

## **РЕЦЕНЗІЯ**

рецензента, декана факультету комп'ютерної інженерії та  
інформаційних технологій

Харківського національного університету радіоелектроніки,

кандидата технічних наук, доцента

Ляшенка Олексія Сергійовича

на дисертаційну роботу Мамчича Олександра Олександровича

**«Моделі, методи та інформаційна технологія хмарних обчислень на  
основі мобільних пристроїв»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 12 «Інформаційні технології»

за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Постійне збільшення обсягів хмарних і високопродуктивних обчислень супроводжується зростанням енергоспоживання обчислювального обладнання, мережевої інфраструктури та систем забезпечення дата-центрів. За таких умов підвищення продуктивності обчислювальних систем не може розглядатися окремо від енергетичної вартості виконання задач. Особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на пошук додаткових обчислювальних ресурсів і побудову методів обґрунтованого вибору енергоефективної апаратної конфігурації.

Сучасні мобільні пристрої оснащуються потужними та ефективними обчислювальними модулями, а їх залучення як вузлів розподіленої обчислювальної системи потенційно дає змогу використовувати вже наявні обчислювальні ресурси, зменшувати потребу у спеціалізованому обладнанні та підвищувати енергоефективність виконання обчислювальних задач.

Разом із тим мобільно орієнтовані обчислювальні середовища характеризуються значною гетерогенністю апаратного і програмного забезпечення, мінливою доступністю вузлів, залежністю продуктивності від температурного режиму, а також нестабільністю каналів зв'язку. Використання персональних пристроїв, над якими немає фізичного контролю, додатково породжують ризики інформаційної безпеки. Застосування відповідних

механізмів інформаційної безпеки та надійності, своєю чергою, створює додаткові обчислювальні й енергетичні витрати.

Тому науково обґрунтоване оцінювання і прогнозування енергоспоживання гетерогенних розподілених систем, до складу яких входять мобільні та стаціонарні вузли, є актуальною науково-технічною задачею. Обрана Мамчишем Олександром Олександровичем тема дисертаційної роботи відповідає сучасним напрямкам розвитку інформаційних систем і технологій та має наукове і практичне значення.

### **Оцінка структури та змісту дисертації**

Дисертація має логічну структуру і складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку джерел посилання та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження та наведено положення наукової новизни.

У першому розділі проаналізовано стан розвитку хмарних, високопродуктивних і волонтерських обчислень, сучасні підходи до оцінювання енергоспоживання мобільних платформ, мережевого обладнання та розподілених систем. За результатами аналізу сформульовано науково-технічні завдання роботи.

Другий розділ присвячено методу порівняння енергетичних витрат окремих мобільних і стаціонарних пристроїв. У третьому розділі побудовано уніфіковану модель розподіленої обчислювальної системи та метод прогнозування витрат енергії. Окремо формалізовано систему, обчислювальну роботу і стратегію розподілу задач. Продемонстровано застосування моделі для порівняння мобільних платформ та одноплатних комп'ютерів у системі просторової орієнтації.

У четвертому розділі сформовано інформаційну технологію хмарних обчислень на основі мобільних пристроїв та розширено модель засобами урахування енергетичних витрат механізмів інформаційної безпеки. Наведені результати ілюструють компроміс між енергоефективністю, надійністю та рівнем захищеності розподіленої системи.

У висновках узагальнено результати роботи відповідно до поставлених завдань. Структура дисертації відображає послідовний перехід від аналізу предметної області до розроблення окремого методу, побудови моделі, її програмної та експериментальної перевірки і формування цілісної інформаційної технології.

### **Практичне значення роботи**

Практичне значення роботи полягає у можливості попередньо оцінювати енергетичну доцільність використання мобільних, стаціонарних або змішаних конфігурацій для конкретної обчислювальної задачі. Запропонована технологія може застосовуватися для порівняння апаратних платформ, аналізу стратегій розподілу задач, оцінювання мережових витрат та визначення енергетичної ціни заходів інформаційної безпеки.

Практичну придатність підходу продемонстровано на прикладах матричних обчислень, трасування променів, інференсу моделей комп'ютерного зору та вибору платформи для систем просторової орієнтації. Результати використано під час виконання НДР «Система асистованого супроводу динамічних об'єктів», номер державної реєстрації 0124U003837, що підтверджує прикладне спрямування дослідження.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Вперше запропоновано метод порівняння енергетичних витрат стаціонарних та мобільних обчислювальних платформ, який відрізняється використанням алгоритмічно ідентичної референсної задачі та можливістю точного контролю обсягу обчислень, що забезпечує зіставлення та прогнозування енергоспоживання, та експериментально підтвердило можливість зменшення витрат енергії на обчислення на 48% при використанні мобільного пристрою.

Вперше запропоновано метод та уніфіковану модель прогнозування витрат енергії в розподілених обчислювальних системах на основі мобільних та стаціонарних обчислювальних пристроїв, які, на відміну від існуючих підходів до прогнозування параметрів виконання обчислень у розподілених системах, комплексно враховують витрати енергії на обчислення та передачу

даних, особливості мобільного і стаціонарного обладнання, а також структуру обчислювальної задачі, що дозволяє підвищити енергоефективність виконання задач у розподілених обчислювальних середовищах та, за результатами експериментальних досліджень, зменшити енергоспоживання до 71%;

Удосконалено уніфіковану модель прогнозування витрат енергії, яка, на відміну від існуючих моделей, враховує енергетичний вплив механізмів інформаційної безпеки на процес виконання обчислень у розподілених системах на основі мобільних пристроїв, що дозволяє визначати параметри застосування заходів інформаційної безпеки з урахуванням енергоефективності та забезпечує додатковий рівень захищеності, водночас зменшуючи енергоспоживання до 61% навіть за умови наявності недоброчесних вузлів у мережі.

