данна робота є продовженням і розвитком багаторічного доробку відомої наукової школи Молчанова – Хіміча, що додає ґрунтовності постановці задачі. Актуальність і значущість теми дослідження не викликають сумнівів.

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

Дисертаційна робота виконана у відповідності з планами науково-дослідних робіт Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова:

- ВФ.150.26 «Розробити моделі та методи гетерогенних обчислень для задач механіки суцільних середовищ» (2019–2023 рр., державний реєстраційний номер 0119U002224);
- ВП.150.4.1230 «Розробити платформу високопродуктивних обчислень на базі суперкомп'ютера СКІТ для задач кібербезпеки, математичного моделювання, інженерії» (2023 р., державний реєстраційний номер 0123U101573);
- ВП.150.30 «Розробити інтелектуальний інтерфейс для моделювання фізико-механічних процесів на основі паралельних обчислень» (2022–2024 рр., державний реєстраційний номер 0122U000906).

## **3. Наукова новизна одержаних результатів.**

У дисертаційній роботі запропоновано новий алгоритм розв'язування розріджених СЛАР (а саме – паралельний алгоритм для трикутної факторизації матриць блочно-хмарочосної структури), досліджено його властивості та доведено оцінки продуктивності для послідовного і паралельного виконання.

Інший цікавий результат роботи – застосування нейронної мережі (глибокого навчання) для визначення структури розрідженої матриці за її зображенням у формі напівтонової картинки, що є методом експрес-аналізу для інтелектуальних засобів автоматизації розв'язування СЛАР.

**4. Практичне значення отриманих результатів** забезпечують програмна реалізація розроблених алгоритмів та моделей у складі інтелектуальної системи комп'ютерної математики Inparsolver для автоматизації дослідження та розв'язання

СЛАР з розрідженими матрицями на комп'ютерах гібридної архітектури, що впроваджена на суперкомп'ютерному комплексі СКІТ, який складає основу Центру колективного користування обладнанням суперкомп'ютерного комплексу «СКІТ» НАН України на базі Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України. З застосуванням результатів дисертаційного дослідження розв'язана низка корисних задач, зокрема, – дослідження стійкості композитних матеріалів, аналіз міцності конструкцій в будівництві.

#### **5. Ступінь обґрунтованості основних положень та висновків дисертації.**

Основні наукові положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи мають належне теоретичне обґрунтування та практичне випробування.

Новизна та достовірність наукових результатів підтверджуються наведеним оглядом сучасних публікацій з тематики дисертаційної роботи, власними публікаціями у провідних фахових виданнях і результатами розв'язання низки практичних задач.

#### **6. Повнота викладення наукових положень та висновків в опублікованих працях.**

Основні результати роботи достатньо повно відображені у 8 публікаціях, з яких 6 є статтями у наукових виданнях, внесених до переліку наукових фахових видань України, 1 стаття – у періодичному науковому виданні, проіндексованому міжнародною наукометричною базою Scopus.

Також результати дослідження доповідались на 4 міжнародних наукових конференціях, оприлюднені у збірниках наукових праць.

#### **7. Зауваження до роботи.**

Звичайно, робота не позбавлена деяких недоліків.

- 1) В дисертації не наведені результати порівняння запропонованого паралельного алгоритму для трикутної факторизації матриць блочно-хмарочосної структури з відомими альтернативними алгоритмами. Доцільно було б порівняти наведені теоретичні оцінки складності з відомими оцінками інших алгоритмів, продемонструвати переваги у продуктивності та/або точності розв'язку на прикладі розв'язування різними методами однієї задачі.
- 2) Очевидним недоліком запропонованої нейромережної моделі ідентифікації структурного типу розрідженої матриці є використання фіксованого розміру картини. Треба було б визначити діапазон розміру матриць, для яких побудована модель є застосовною. Доцільно було б оцінити зв'язок розміру картини з розмірами матриць (і можливо побудувати не одну, а кілька моделей для матриць різного розміру).
- 3) Не зрозуміло, чим обумовлений вибір саме зображення матриці для оцінки її

- структурного типу. Чи не можна було підібрати набір інваріантних параметрів, наприклад, статистичних параметрів розподілу кількості ненульових значень по рядках і стовпчиках, чи обрати коефіцієнти якогось швидкого стискаючого перетворення бінарної матриці коефіцієнтів – наприклад, частотного, чи випадкових проєкцій? Чи має обраний підхід якісь не описані в роботі переваги?
- 4) Є питання стосовно структурного ризику (в сенсі міри Вапніка-Червоненкіса), що пов'язаний з побудованою нейромережною моделлю. Тестова вибірка з 2500 зображень матриць є інтуїтивно недостатньою для надійного тренування настільки складної моделі. Якнайменше треба було б обґрунтувати вибір методу і моделі, навести порівняння з іншими методами штучного інтелекту.
- 5) Варто було б конкретизувати місце розроблених автором програмних модулів у загальній архітектурі програмної системи Inparsolver.

Незважаючи на зазначені недоліки, моя загальна оцінка дисертаційної роботи є позитивною.

#### **8. Рекомендації стосовно впровадження результатів дисертаційного дослідження в практику.**

Результати роботи вже впроваджені на суперкомп'ютерному комплексі СКІТ, а отже можуть бути використані установами НАН України та іншими користувачами відповідно до Положення про Центр колективного користування обладнанням суперкомп'ютерного комплексу «СКІТ» НАН України на базі Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. Зокрема, їх застосування є ефективним при розв'язуванні СЛАР, що виникають при дослідженні стійкості композитних матеріалів, аналізу міцності конструкцій в будівництві, контролі життєвого циклу відповідальних зварних конструкцій тощо.

Розроблені програми і алгоритми доцільно інтегрувати у спеціалізовані професійні програмні системи, що практично використовуються для розв'язування розріджених СЛАР при виконанні вказаних та подібних завдань.

Результати дослідження можуть також бути рекомендовані до навчально-методичного забезпечення університетських навчальних курсів з прикладної математики, а у складі Inparsolver – до використання у практичних та дипломних роботах студентів-механіків, матеріалознавців, інженерів тощо.

#### **9. Висновок на відповідність дисертації встановленим вимогам.**

Дисертаційна робота Єршова П.С. «Інтелектуальна система комп'ютерної математики для математичного моделювання в науці і інженерії» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «прикладна математика» за актуальністю, об'ємом та рівнем проведених досліджень, науковою новизною і

практичною значимістю відповідає вимогам «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 № 44 від 12 січня 2022 року, а її автор Єршов Павло Сергійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «прикладна математика».

Рецензент

завідувач відділу автоматизації програмування  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України  
доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник



Вадим ТУЛЬЧИНСЬКИЙ

Підпис	<i>В. ТУЛЬЧИНСЬКИЙ</i>
З А С В І Д Ч У Ю	
Зав. канц.	<i>Кучер</i>
ІК НАН України	<i>05.02.2024</i>