

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Зінченка Володимира Леонідовича на тему «Інформаційна технологія контролю та класифікації станів в оптичних лініях передачі даних», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації.

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена потребою підвищення надійності та безпеки оптичних ліній зв'язку, що слугують фізичною основою квантових каналів передачі інформації. У зв'язку з розвитком квантових обчислювальних систем традиційні канали зв'язку потребують постквантових методів криптографічного захисту. Це призвело і до появи квантово-оптичних технологій передачі. Водночас практичне функціонування оптичних каналів супроводжується шумами, втратами, фазовими спотвореннями та впливом атак на технічні компоненти, тому постає завдання створення інтелектуальних інформаційних технологій, здатних у режимі реального часу здійснювати моніторинг параметрів, виявляти аномалії та класифікувати стани каналу. Розроблена в роботі інформаційна технологія контролю та класифікації станів поєднує методи статистичного аналізу, кластеризації та машинного навчання, забезпечуючи адаптивне управління процесом передачі даних у квантових комунікаційних системах, що робить тему дослідження науково та практично актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше розроблено інформаційну технологію контролю та класифікації станів в оптичних лініях передачі даних, яка забезпечує автоматичне виявлення аномалій у квантових каналах зв'язку за допомогою поєднання методів статистичного аналізу, кластеризації та машинного навчання;

- удосконалено метод оцінювання стану квантового каналу, що базується на багатокритеріальному аналізі фізичних параметрів фотонних сигналів з урахуванням кореляційних зв'язків між ними, що дозволяє підвищити точність виявлення відмов і збоїв;

- запропоновано підхід до інтеграції машинного навчання з квантовими криптографічними протоколами, який забезпечує адаптивне реагування системи на динамічні загрози та аналіз у режимі реального часу;

- удосконалено метод формалізації процедур підтримки прийняття рішень при управлінні процесами передачі інформації, що забезпечує підвищення достовірності, швидкодії та стабільності роботи каналу.

Достовірність наукових результатів забезпечується використанням апробованих методів математичного моделювання, імітаційних експериментів, статистичного аналізу та алгоритмів машинного навчання, що мають теоретичне підґрунтя і підтверджені практичними розрахунками. Розроблені моделі пройшли верифікацію і валідацію шляхом симуляції роботи віртуального квантового каналу з подальшою оцінкою ефективності за метриками точності, повноти та F1-показника. Отримані результати є обґрунтованими, відтворюваними та узгоджуються з відомими теоретичними положеннями, що свідчить про їх наукову новизну, достовірність і практичну значущість для розвитку технологій безпечного квантового зв'язку.

Наукові дослідження були виконані здобувачем в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору, під керівництвом доктора технічних наук Лифаря Володимира Олексійовича.

Отже, у дисертаційній роботі поставлене наукове завдання - розроблення та наукове обґрунтування інформаційної технології контролю та класифікації станів в оптичних лініях передачі даних, яка забезпечує своєчасне виявлення аномалій, підвищення достовірності та надійності процесу квантової передачі інформації, - повністю виконано, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Зінченка Володимира Леонідовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інформаційні технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям технічних наук.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Зінченка Володимира Леонідовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою, має чіткий науковий стиль та логічну структуру.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 173 сторінок.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано важливість дослідження, спрямованого на підвищення ефективності квантової передачі інформації в оптичних лініях зв'язку, що є фізичною основою сучасних систем безпечних комунікацій. У роботі розроблено та науково обґрунтовано інформаційну технологію контролю та класифікації станів, що поєднує методи математичного моделювання, статистичного аналізу, кластеризації й машинного навчання для автоматизованого аналізу параметрів у реальному часі. Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням апробованих методів симуляцій, статистичних перевірок і моделювання процесів у віртуальному квантовому каналі, а їх ефективність доведено кількісними показниками точності та повноти класифікації. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування розробленої технології для моніторингу квантових комунікацій, виявлення критичних станів і підвищення безпеки оптичних каналів у системах критичної інфраструктури.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналітичний огляд сучасного стану досліджень у галузі квантових та оптичних систем передачі даних, розглянуто основні принципи функціонування квантових протоколів розподілу ключів, їх переваги та обмеження. Проаналізовано чинники, що впливають на стабільність і точність передавання інформації в оптичних каналах, зокрема шумові процеси, втрати, фазові спотворення та зовнішні перешкоди. Окрему увагу приділено існуючим підходам до забезпечення контролю стану каналу, методам оцінювання його параметрів і виявлення аномалій. Визначено науково-технічні проблеми, які залишаються нерозв'язаними, та обґрунтовано доцільність створення нової інформаційної технології, здатної комплексно оцінювати стан каналу зв'язку на основі статистичних і машинних методів аналізу даних. Проведений огляд став теоретичним підґрунтям для подальшої розробки математичних моделей, алгоритмів і архітектури системи контролю та класифікації станів оптичних ліній передачі даних.

