

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу

ПАВЛЮКА Антона Володимировича

"Високопродуктивні обчислення в задачах математичного моделювання для гібридних комп'ютерних архітектур",
подану на здобуття ступеня доктора філософії
у галузі знань 11 "Математика та статистика"
за спеціальністю 113 – "Прикладна математика".

Актуальність теми дисертації

Комп'ютерне моделювання на основі математичних моделей у скінченно-вимірних функціональних просторах, є універсальним засобом дослідження об'єктів, процесів і явищ різної природи. Актуальність теми визначається тим, що значна частина дискретних моделей потребує розв'язування задач лінійної алгебри, зокрема факторизації матриць великих порядків. Розв'язування таких задач потребує значних обчислювальних ресурсів, які надаються сучасними високопродуктивними комп'ютерами, в тому числі гібридної архітектури та multi-GPU системами. Для ефективного використання ресурсів сучасних суперкомп'ютерів, враховуючи постійне оновлення апаратно-програмних засобів, необхідно розробляти нові відповідні алгоритми високопродуктивних обчислень.

Дисертаційна робота А.В. Павлюка є актуальним дослідженням у галузі високопродуктивних обчислень. Робота спрямована на вирішення важливої задачі – побудову ефективних алгоритмів факторизації матриць для гібридних та multi-GPU комп'ютерних систем.

Оцінка обґрунтованості, достовірності та новизни наукових результатів і висновків дисертації.

Результати, які представлено у дисертаційній роботі А.В. Павлюка, є добре аргументованими як з теоретичного, так і з прикладного погляду. Наукові положення дисертації, висновки та рекомендації викладено послідовно, вони є актуальними та обґрунтованими.

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 алгоритмів високопродуктивних обчислень для розв'язування задач лінійної алгебри, зокрема факторизації матриць великих порядків.

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

Отримано наступні нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати:

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

– розроблено для multi-GPU систем блочно-циклічний алгоритм LU -розвинення стрічкових несиметричних матриць, який дозволяє скоротити обсяги пам'яті, обчислень і комунікацій за рахунок урахування особливості стрічкової структури матриці та топологію зв'язків між GPU;

– одержано обґрунтовані теоретичні оцінки обчислювальної складності, часу виконання, прискорення та ефективності запропонованих паралельних алгоритмів розвинення матриць; оцінки дозволяють вибрати параметри алгоритмів для умови їхнього ефективного застосування на мульти-GPU системах; теоретичні оцінки ефективності отримали експериментальне підтвердження при комп'ютерному моделюванні міцності зварних конструкцій.

Отримані результати можуть бути корисними для подальшого розвитку алгоритмічно-програмного забезпечення суперкомп'ютерів для математичного моделювання, а також для адаптації існуючих алгоритмів до нових поколінь високопродуктивних обчислювальних систем.

Практичне значення полягає у можливості використання розроблених методи та алгоритми високопродуктивних обчислень для розв'язання широкого кола розрахункових задач моделювання у науці та інженерії, де обчислювальною основою є розв'язування СЛАР великих порядків, зокрема аналізу напружено-деформованого стану складних конструкцій і споруд, прогнозування ресурсу відповідальних зварних конструкцій.

Наукові положення представлені в дисертаційній роботі мають достатньо високий рівень обґрунтування. Твердження зроблені здобувачем базуються на існуючій теоретичній базі обчислювальної математики, теорії паралельних обчислень тощо та мають експериментальне підтвердження.

Достовірність результатів забезпечується використанням відомого математичного апарату лінійної алгебри, коректним застосуванням методів паралельних обчислень, аналізом складності та експериментальною апробацією. Отримані результати узгоджуються з сучасними уявленнями про ефективну реалізацію блочних алгоритмів на гібридних архітектурах.

Використання сучасних бібліотек програм і технологій GPU-програмування підвищує практичну достовірність роботи, оскільки запропоновані алгоритми розглядаються не абстрактно, а у зв'язку з реальними програмно-апаратними засобами.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота написана українською мовою та оформлена у відповідності до вимог МОН України про мову та стиль написання дисертацій. Фор-

ма викладення матеріалу відповідає прийнятій у науковій літературі. Текст дисертації добре структурований, а кожен розділ поділений на логічні та зрозумілі підрозділи.

У першому розділі на основі аналізу методів розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь, сучасних форматів зберігання даних і засобів високопродуктивних обчислень обґрунтовано вибір блочних алгоритмів і схем розподілу елементів матриць.

У другому розділі запропоновано паралельний алгоритм LU -факторизації щільних матриць загального вигляду на multi-GPU обчислювальних системах. Використано двовимірний блочно-циклічний розподіл даних і обчислень, що дозволяє забезпечити більш рівномірне завантаження GPU, зменшивши прості обчислювальних пристроїв.

