

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора фізико-математичних наук, професора

ПЕТРИКА Михайла Романовича

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».

1. Актуальність теми дисертації

Математичне моделювання та комп'ютерний експеримент відіграють важливу роль у вирішенні проблем сучасної науки та інженерії. Для забезпечення якості та достовірності результатів моделювання використовуються дискретні математичні моделі з великою кількістю невідомих. Тому розрахункові задачі, що виникають, часто формулюються у матричній формі з матрицями великих порядків різного вигляду і структури, розв'язування таких задач потребує значних обчислювальних ресурсів. Такі ресурси надаються сучасними суперкомп'ютерами, потужність яких невідомо зростає. Для ефективного використання високопродуктивних обчислювальних систем необхідно постійно вдосконалювати методи та алгоритми розв'язування розрахункових задач математичного моделювання на новітніх комп'ютерних системах, зокрема гібридної архітектури, а також мульти-GPU системах. Враховуючи, що більшість розрахункових задач потребує розв'язування задач лінійної алгебри, актуальним є розроблення високопродуктивних алгоритмів розв'язування цих задач (і зокрема факторизації матриць) на високопродуктивних обчислювальних системах, в тому числі на мульти-GPU системах. Тому вважаю, що тема дисертаційного дослідження є актуальною та становить інтерес як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробленні методів і паралельних алгоритмів високопродуктивних обчислень, орієнтованих на ефективне використання ресурсів комп'ютерів гібридної архітектури та мульти-GPU систем.

Для розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь запропоновано паралельний алгоритм LU -розвинення щільних матриць на мульти-GPU ситемах на основі двовимірного блочно-циклічного розподілу даних і обчислень, що забезпечує рівномірне завантаження графічних прискорювачів і зменшення комунікаційних витрат між ними; алгоритмічну схему LU -факторизації щільних матриць на основі двовимірного блочно-циклічного розподілу даних, адаптовану до виконання на кількох GPU.

Суттєвим результатом є також розроблення блочно-циклічного алгоритму LU -розвинення несиметричних стрічкових матриць. Урахування стрічкової структури матриці дає змогу зменшити кількість арифметичних операцій і витрати пам'яті та підвищити ефективність виконання на архітектурах з обмеженою локальною пам'яттю GPU.

Автором отримано оцінки обчислювальної складності, прискорення та ефективності запропонованих алгоритмів, ці результати сформульовано у декількох теоремах. Такі оцінки є необхідними для обґрунтування масштабованості алгоритмів і визначення умов, за яких їх використання є доцільним.

Основні наукові положення та висновки мають належне теоретичне обґрунтування. Теоретичні положення, що представлені у роботі, та їх достовірність підтверджено коректно поставленими чисельними експериментами. 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.

Вважаю, що наукові положення і висновки дисертаційного дослідження є достатньо обґрунтованими і достовірними.

3. Практична цінність отриманих результатів

Розроблені методи та алгоритми високопродуктивних обчислень можна використовувати для розв'язання великої кількості сучасних задач моделювання у науці та інженерії, зокрема аналізу напружено-деформованого стану складних конструкцій і споруд, прогнозування ресурсу відповідальних зварних конструкцій, а також інших задач, які потребують розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь великих порядків. Розроблені підходи можуть бути використані

для створення програмних комплексів для розв'язування прикладних задач науки та інженерії на сучасних високопродуктивних обчислювальних системах.

4. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Представлена дисертаційна робота А.В. Павлюка складається зі вступу, 4 розділів та висновків. За своїм змістом дисертаційна робота повністю відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 113 «Прикладна математика» та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна математика». Матеріал дисертації добре структурований, а кожен розділ поділений на логічні та зрозумілі підрозділи. Структура дисертації відповідає логіці дослідження: від аналізу теоретичних і алгоритмічних засад до розроблення конкретних паралельних алгоритмів і демонстрації їх застосування в прикладних задачах.

Дисертаційна робота написана українською мовою та оформлена відповідно до чинних нормативних вимог, що висуваються до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертаційна робота А.В. Павлюка є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Вважаю, що порушень принципів академічної доброчесності в представленому тексті дисертації не виявлено.

5. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні положення та результати дисертаційної роботи досить повно викладено в 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. Публікації повною мірою висвітлюють результати дисертаційного дослідження, проведеного здобувачем.

Результати проведених досліджень доповідались на 5 наукових та науково-практичних конференціях, в тому числі міжнародних. Це дає підстави вважати, що апробація роботи є достатньою для дисертації на здобуття ступеня доктора філософії.

6. Зауваження до дисертаційної роботи і побажання

Дисертаційне дослідження як будь-яке наукове дослідження, не позбавлене окремих недоліків, які можуть бути враховані у подальшій науковій діяльності автора.

1. У роботі бажано було б ширше розкрити питання чисельної стійкості запропонованих алгоритмів у випадку погано обумовлених матриць і наближених вихідних даних.

2. Необхідно було б подати більш докладний аналіз комунікаційної складової мульти-GPU алгоритму, зокрема співвідношення між обчисленнями, обмінами даними та синхронізаціями.

3. У розділі з експериментальними результатами варто було б розширити порівняння з базовими реалізаціями на CPU та одній GPU для наочнішої демонстрації переваг мульти-GPU підходу.

4. Окремі результати щодо застосування алгоритмів у задачах математичного моделювання можна було б подати з більш детальним описом вихідних даних і параметрів чисельного експерименту.

7. Загальний висновок

Зазначені зауваження не є принциповими, мають дискусійний або рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертація А.В. Павлюка «Високопродуктивні обчислення в задачах математичного моделювання для гібридних комп'ютерних архітектур» повністю 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 Володимировича, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 – «Прикладна математика».

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри програмної інженерії
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя

Михайло Петрик

« 4 » 06 2026 р.



Михайло Петрик
Антон Павлюк