

## ОПТИМІЗАЦІЯ КВАНТОВИХ ЛОГІЧНИХ СХЕМ ДЛЯ ПРИХОВУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У КВАНТОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Головко Є.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Квантові обчислення відкривають нові підходи до захисту інформації, серед яких особливу увагу привертає квантова стеганографія. Вона дозволяє приховувати повідомлення у квантових інформаційних структурах, використовуючи властивості суперпозиції та квантового паралелізму, що робить передачу даних більш прихованою та стійкою до виявлення. Квантові підходи забезпечують значно ширші можливості для обробки великих обсягів інформації одночасно, однак їх практична реалізація безпосередньо залежить від ефективності використання квантових ресурсів. Обмежена кількість кубітів у сучасних квантових системах, а також високий рівень шуму вимагають перегляду принципів побудови квантових алгоритмів і логічних схем, що застосовуються для вбудовування прихованих повідомлень у квантові зображення.

**Метою доповіді** є дослідження підходів до оптимізації квантових логічних схем, що використовуються у процесах приховування інформації у квантових зображеннях, а також визначення шляхів зменшення обчислювальної складності таких схем шляхом скорочення кількості квантових вентилів, мінімізації CNOT-операцій та зниження глибини квантових кіл. У квантовій стеганографії логічна схема виконує функцію середовища, у якому здійснюється кодування зображення, формування прихованого повідомлення та його інтеграція у контейнерне зображення. Будь-який етап обробки супроводжується використанням квантових вентилів, що змінюють стани кубітів відповідно до заданої логіки алгоритму. Серед усіх операцій особливу роль відіграють двокубітні контрольовані вентиля, зокрема вентиль CNOT Controlled NOT gate, який є базовим елементом реалізації залежних логічних перетворень між кубітами. Практика використання квантових схем показує, що саме CNOT-операції суттєво впливають на складність квантового кола [1]. Це пояснюється тим, що двокубітні операції потребують більшої тривалості виконання та характеризуються вищою ймовірністю виникнення помилок порівняно з однокубітними перетвореннями. В умовах сучасних квантових платформ навіть незначне збільшення кількості таких операцій може призводити до накопичення шуму та зниження точності результатів. Тому оптимізація алгоритмів приховування інформації спрямована на скорочення числа контрольованих логічних переходів. Ефективність квантової стеганографії значною мірою визначається моделлю квантового представлення зображення. У моделі FRQI квантове зображення формується шляхом амплітудного кодування, за якого значення інтенсивності пікселів включаються у параметри квантового стану. Такий підхід забезпечує компактність представлення, однак потребує великої кількості керованих квантових поворотів, що ускладнює побудову логічної схеми. Натомість модель NEQR передбачає безпосереднє двійкове кодування значень

інтенсивності, коли кожен біт представлено окремим кубітом. Саме така структура є більш придатною для реалізації операцій приховування інформації, оскільки дозволяє використовувати стандартні квантові логічні елементи без складної багаторівневої підготовки стану [2]. Під час побудови квантових схем важливим напрямом оптимізації є виявлення надлишкових операцій. У багатьох випадках послідовність квантових вентилів містить операції, що взаємно компенсують одна одну або можуть бути об'єднані без зміни кінцевого результату. Усунення таких елементів дозволяє скоротити довжину квантового кола та зменшити загальне навантаження на систему. Особливо ефективним це є у схемах, де однакові логічні дії виконуються над кількома ділянками зображення. З практичної точки зору доцільно застосовувати блокову організацію квантового зображення, за якої кілька суміжних пікселів розглядаються як єдина логічна структура. У такому випадку одна й та сама контрольована операція може використовуватися для групи елементів, що дозволяє зменшити кількість необхідних квантових переходів. Це не лише скорочує використання кубітів, а й позитивно впливає на загальну швидкість алгоритму. Окремо слід зазначити значення глибини квантової схеми. Глибина визначає кількість послідовних логічних рівнів, які проходить квантова інформація до завершення обчислення. Чим меншою є глибина, тим вища ймовірність збереження когерентності квантового стану [3]. Саме тому сучасні підходи до оптимізації орієнтуються на паралельне виконання незалежних операцій, коли декілька частин квантового зображення обробляються одночасно. Важливо враховувати також архітектурні особливості сучасних квантових платформ, зокрема IBM, де фізична топологія процесора визначає допустимі зв'язки між кубітами. Якщо логічно пов'язані кубіти фізично розташовані на значній відстані, виникає необхідність у додаткових перестановках, що ускладнює схему. Тому оптимізація логічного розміщення кубітів є не менш важливою, ніж оптимізація самих логічних операцій. Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують, що оптимізація квантових логічних схем є необхідною умовою підвищення ефективності квантових стеганографічних систем. Зменшення кількості квантових вентилів, скорочення числа CNOT-операцій та зниження глибини квантових кіл забезпечують підвищення стійкості алгоритмів до шуму, покращують використання обмежених квантових ресурсів і розширюють можливості практичної реалізації алгоритмів приховування інформації.

### Список літератури

1. Методи захисту інформації на основі квантової стеганографії зображень / О. Федюшин, С. Головка, А. Смірнов, В. Сухотеплий, О. Чечуй // Радіотехніка. – 2024. – Вип. 218. – С. 44–55. – DOI: <https://doi.org/10.30837/rt.2024.3.218.03>
2. Головка С. В. Методи квантової стеганографії зображень та їх застосування в системах захисту // Проблеми інформатизації: тези доп. тринадцятої міжнар. наук.-техн. конф., 27-28 листопада 2025 р., м. Баку, м. Харків, м. Бельсько-Бяла : [у 4 т.]. Т. 2: секції 3, 7. – Харків: НТУ "ХПІ", 2025. – С. 65-66.
3. Preskill, J. Quantum Computing in the NISQ era and beyond. *arXiv* 2019, arXiv:1801.00862v3.