

СЕКЦІЯ 2
КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ, КІБЕРБЕЗПЕКА ТА
ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 004.774:535.14:530.182

Калашнікова Ю.В., асистент

Національний університет

«Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка»

НЕЛІНІЙНІ ХВИЛЬОВІ МЕХАНІЗМИ ПЕРЕДАВАННЯ ТА
ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В КВАНТОВО-ФОТОННИХ
МЕРЕЖАХ

Стрімкий розвиток квантово-фотонних мереж формує нову парадигму побудови інформаційно-комунікаційних систем, у межах якої передавання та обробка інформації здійснюються безпосередньо на фізичному рівні взаємодії фотонних полів. Зростаючі вимоги до пропускнуої здатності, енергоефективності та квантової безпеки стимулюють відхід від традиційних лінійних моделей комунікаційних каналів і зумовлюють необхідність використання нелінійних хвильових підходів.

У квантово-фотонних мережах інформаційні потоки реалізуються через поширення когерентних фотонних станів у складно структурованих середовищах, де динаміка сигналів визначається багатомодовими взаємодіями, нелінійною дисперсією та параметричною перебудовою властивостей середовища. За таких умов нелінійність перестає бути другорядним ефектом і набуває статусу системоутворюючого чинника, що визначає режими функціонування мережі.

На відміну від класичних оптичних мереж, квантово-фотонні архітектури допускають цілеспрямовану інженерну реалізацію ефективних нелінійних взаємодій між фотонними модами. Це досягається шляхом використання інтегрованих фотонних платформ, резонаторних структур із високим фактором якості, фотонних кристалів та квантових матеріалів із керованими нелінійними властивостями.

Нелінійні хвильові ефекти, зокрема багатохвильове змішування, параметричне підсилення та керована дисперсія, створюють фізичні механізми для спектрального, часового та модового кодування інформації. Таким чином, фотонне середовище одночасно виконує функції каналу передавання та обчислювального середовища, що принципово відрізняє квантово-фотонні мережі від класичних телекомунікаційних систем. [1].

Аналітичний огляд сучасних досліджень свідчить про еволюцію підходів від аналізу локальних нелінійних ефектів до опису колективної хвильової динаміки в масштабованих квантово-фотонних мережах. У цьому контексті нелінійність розглядається як фундаментальний ресурс, що забезпечує внутрішню обробку інформації на рівні фізичної динаміки фотонних полів.

Завдяки цьому стає можливим реалізовувати операції фільтрації, маршрутизації, кореляційного аналізу та логічних перетворень без залучення зовнішніх класичних обчислювальних модулів. Такий підхід знижує затримки обробки, підвищує енергоефективність системи та створює передумови для побудови компактних і масштабованих мереж із розширеною функціональністю [2].

Важливим аспектом функціонування квантово-фотонних мереж є збереження когерентності квантових станів в умовах багатомодової нелінійної взаємодії. Нелінійна хвильова динаміка безпосередньо впливає на кореляційні властивості фотонних полів, що вимагає поєднання нелінійних хвильових рівнянь із квантово-статистичним описом станів системи.

Розроблення узагальнених математичних моделей, які враховують ці аспекти, є необхідною умовою для коректного аналізу стійкості, керованості та інформаційної ємності квантово-фотонних мереж. Такі моделі активно розвиваються в межах міжнародних дослідницьких програм у сфері квантових технологій. [3].

Узагальнюючи, можна з впевненістю стверджувати, що нелінійні хвильові механізми передавання та обробки інформації формують фундаментальну основу для створення квантово-фотонних мереж нового покоління. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із поглибленням теорії нелінійної квантової фотоніки, розробкою керованих фотонних середовищ та інтеграцією таких механізмів у масштабовані мережеві та обчислювальні архітектури з розширеною функціональністю.

Список використаних джерел

1. Engineering non-linear optical interactions in integrated photonics / K. E. Perego [et al.] // Nature Photonics. 2024. Vol. 18. P. 165–173. URL: www.nature.com.
2. Quantum Charging Advantage in Superconducting Solid-State Batteries / Chang-Kang Hu, Chilong Liu, Jingchao Zhao et al. Phys. Rev. Lett. 2026. Vol. 136, iss. 6. Art. 060401. 9 p. DOI: <https://doi.org/10.1103/sp51-c6m8>. URL: <https://link.aps.org/doi/10.1103/sp51-c6m8>.
3. The future is Quantum / Quantum Technologies Flagship : [Електронний ресурс]. URL: <https://qt.eu/>.