

УДК 004.056.5:530.145

**Головко Є. В.**

**ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ КУБІТІВ  
У СИСТЕМАХ КВАНТОВОЇ СТЕГАНОГРАФІЇ**

З розвитком квантових обчислень виникають нові можливості для підвищення рівня захисту інформації. Одним із перспективних напрямів є квантова стеганографія, що дозволяє приховувати повідомлення у квантових зображеннях без помітного впливу на їх структуру. Основною особливістю таких систем є використання кубітів як базових одиниць зберігання та обробки інформації. Однак сучасні квантові комп'ютери мають обмежені ресурси, зокрема невелику кількість доступних кубітів та значний рівень

*Міжнародна науково-практична конференція 17 березня 2026 року, м. Харків*

шуму. Це створює необхідність оптимізації алгоритмів, що використовуються у квантових стеганографічних системах. Рациональне використання кубітів дозволяє підвищити ефективність обчислень, зменшити складність схем квантових операцій та покращити масштабованість системи [1, 2].

Метою даної роботи є аналіз підходів до оптимізації використання кубітів у квантовій стеганографії та визначення можливих напрямів підвищення ефективності таких систем.

Квантова стеганографія базується на використанні спеціалізованих моделей представлення зображень у квантовому середовищі, які забезпечують можливість кодування візуальної інформації у квантових станах. Такі моделі дозволяють застосовувати властивості квантових систем для виконання паралельних операцій над даними та реалізації алгоритмів приховування інформації. Серед найбільш поширених моделей представлення квантових зображень важливе місце займають підходи FRQI та NEQR, які відрізняються способом кодування піксельної інформації та вимогами до квантових ресурсів [3].

Модель FRQI (Flexible Representation of Quantum Images) використовує амплітудне кодування для представлення кольорової інформації. У межах цього підходу координати пікселів і значення їх інтенсивності кодуються у вигляді квантового стану суперпозиції. Такий спосіб представлення дозволяє обробляти всі пікселі зображення одночасно, що забезпечує можливість використання квантового паралелізму. Наприклад, операції зміни яскравості або модифікації окремих бітів кольорової інформації можуть виконуватися одночасно для всього зображення. Однак підготовка такого квантового стану потребує значної кількості керованих квантових операцій, що призводить до збільшення обчислювальної складності квантових схем.

Альтернативним підходом є модель NEQR (Novel Enhanced Quantum Representation), у якій значення інтенсивності пікселя представляється у вигляді двійкового числа, закодованого у наборі кубітів. Координати пікселів при цьому зберігаються в окремому квантовому регістрі. Такий спосіб кодування значно спрощує процедуру підготовки квантового стану та виконання операцій над зображенням. Наприклад, зміна молодшого біта інтенсивності пікселя, яка часто використовується у стеганографічних алгоритмах, може бути реалізована за допомогою стандартних квантових логічних елементів. Завдяки цьому зменшується кількість необхідних квантових операцій та підвищується ефективність використання кубітів.

Важливим напрямом оптимізації квантових ресурсів є попередня обробка зображень перед їх кодуванням у квантовому середовищі. Застосування методів стиснення дозволяє зменшити обсяг вихідних даних, що безпосередньо впливає на кількість кубітів, необхідних для представлення зображення. Зменшення роздільної здатності або використання методів квантування кольорів дозволяє скоротити кількість бітів, які необхідно закодувати у квантовому стані.

Підвищення ефективності також досягається шляхом використання структурованих методів обробки зображень. Зокрема, доцільним є застосування блокової організації даних, коли кілька сусідніх пікселів об'єднуються в один блок і обробляються як єдина структура. Наприклад, використання блоків розміром  $2 \times 22$  або  $4 \times 44$  дозволяє виконувати операції вбудовування повідомлень одночасно для групи пікселів. Це сприяє зменшенню кількості квантових операцій і підвищує ефективність алгоритмів.

Ефективність використання кубітів значною мірою залежить і від алгоритму вбудовування інформації. У квантовій стеганографії широко застосовується модифікований метод LSB (Least Significant Bit), який передбачає зміну найменш значущих бітів інтенсивності пікселів. Такий підхід дозволяє приховувати інформацію з мінімальним впливом на структуру контейнерного зображення. Зміна лише одного біта у квантовому представленні пікселя дає можливість передати приховане повідомлення без помітного спотворення зображення.

Додаткові можливості оптимізації забезпечує використання квантового паралелізму.

Завдяки суперпозиції квантових станів квантові системи здатні виконувати операції над великою кількістю станів одночасно. Це дозволяє здійснювати вбудовування інформації паралельно у різні частини зображення, що суттєво скорочує час виконання алгоритму та підвищує його ефективність.

Проведений аналіз показав, що оптимізація використання кубітів дозволяє підвищити ефективність квантових стеганографічних систем. Рациональне використання квантових ресурсів забезпечує зменшення обчислювальної складності алгоритмів, скорочення кількості квантових операцій та підвищення швидкодії обробки даних. Оптимізація структури квантового представлення даних також сприяє підвищенню пропускної здатності прихованого каналу передачі інформації, що дозволяє передавати більший обсяг повідомлень без суттєвого спотворення контейнерного зображення. Зменшення глибини квантових схем підвищує стійкість алгоритмів до шуму та помилок, що є важливим для їх реалізації на сучасних квантових платформах.

У роботі проаналізовано підходи до оптимізації використання кубітів у системах квантової стеганографії. Доведено, що застосування ефективних моделей представлення квантових зображень, методів попередньої обробки, блокової організації даних та оптимізованих алгоритмів вбудовування дозволяє суттєво зменшити використання квантових ресурсів. Отримані результати підтверджують доцільність застосування таких підходів для підвищення ефективності квантових стеганографічних систем. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розроблення адаптивних алгоритмів приховування інформації та їх реалізацію на сучасних квантових платформах.

#### **Список використаних джерел**

1. Головка Є.В. Методи квантової стеганографії зображень та їх застосування в системах захисту // Проблеми інформатизації: тези доповідей тринадцятої міжнар. наук.-техн. конф., 27–28 листопада 2025 р. - Баку– Харків–Бельсько-Бяла, 2025. – С. 65-66.
2. Fediushyn O.I. Analysis of Information Protection Based on Quantum Image Steganography / O.I. Fediushyn, Y.V. Holovko // Computer and information systems and technologies: Eighth International Scientific and Technical Conference, October 09-10, 2025. – Kharkiv : NURE, 2025. - P. 110-111.
3. Sang, J., Wang, S., & Niu, X. (2016). Quantum realization of the nearest-neighbor interpolation method for FRQI and NEQR. *Quantum Information Processing*, 15(1), 37-64.