У третьому розділі запропоновано блочний алгоритм LU -факторизації стрічкових несиметричних матриць, які часто використовуються в дискретних математичних моделях. Урахування стрічкової структури дозволяє значно зменшити (на декілька порядків) витрати обчислювальних ресурсів – пам'яті та часу.

У четвертому розділі представлено результати апробації розроблених алгоритмів при розв'язуванні розрахункових задач аналізу напружено-деформованого стану конструкцій, зокрема зварних із дефектами локальної втрати металу. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих алгоритмів і прикладну спрямованість дисертації.

Дисертаційна робота А.В. Павлюка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Вважаю, що автор дотримався принципів академічної доброчесності.

Повнота викладення наукових положень та результатів в публікаціях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи А.В. Павлюка викладено у 9 публікаціях: 4 статтях у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 113 – "Прикладна математика" та 5 тезах доповідей, які опубліковано в матеріалах конференцій.

За результатами роботи А.В. Павлюка було зроблено доповіді на наукових конференціях, в тому числі і міжнародних: Міжнародній науковій конференції "Актуальні проблеми механіки - 2023", X міжнародній науковій конференції пам'яті д.т.н., проф А.Ф. Верланя, 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".

Публікації і доповіді повною мірою висвітлюють результати дисертаційного дослідження здобувача.

Зауваження та рекомендації до дисертаційної роботи

1. У роботі доцільно було б детальніше розглянути питання перенесення запропонованих підходів на гетерогенні кластери з кількома вузлами, де комунікаційні витрати можуть істотно відрізнятися від multi-GPU системи на одному вузлі.

2. Було б корисно подати окремий аналіз впливу точності обчислень, зокрема змішаної розрядності, на швидкодію та достовірність результатів.

3. У дисертації недостатньо розкрито питання відмовостійкості та надійності обчислень у довготривалих multi-GPU запусках.

4. Деякі рисунки і таблиці доцільно було б супроводити більш розгорнутим текстовим коментарем щодо інтерпретації результатів числових експериментів.

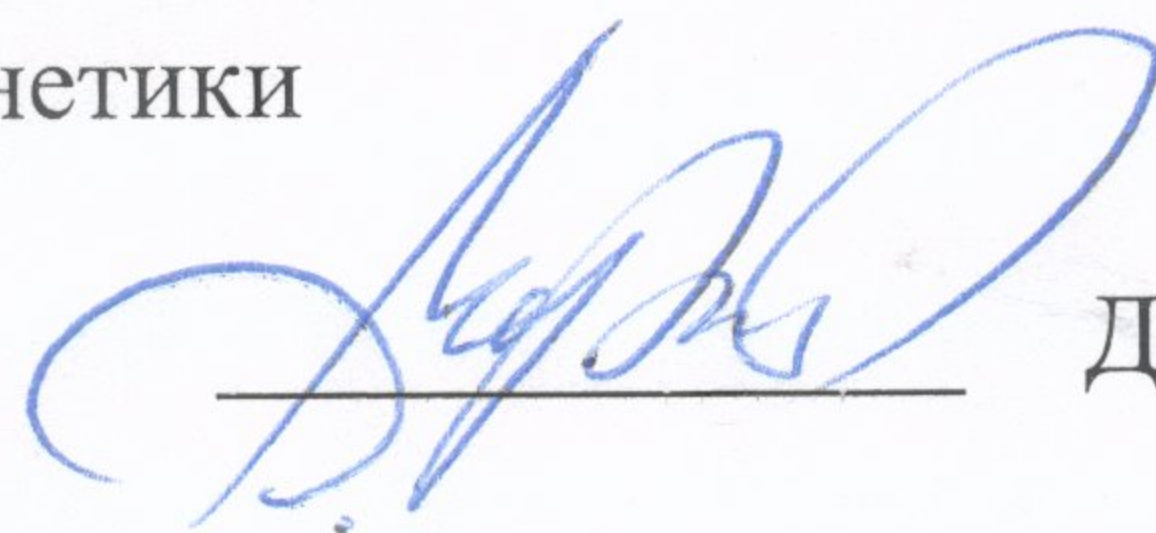
Усі ці зауваження мають переважно рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційна робота "Високопродуктивні обчислення в задачах математичного моделювання для гібридних комп'ютерних архітектур" є завершеним самостійним науковим дослідженням, яке містить нові науково обґрунтовані результати, що мають теоретичне і практичне значення, виконаним на високому професійному рівні і дозволяє зробити висновок про дисертанта Павлюка Антона Володимировича, як кваліфікованого вченого, здатного проводити самостійні наукові дослідження. Дисертація 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, Павлюк Антон Володимирович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 11 "Математика та статистика" за спеціальністю 113 – "Прикладна математика".

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент,
завідувач кафедри моделювання складних систем
факультету комп'ютерних наук та кібернетики
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



Дмитро ЧЕРНІЙ

« 05 » червня 2026 р.

Підпис Д.І. Чернія засвідчую



Дмитро ЗАТЧУА
заст. ректора