

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».

Актуальність теми дослідження. Комп'ютерне моделювання, засноване на дискретних математичних моделях, є універсальною методологією дослідження об'єктів, процесів і явищ різної природи. Актуальність теми визначається тим, що значна частина дискретних моделей потребує розв'язування задач лінійної алгебри, зокрема систем лінійних алгебраїчних рівнянь, з матрицями великих порядків. Розв'язування таких задач потребує значних обчислювальних ресурсів, які надаються сучасними високопродуктивними комп'ютерами гібридної архітектури, в тому числі multi-GPU системами. Враховуючи постійне оновлення апаратно-програмних засобів, необхідно розробляти алгоритми високопродуктивних обчислень, які здатні ефективно використовувати ресурси сучасних суперкомп'ютерів. Тому розроблення спеціалізованих алгоритмів для multi-GPU середовища, є своєчасним і науково обґрунтованим напрямом досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами та темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукових досліджень Відділу чисельних методів та комп'ютерного моделювання № 150 Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України в рамках науково-дослідницьких 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.);
- ВФ.150.36 «Розробити методи високопродуктивних обчислень та штучного інтелекту для дослідження і розв'язання задач математичного моделювання» (№ держреєстрації 0125U002051, 2025–2029 рр.).

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна полягає у розробленні та теоретичному обґрунтуванні для задач лінійної алгебри нових методів і комп'ютерних алгоритмів високопродуктивних обчислень, які орієнтовано на ефективне використання ресурсів сучасних гібридних і multi-GPU обчислювальних систем. А саме

- розроблено алгоритм LU -факторизації щільних матриць на основі двовимірного блочно-циклічного розподілу даних, який адаптовано до виконання на системах із кількома графічними прискорювачами; алгоритм забезпечує рівномірний розподіл обчислювального навантаження між GPU та зменшення комунікаційних витрат;

- запропоновано блочно-циклічний алгоритм LU -факторизації стрічкових несиметричних матриць, який враховує особливості стрічкової структури матриці, що дозволяє скоротити обсяги пам'яті, обчислень і комунікацій на multi-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.

Набули подальшого розвитку методи організації паралельних обчислень для розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь великих порядків на гібридних комп'ютерних системах, зокрема шляхом узгодження схеми розподілу даних, блокової структури алгоритму та особливостей взаємодії CPU і GPU.

Практичне значення результатів дослідження. Практичне значення результатів полягає у можливості використання розроблених алгоритмів і програмних засобів для комп'ютерного моделювання об'єктів, процесів і явищ різної природи, яке потребує розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь великих порядків з матрицями різного вигляду і структури. Особливо важливим є застосування результатів для аналізу напружено-деформованого стану, моделювання життєвого циклу зварних конструкцій, дослідження технічних систем і процесів.

Розроблені підходи можуть бути інтегровані у високопродуктивні програмні комплекси для суперкомп'ютерних обчислень, зокрема у середовищах, де використовуються CUDA, cuBLAS, cuBLAS-Xt та інші бібліотеки GPU-програмування. Результати експериментальних досліджень підтвердили доцільність використання запропонованих підходів для скорочення часу чисельних експериментів, підвищення продуктивності обчислень і забезпечення ефективного використання ресурсів сучасних гібридних та multi-GPU систем.

Розроблене програмне забезпечення може бути застосоване у наукових дослідженнях, інженерних розрахунках, для комп'ютерного моделювання складних конструкцій і технологічних процесів, а також для виконання ресурсоемних обчислень на сучасних суперкомп'ютерних комплексах.

Ступінь обґрунтованості основних положень та висновків. Основні наукові положення та висновки мають належне теоретичне обґрунтування.

Теоретичні положення, що представлені у роботі, мають експериментальне підтвердження, експерименти поставлені коректно. Обґрунтованість результатів забезпечується використанням методів обчислювальної математики, теорії паралельних обчислень, аналізу складності алгоритмів, а також експериментальним дослідженням продуктивності запропонованих програмних реалізацій. Новизна наукових результатів підтверджується ретельним аналізом попередніх досліджень з тематики дисертаційної роботи, публікаціями в провідних фахових виданнях та апробацією на наукових конференціях та семінарах. Положення також обґрунтовуються досить ретельним аналізом джерел, що відповідають темі дисертації.

Повнота викладення наукових положень та висновків в опублікованих працях. Результати дисертації достатньо повно викладено в 9 наукових публікаціях, чотири з яких є статтями у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 113 – «Прикладна математика» та п'ять – тези доповідей, які опубліковано в матеріалах конференцій. Публікації відповідають вимогам до наукових статей, встановлених МОН України, на момент їхньої публікації. Результати проведених досліджень доповідались на 5 наукових та науково-практичних конференціях, в тому числі міжнародних.

Зауваження до дисертаційної роботи. Суттєвих недоліків, що стосуються змісту та оформлення дисертаційної роботи, не вбачаю, але маю декілька зауважень:

1. У роботі доцільно було б подати більш розгорнуте порівняння запропонованих алгоритмів із сучасними міжнародними пакетами для розподіленої лінійної алгебри, зокрема MAGMA, SLATE або відповідними реалізаціями ScaLAPACK.

2. Експериментальні розділи можна було б посилити аналізом впливу розміру матриці та ширини стрічки матриці на продуктивність алгоритмів для різних конфігурацій GPU.

3. Модель, описана у п. 4.5-4.9, є слабко пов'язаною з тематикою розділу 4, а саме «моделюванням конструкцій».

4. Окремі формулювання у висновках мають дещо загальний характер і могли б бути конкретизовані числовими характеристиками продуктивності або масштабованості.

5. Робота містить деякі недоліки оформлення. Зокрема, форматування списку літератури не є однорідним, а таблиця 4.3 та рисунок 4.5 подані мовою, що відрізняється від мови написання дисертації.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і не знижують її рівень наукового та практичного значення.

Рекомендації щодо впровадження отриманих результатів. Одержані результати можуть бути використані для розв'язання актуальних задач комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану складних конструкцій, зокрема зварних, і технологічних процесів. Розроблені алгоритмічно-програмні засоби можуть бути інтегровані у високопродуктивні програмні комплекси для суперкомп'ютерів. Також результати можуть бути включені до навчально-методичного забезпечення відповідних навчальних курсів математичного і технічного спрямування.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Павлюка Антона Володимировича на тему «Високопродуктивні обчислення в задачах математичного моделювання для гібридних комп'ютерних архітектур» є завершеним науковим дослідженням, містить нові науково обґрунтовані результати досліджень, що мають теоретичне та практичне значення, забезпечуючи вирішення істотних проблем комп'ютерного моделювання об'єктів, процесів і явищ різної природи.

Дисертація написана українською мовою відповідно до вимог МОН України про мову та стиль написання дисертацій. Форма викладення матеріалу відповідає прийнятій у науковій літературі.

Автором роботи дотримані принципи академічної доброчесності, у дисертації та публікаціях відсутні академічний плагіат, самоплагіат, фабрикації, фальсифікації.

Дисертаційна робота А.В. Павлюка 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. Робота свідчить, що рівень набуття здобувачем теоретичних знань, умінь, навичок та компетентностей відповідає науковому ступеню доктора філософії, а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – «Прикладна математика».

Рецензент

завідувач лабораторією методів математичного моделювання процесів екології та енергетики
Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова
НАН України,
доктор фізико-математичних наук



Всеволод БОГАЄНКО

« 4 » серпня 2026 р.