Наукові положення утворюють послідовну систему: метод оцінювання окремого пристрою забезпечує вихідні параметри для уніфікованої моделі, модель є основою прогнозування поведінки розподіленої системи та основою запропонованої інформаційної технології.

### **Публікації здобувача**

За поданим у дисертації списком результати дослідження оприлюднено в 11 наукових працях, серед яких чотири статті та сім матеріалів і тез конференцій. Тематика публікацій охоплює оцінювання енерговитрат мобільних пристроїв, уніфіковану модель прогнозування енергоспоживання, урахування ризиків інформаційної безпеки та практичне порівняння апаратних платформ.

Зміст публікацій відповідає основним положенням дисертації. Особистий внесок здобувача у спільних публікаціях описаний у вступі та полягає у формуванні методів, розробленні уніфікованої моделі, проведенні експериментів і аналізі отриманих результатів.

### **Дотримання принципів академічної доброчесності**

За результатами ознайомлення зі структурою дисертації, системою посилань на використані джерела та відомостями кафедрального обговорення ознак некоректного використання результатів інших авторів не виявлено.

Запозичені положення супроводжуються відповідними посиланнями, а результати, які автор відносить до власного наукового внеску, виокремлено в положеннях наукової новизни

### **Зауваження щодо роботи**

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу загалом, необхідно висловити такі зауваження та побажання.

1. Основна експериментальна база мобільних платформ сформована з пристроїв Apple. Зокрема, у вимірювальному стенді на с. 73 зазначено iPhone 12 mini, iPhone 16 Pro та iPhone 13 Pro Max; експеримент розділу 2 виконано на iPhone 12 mini (с. 77-83), а у практичному порівнянні на с. 122-126 клас смартфонів також представляють iPhone. Це дає переконливі результати для екосистеми Apple, однак не повною мірою підтверджує перенесення методу на інші мобільні SoC, зокрема пристрої під керуванням Android. Доцільно було б доповнити експериментальну базу хоча б однією Android-платформою або чіткіше сформулювати процедуру повторного калібрування методу для іншої операційної системи й апаратної архітектури.

2. Формалізований опис методу на с. 83-85 задає загальну послідовність вибору референсної задачі, вимірювання спожитої енергії та обчислення показника енергоефективності. Водночас критерій того, наскільки референсна задача відповідає реальному навантаженню, сформульовано переважно якісно. Для підвищення відтворюваності доцільно було б визначити формалізований профіль відповідності, наприклад за часткою операцій CPU/GPU, інтенсивністю доступу до пам'яті, обсягом мережевого обміну та характером паралелізму.

3. На с. 84 допускається зміна кількості ітерацій і розмірності вхідних даних референсної задачі, а на с. 85 передбачено виконання щонайменше трьох вимірювань із подальшим усередненням. Проте не наведено кількісного критерію вибору необхідної кількості ітерацій, тривалості навантаження і достатньої кількості повторів. Бажано було б обґрунтовувати ці параметри досягненням сталого теплового режиму та заданої статистичної точності, а разом із середнім значенням подавати дисперсію, довірчий інтервал або інший показник розкиду результатів.

4. У розділі 2 реалізації референсної задачі на Metal і CUDA названо структурно ідентичними (с. 77-81), а під час перевірки моделі використано реалізації трасування променів на C++, CUDA та Metal із бібліотеками GLM і Apple SIMD (с. 101-108). На с. 108 зазначено, що можливі відмінності машинного коду не можуть бути суттєвими. Проте така теза потребує додаткового експериментального підтвердження, оскільки компілятори, векторизація, організація пам'яті та механізми виконання CUDA і Metal здатні створювати різні фактичні навантаження. Доцільним було б навести параметри компіляції, результати перевірки числової еквівалентності та, за можливості, апаратні лічильники операцій і звернень до пам'яті.

5. Для різних класів пристроїв використано неоднакові межі вимірювання. Енергоспоживання стаціонарного GPU визначається переважно за його внутрішньою телеметрією, тоді як для смартфона застосовується оцінка повного споживання через акумулятор або зовнішній стенд (с. 70-74, повністю симетричним. Однак для точнішої інтерпретації результатів бажано було б окремо подавати два показники: енергію цільової обчислювальної підсистеми та повну енергію платформи, а також кількісно оцінювати невизначеність, зумовлену різними межами вимірювання.

Наведені зауваження мають переважно уточнювальний і рекомендаційний характер, окреслюють напрями розширення експериментальної бази та вдосконалення методики, але не знижують наукової і практичної цінності отриманих результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Мамчича Олександра Олександровича «Моделі, методи та інформаційна технологія хмарних обчислень на основі мобільних пристроїв» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальну науково-технічну задачу підвищення енергоефективності гетерогенних розподілених обчислювальних систем шляхом розроблення моделей, методів та інформаційної технології використання мобільних пристроїв.

Отримані результати мають наукову новизну, теоретичне і практичне значення, пройшли програмну та експериментальну перевірку й достатньо повно відображені у наукових публікаціях здобувача. Зміст роботи та спрямованість отриманих результатів відповідають спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології».

За актуальністю, обсягом виконаних досліджень, науковою новизною, обґрунтованістю основних положень і практичною цінністю дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Мамчич Олександр Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

**Рецензент:**

кандидат технічних наук, доцент

декан факультету

комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій

Олексій ЛЯШЕНКО

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.