

ЗАТВЕРДЖУЮ



Ректор Державного університету
«Житомирська політехніка»
Оксана ОЛПІНИК

05 2026 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Сапожника Дмитра Олеговича на тему: «Методи та алгоритми для розв'язання задачі максимального розрізу за допомогою квантово-гібридних алгоритмів», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Науковий рівень дисертаційної роботи Сапожника Дмитра Олеговича на тему: «Методи та алгоритми для розв'язання задачі максимального розрізу за допомогою квантово-гібридних алгоритмів» відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії.

Робота містить нові наукові результати, які в сукупності вирішують актуальну та важливу науково-прикладну задачу підвищення ефективності розв'язання задач комбінаторної оптимізації в умовах обмежених обчислювальних ресурсів шляхом розробки методів і алгоритмів квантово-гібридного розв'язання задачі максимального розрізу з урахуванням особливостей сучасних квантових обчислювальних систем.

Актуальність теми дослідження. Розвиток інформаційних технологій та зростання складності обчислювальних задач створюють передумови для вдосконалення методів розв'язання задач комбінаторної оптимізації. Однак, існуючі підходи до розв'язання задачі максимального розрізу (Max-Cut), яка належить до класу NP-складних проблем, не забезпечують ефективного

отримання точних розв'язків для задач великої розмірності. Сучасні реалії обробки великих графових структур призводять до значного зростання обчислювальних витрат, що створює нові виклики щодо забезпечення масштабованості та якості розв'язків. Традиційні методи, такі як алгоритм Г'юеманса-Вільямсона, жадібні, еволюційні алгоритми та методи локального пошуку, не забезпечують необхідного балансу між точністю та обчислювальною складністю, а також не гарантують отримання оптимальних розв'язків. Технології квантових обчислень мають значний потенціал для вирішення задач оптимізації, проте їх ефективність обмежується складністю параметричної оптимізації та впливом шуму в умовах NISQ-ери. Існуючі варіаційні алгоритми, зокрема QAOA, потребують багатоітераційної класичної оптимізації параметрів, що ускладнює їх практичне застосування на сучасних квантових пристроях.

Відповідно, обрана Д. О. Сапожником тематика дослідження методів і алгоритмів квантово-гібридного розв'язання задачі максимального розрізу є своєчасною, актуальною та малодослідженою, що потребує приділення більш детальної уваги з боку науковців у сфері інженерії програмного забезпечення та квантових обчислень.

Наукову новизну отриманих результатів представлено науковими положеннями, в яких *вперше*:

- розроблено квантово-гібридний алгоритм QASPA для розв'язання задачі максимального розрізу графа, який, на відміну від алгоритму QAOA, реалізує одноітераційну архітектуру без використання багатоітераційної класичної оптимізації параметрів, що дозволяє зменшити обчислювальні витрати та забезпечує стабільність результатів із досягненням 100% успішності виконання алгоритму для досліджених випадків при середньому коефіцієнті апроксимації в межах 0.98-1.00;

- запропоновано детермінований метод графо-залежної параметризації варіаційної квантової схеми, що базується на відображенні структури графа у матрицю кутів обертання з фіксованим значенням $\pi/4$ для наявних ребер та реалізує фазове кодування зв'язків графа через обертання навколо осі O_y ;

– розроблено метод масштабування кількості квантових запусків на основі афінно-експоненційної апроксимації, який дозволяє визначати статистично достатню кількість вимірювань для ідентифікації оптимального розв’язку при зростанні розмірності задач;

– запропоновано метод побудови квантових схем для задач комбінаторної оптимізації, що передбачає використання шару гейтів Адамара та тригейтового блоку CX-RY-CX для кодування ребер графа та забезпечує зменшення глибини квантового кола і адаптацію до обмежень сучасних квантових процесорів.

Практичне значення одержаних результатів одержаних результатів полягає у тому, що: розроблено програмні рішення для розв’язання задач комбінаторної оптимізації на основі квантово-гібридного алгоритму QASPA для оптимізації логістичних маршрутів, балансування навантаження в мережевих системах та задачах розподілу ресурсів; створено прикладні програмні модулі для інтеграції з платформами квантових обчислень (зокрема IBM Quantum) для практичної апробації та використання алгоритму на симуляторах і реальних квантових процесорах; розроблено методичний підхід до перетворення прикладних задач у графові моделі типу Max-Cut та їх розв’язання за допомогою квантово-гібридного алгоритму QASPA, що включає правила побудови квантових схем, визначення параметрів та оцінювання результатів і може бути використаний у системах підтримки прийняття рішень.

