

Дрончак Т.О., студентка
*Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана*
dronchaktatiana@gmail.com

Каленіченко В.О., студентка
*Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана*
victoriya44250@gmail.com

Скіцько В.І., к.е.н., доцент
*Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана*
skitsko@kneu.edu.ua

КВАНТОВІ ОБЧИСЛЕННЯ В BIG DATA: ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОБМЕЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

Цифровізація зумовила як зростання обсягів даних, так і їх ускладнення. Водночас сучасні підходи обробки інформації обмежені обчислювальними потужностями і мають високий рівень енергоспоживання. Тому, рішення цієї ситуації може бути використання квантових обчислень. Вони здатні не просто знизити витрати, а й спроможні забезпечити по-справжньому ефективний аналіз великих масивів даних.

На відміну від традиційних комп'ютерів, які працюють з бітами, квантові використовують кубіти. Тобто, вони використовують не лише 0 та 1, а ще й комбінацію цих двох станів одночасно, що називається квантовою суперпозицією. Це дозволяє квантовим системам обробляти велику кількість варіантів одночасно, що називається квантовим паралелізмом. Крім того, кубіти здатні настільки сильно взаємодіяти, що зміна стану одного миттєво впливає на стан іншого, незалежно від відстані між ними. Ця особливість відкриває абсолютно нові можливості для виконання надскладних обчислень. Саме тому однією із ключових переваг квантових обчислень є їхня здатність ефективно справлятися з надвеликим масивом даних в контексті Big Data [1].

Однією з проблем Big Data є обмежена ефективність використання класичних підходів розв'язання задач високої обчислювальної складності, зокрема, NP-складних задач. Через архітектурні обмеження класичних систем та нелінійну складність алгоритмів, збільшення обсягів даних призводить до зростання часу обробки та енергоспоживання [2].

Сучасні центри обробки даних споживають дуже багато енергії. Приблизно 3% світової електроенергії витрачається на процеси обчислення та охолодження обладнання таких центрів [1]. Завдяки квантовим алгоритмам виконання складних задач може суттєво змінитися, зокрема, отримання результату може пришвидшитися. А це потенційно зумовлює зниження споживання електроенергії і відповідних витрат, зокрема, щодо охолодження інфраструктури [1].

У Big Data економічну ефективність квантових обчислень можна оцінювати за показником сукупної вартості володіння (Total Cost of Ownership, TCO), до якого відносять капітальні витрати (capital expenditure, CAPEX), операційні витрати (operating expense, OPEX) [3]. Можна припустити, що попри високий рівень капітальних витрат, квантові обчислення в довгостроковій перспективі здатні призвести до зменшення TCO.

Станом на сьогодні існує багато добре досліджених квантових алгоритмів, кожен з яких орієнтований на розв'язання певного класу задач. Загалом квантові алгоритми можна згрупувати наступним чином:

- алгоритми пошуку. Використовуються для швидкого перебору варіантів у великих наборах даних. Наприклад, алгоритм Гровера;
- алгоритми для математичних обчислень. Призначені для виконання складних обчислень, які важко здійснити за допомогою звичайних комп'ютерів. Наприклад, алгоритм Шора (використовується для факторизації великих чисел), алгоритм Гарроу-Хасідіма-Ллойда (HHL), який використовується для розв'язання систем лінійних рівнянь;
- оптимізаційні алгоритми. Використовуються у пошуку найкращого рішення (або наближеного до оптимального рішення) у складних задачах. Наприклад, алгоритм квантової апроксимаційної оптимізації (QAOA), варіаційний квантовий алгоритм (VQE);
- алгоритми квантового машинного навчання (QML). Використовуються для аналізу складних і високовимірних даних, класифікації та виявлення закономірностей [2].

Попри значний потенціал квантових обчислень, їх практичне застосування наразі супроводжується низкою суттєвих обмежень і ризиків. Для сучасного етапу розвитку квантових технологій характерним є використання квантових пристроїв із обмеженою кількістю кубітів та високим рівнем шуму. Такий етап називається квантовою ерою шумних обчислень проміжного масштабу (Noisy Intermediate-Scale Quantum, NISQ) [1]. До ключових проблем NISQ можна віднести декогеренцію, неточність виконання квантових операцій, обмеження взаємодії між кубітами, складність масштабування систем тощо [4]. Хоча квантові комп'ютери вже показали, що можуть перевершити класичні в певних експериментальних задачах, проте ці досягнення поки що не мають широкого прикладного значення і важко масштабуються до реальних бізнес-потреб [1]. Ще однією проблемою є підготовка та кодування даних. Часто процес перетворення звичайних даних у квантову форму вимагає значних ресурсів, що може звести нанівець очікуване прискорення обчислень. Крім того, концепція квантової пам'яті (QRAM) здебільшого залишається теоретичною та складною для практичної реалізації [1].

Тому на сьогодні найбільш реалістичним підходом видається застосування гібридних обчислювальних систем, в яких квантові процесори (QPU) виконують окремі складні обчислювальні підзадачі, а класичні системи забезпечують обробку та підготовку даних [1].

При цьому квантові обчислення розглядаються як досить перспективний інструмент для роботи з Big Data. Завдяки принципу суперпозиції вони можуть одночасно аналізувати значну кількість сценаріїв, що особливо важливо для завдань з високим рівнем невизначеності. Серед найперспективніших сфер застосування квантових алгоритмів можна виділити оптимізацію інвестиційних портфелів, фінансовий ризик-менеджмент, логістику та оптимізацію маршрутів, машинне навчання, криптографію тощо [5].

Ключовою перевагою квантових обчислень є потенційне значне прискорення обробки складних даних. Це, у свою чергу, може скоротити час на аналітичні процедури та може підвищити швидкість ухвалення управлінських рішень. У бізнес-контексті така перевага відкриває можливості для більш оперативної реакції на зміни ринку та підвищення ефективності планування. Водночас економічна доцільність використання квантових технологій залишається дискусійним питанням, зокрема, через високу вартість розробки та експлуатації квантових систем, а також їх обмежену доступність.

До того моменту, коли квантові обчислення стануть буденністю, потрібно вже зараз вирішувати завдання за такими напрямками: удосконалення технології квантових обчислень з метою подолання усіх обмежень її використання; розробка законодавства, зокрема, в контексті кібербезпеки; підготовка кваліфікованих фахівців, які мають орієнтуватися в квантових алгоритмах, уміти практично їх застосовувати тощо.

Список використаних джерел

1. Ilyas M., Ilyas R. The role of quantum computing in future big data processing: A comprehensive review. *Journal of Engineering and Computational Intelligence Review*. 2024. 2(1), 9–17. <https://jecir.com/index.php/jecir/article/view/16>.

2. Quantum Algorithms Guide: Principles, Types, and Use Cases. SpinQ. 27.05.2025. <https://www.spinquanta.com/news-detail/the-ultimate-guide-to-quantum-algorithms>.
3. Як правильно розрахувати TCO (total cost of ownership) для складської техніки. UWE. 15.09.2025. <https://uwe.com.ua/blog/yak-pravyln-rozrakhuvaty-tco-total-cost-of-ownership-dlia-skladskoi-tekhniky>.
4. Yasar K. What is NISQ computing? Pros and cons. TechTarget. 14.05.2025. <https://www.techtarget.com/searchcio/definition/NISQ-computing>.
5. Корж Р.В. Квантова економіка: ключові особливості та постулати. Економіка та підприємництво. 2024. № 52. С. 17-26. <http://doi.org/10.33111/EE.2024.52.KorzhR>.