

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Павлюка Антона Володимировича  
«Високопродуктивні обчислення в задачах математичного моделювання  
для гібридних комп'ютерних архітектур»,  
подану на здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 113 – «Прикладна математика».

### 1. Актуальність теми дослідження

Математичне моделювання об'єктів, процесів та явищ різної природи на основі високопродуктивних обчислень є одним із основних, а інколи і єдиним засобом розв'язання складних задач науки і інженерії. При цьому актуальними залишаються проблеми скорочення часу комп'ютерного розв'язування розрахункових задач, забезпечення достовірності розв'язку тощо.

Дослідження значної частини дискретних моделей включає розв'язування задач лінійної алгебри з матрицями великих порядків, зокрема факторизацію таких матриць, що потребує значних обчислювальних ресурсів. Такі ресурси надаються сучасними високопродуктивними комп'ютерами гібридної архітектури, в тому числі мульти-GPU системами. Для ефективного використання ресурсів сучасних суперкомп'ютерів необхідно розробляти нові алгоритми високопродуктивних обчислень, які враховують особливості складових і архітектури цих систем. Саме вирішенню таких актуальних завдань присвячено дисертаційну роботу А.В. Павлюка.

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

Основні дослідження, пов'язані з темою дисертації, проводилися у Відділі чисельних методів та комп'ютерного моделювання Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, де проходив підготовку здобувач, в межах виконання науково-дослідних тем: ВФ.150.26 "Розробити моделі та методи гетерогенних обчислень для задач механіки суцільних середовищ" (№ держреєстрації 0119U002224, 2019–2023 рр.); ВП.150.4.1230 "Розробити платформу високопродуктивних обчислень на базі суперкомп'ютера СКІТ для задач кібербезпеки, математичного моделювання, інженерії" (№ держреєстрації 0123U101573, 2023 р., 2024р.); ВФ.150.36 "Розробити методи високопродуктивних обчислень та штучного інтелекту для дослідження і розв'язання задач математичного моделювання" (№ держреєстрації 0125U002051, 2025–2029 рр.).

### 3. Наукова новизна одержаних результатів

Наукову новизну дисертації визначає орієнтоване на ефективне використання ресурсів сучасних обчислювальних систем – гібридних і мульти-GPU – розроблення та теоретичне обґрунтування нових методів і комп'ютерних алго-

ритмів високопродуктивних обчислень для розв'язування задач лінійної алгебри.

За рахунок узгодження схеми розподілу даних, блокової структури алгоритму та особливостей безпосередньої взаємодії графічних прискорювачів (GPU) між собою набули подальшого розвитку принципи організації паралельних обчислень для розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь великих порядків.

При виконанні дисертаційної роботи отримано наступні нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати:

- для обчислювальних систем із кількома GPU, зокрема для мульти-GPU систем, на основі двовимірного блочно-циклічного розподілу даних *розроблено* алгоритм *LU*-факторизації щільних матриць, який використовує топологію зв'язків між GPU "двовимірний тор" і забезпечує рівномірний розподіл обчислювального навантаження між GPU та зменшення комунікаційних витрат;
- запропоновано для стрічкових несиметричних матриць блочно-циклічний алгоритм *LU*-факторизації, який враховує особливості стрічкової структури матриці, дозволяючи скоротити обсяги пам'яті, обчислень і комунікацій на мульти-GPU системах;
- одержано теоретичні оцінки обчислювальної складності, часу виконання, прискорення та ефективності запропонованих паралельних алгоритмів факторизації, які дають змогу обґрунтувати умови їхнього ефективного застосування на мульти-GPU системах; апробація та експериментальне дослідження ефективності розроблених алгоритмів при математичному моделюванні міцності зварних конструкцій підтвердили теоретичні оцінки.

#### **4. Практичне значення результатів дослідження.**

Отримані в дисертації А.В. Павлюка результати мають практичне значення, яке полягає у використанні розроблених алгоритмів і програмних засобів розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь для комп'ютерного моделювання об'єктів, процесів та явищ різної природи на сучасних високопродуктивних обчислювальних системах – гібридних і мульти-GPU.

Розроблене програмне забезпечення може бути застосоване у наукових дослідженнях, інженерних розрахунках для комп'ютерного моделювання складних конструкцій і технологічних процесів, а також для виконання ресурсоємних обчислень на сучасних суперкомп'ютерних комплексах в інтересах інших галузей. Запропоновані алгоритми та їх програмні реалізації можуть бути інтегровані у високопродуктивні комплекси програм для комп'ютерного моделювання в різних галузях науки та інженерії на сучасних гібридних та мульти-GPU обчислювальних системах, що дозволить скоротити час для числових експериментів і забезпечить ефективне використання комп'ютерних ресурсів.



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

Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи А.В. Павлюка повністю обґрунтовані. Теоретичні оцінки якості запропонованих алгоритмів сформульовано у доведених теоремах і підтверджено результатами числових експериментів з апробації розроблених програмних реалізацій алгоритмів комп'ютерного дослідження та розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Постановки задач, методи, алгоритми, результати апробації та основні висновки детально подані в роботі. Основні результати дисертації детально висвітлені у публікаціях автора у фахових виданнях та матеріалах конференцій.

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

Результати дисертації викладено в 9 публікаціях – 4 статтях у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 113 – «Прикладна математика», та 5 тезах доповідей, які опубліковано в матеріалах конференцій. Публікації відповідають вимогам до наукових статей, встановлених МОН України, на момент їхньої публікації.

Результати проведених досліджень доповідались на Міжнародній науковій конференції "Актуальні проблеми механіки – 2023", X міжнародній науковій конференції пам'яті д.т.н., проф А.Ф. Верляня, XIII Міжнародній науково-практичній конференції "Глушковські читання", III науково-практичній конференції "Резильєнтність динамічних систем", XIII Міжнародній науково-практичній конференції "Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем 2025".

Наукові положення і висновки в опублікованих працях та доповідях дозволяють науковій спільноті отримати повне уявлення про результати роботи.

## **7. Зауваження та рекомендації до роботи**

1. У роботі бажано було б більш детально описати вплив вибору розміру блоку на продуктивність алгоритму для різних класів матриць.

2. Доцільним було б навести окремий аналіз обмежень запропонованого підходу для матриць з вузькими стрічками, де рівень паралелізму може бути недостатнім для повного завантаження GPU.

3. У тексті трапляються окремі редакційні неточності, які не впливають на зміст.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

## 8. Загальний висновок

Дисертація Павлюка Антона Володимировича "Високопродуктивні обчислення в задачах математичного моделювання для гібридних комп'ютерних архітектур" є завершеним самостійним науковим дослідженням, містить науково обґрунтовані результати, що мають теоретичне та практичне значення. Дисертація А.В. Павлюка за актуальністю, 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 заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 "Прикладна математика".

Рецензент

завідувач відділу методів негладкої оптимізації  
Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,  
член-кореспондент НАНУ, професор,  
доктор фізико-математичних наук



Петро СТЕЦЮК