Теоретичні та практичні результати дослідження пройшли апробацію у компаніях, що підтверджується відповідними довідками про впровадження, зокрема у ТОВ «Альянс Діджитал», у компанії ТОВ «УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ» та у компанії ТОВ «Н-ІКС ДЕЛІВЕРІ».

Апробація результатів дисертації. Основні ідеї дисертаційного дослідження було оприлюднено на 6 міжнародних та всеукраїнських наукових та науково-практичних конференціях.

Повнота опублікування результатів дослідження. Основні положення дисертації викладено у 11 наукових працях, з них 4 статті у фахових наукових

виданнях України категорії «Б», 1 стаття опублікована у матеріалах міжнародної конференції з індексацією у базі даних Scopus та 6 у матеріалах наукових конференцій.

Основні публікації, що відтворюють наукові результати проведеного дослідження:

1. Статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії «Б»:

– Сапожник Д. О. Процес перетворення високорівневих квантових вентилів у базові для виконання на реальному квантовому комп'ютері. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. Т. 2, № 2(93). С. 327–332. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2025.2.2.40.

– Сапожник Д. О. Аналіз можливостей мови програмування Q# шляхом реалізації програми для генерації випадкових чисел. Технічна інженерія. 2024. № 1(93). С. 240–245. DOI: 10.26642/ten-2024-1(93)-240-245.

– Сапожник Д. О. Розв'язання задачі максимального розрізу графа за допомогою квантово-гібридного амплітудно-стохастичного алгоритму. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 2025. № 2 (14). С. 96–101. DOI: 10.20998/2079-0023.2025.02.13.

– Сапожник Д. О. Методи та напрями застосування квантових комп'ютерів у криптографії та логістиці. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2025. Т. 2, № 5. С. 260–265. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.5.2/34>.

2. Статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до науково-метричної бази Scopus:

– Sapozhnyk D. Quantum Approximate Optimization Algorithm for the Max-Cut Problem: JavaScript Programming Language Implementation. Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. 2024. Vol. 12, iss. 2. Pp. 27–34. DOI: 10.25673/118110.

3. Публікації за доповідями та матеріалами міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій:

– Сапожник Д. О. Квантове програмування мовою Q#: перспективи та застосування. Тези XIV Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2024». Житомир. 28–29 берез. 2024. С. 104–105.

– Сапожник Д. О. Квантовий гейт Адамара, реалізація у мові програмування Q#. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки. Житомир. 13–17 трав. 2024. С. 50.

– Сапожник Д. О. Перспективи розв'язання пр-повних задач за допомогою квантового програмування. Тези XIV міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології 2024», Одеса. 24 трав. 2024. С. 98–100.

– Сапожник Д. О. Програмні засоби поширення публічної бібліотеки для роботи з квантовими обчисленнями у мові програмування javascript. Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2024) тези двадцять четвертої міжнародної науково-технічної конференції. Харків. 20–23 верес. 2024. С. 123–124.

– Сапожник Д. О., Морозов А. В. Економічні та промислові застосування квантових комп'ютерів. Сучасні інформаційні системи та технології: матеріали VII Всеукр. наук. практ. інтернет-конф. за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні» (29 листопада 2024 р., м. Херсон, м. Хмельницький) / за ред. А. А. Григорової. Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. 2024. С.113-116.

– Сапожник Д. О. QUBO матриці для розв'язання пр-повних задач на квантовому комп'ютері. Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-технічної конференції Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення. Житомир. 2–3 груд. 2024. С. 242–243.

Вищенаведені праці повною мірою відображають основні результати дисертації і відповідають вимогам п. 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу

вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ № 44 від 12 січня 2022 року.

Дисертаційна робота виконана самостійно та не містить елементи академічного плагіату (копіляції), що підтверджено перевіркою в системі StrikePlagiarism.com.

Висновок. Дисертаційна робота Сапожника Дмитра Олеговича на тему: «Методи та алгоритми для розв'язання задачі максимального розрізу за допомогою квантово-гібридних алгоритмів» є завершеною науковою роботою, метою якої є розробка методів та алгоритмів для розв'язання задачі максимального розрізу за допомогою квантово-гібридних алгоритмів.

Дисертаційна робота за своїм науковим рівнем, актуальністю виконаних досліджень, практичним значенням, обсягом і оформленням повністю відповідає вимогам п. 6-9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ № 44 від 12 січня 2022 року, щодо дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Головуючий на засіданні:

Завідувач кафедри інженерії
програмного забезпечення

д.пед.н., професор



Тетяна ВАКАЛЮК