У другому розділі дисертаційної роботи «Моделі і методи інформаційної технології підтримки прийняття рішень на основі аналізу процесів роботи каналу зв'язку» подано теоретичні основи та алгоритмічні підходи до побудови системи контролю й класифікації станів оптичних ліній передачі даних. Сформульовано загальні положення та концептуальну постановку задач дослідження, розроблено інформаційну модель інтелектуального аналізу стану системи квантової передачі інформації та математичну модель оцінки ймовірних відмов, які дозволяють формалізувати процеси оцінювання стану каналу. Окрему увагу приділено створенню імітаційної моделі контролю

квантового каналу зв'язку та функціональної схеми інтелектуального аналізу інформаційних потоків на основі нейронної мережі, що забезпечує можливість моделювання поведінки системи за різних режимів роботи та впливу зовнішніх факторів. Розділ містить теоретичне обґрунтування вибору параметрів, методів і алгоритмів, необхідних для реалізації інформаційної технології підтримки прийняття рішень у системах квантової передачі інформації.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи викладено методичну основу оброблення та аналізу даних, отриманих у процесі моделювання роботи квантового каналу зв'язку. Представлено комплекс статистичних і машинних методів, спрямованих на виявлення аномалій, закономірностей і прихованих залежностей між параметрами фотонних сигналів. Розглянуто інтеграцію даних та параметричне обґрунтування безпеки квантового розподілу ключа, проведено оцінювання статистичних показників основних параметрів каналу й застосовано метод Z-score для визначення критичних відхилень у поведінці системи. Досліджено кореляційні зв'язки між параметрами за методом Пірсона, побудовано гістограми та графічні інтерпретації розподілів для різних режимів роботи каналу. Окрему увагу приділено кластерному аналізу експериментальних даних і застосуванню методів машинного навчання для класифікації станів каналу, що створює аналітичне підґрунтя для розроблення нейронної мережі діагностики станів системи квантової передачі інформації.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи розглянуто інтелектуальні методи класифікації станів квантового каналу на основі багатоваріантного перцептрона. Подано результати підготовки даних для навчання нейронної мережі, описано архітектуру та процес її навчання, а також здійснено оцінювання та інтерпретацію отриманих результатів. У межах розділу реалізовано структурно-функціональну модель управління каналом зв'язку з підсистемою моніторингу стану, що забезпечує можливість адаптивного реагування на зміну параметрів середовища. Представлено реалізацію інформаційної технології контролю та класифікації станів в оптичних лініях передачі даних, що об'єднує методи статистичного аналізу та машинного навчання в єдину систему підтримки прийняття рішень. Отримані результати підтверджують ефективність використання нейронних мереж для діагностики станів каналу, дозволяють виявляти аномальні режими роботи та підвищують рівень автоматизації процесів контролю у квантових комунікаційних системах.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у трьох наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату

опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Порушень принципів академічної доброчесності у публікацій не виявлено, що свідчить про належну апробацію результатів

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Вважаю, що автору роботи доцільно було б окреслити загальну галузь дослідження як "Квантова теорія кодування" тобто захист квантового каналу від шумів як технічного характеру так і створених супротивником. Зазначу, що існує також "Квантова криптографія" до якої належать наведені в роботі протоколу розподілу ключів BB84 та більш простий B92. Атаки на здобуття ключів теоретично та практично неможливі, але для виконання протоколів потрібна добра якість каналу, що вимірюється параметром QBER. Саме про захист протоколів від шумів і йдеться у дисертаційній роботі.

2. При аналізі сучасного стану досліджень представлено послідовний і змістовний огляд наукових праць, присвячених розвитку квантових систем передачі інформації. На мій погляд до історичної роботи Чарльза Беннета та Жюльєна Брассара 1984 року з пропозицією BB84 добре було б додати посилання на статтю Чарльза. Беннета 1992 року з пропозицією B92.

3. На мій погляд слід було б відмітити, що при захисті оптичних каналів квантові методи захисту від шумів використовуються разом з класичними LDPC кодами,

4. У роботі зустрічаються граматичні помилки та друкарські похибки. Їх досить небагато, наведу тільки речення "Загальний обсяг роботи складає 163 сторінки, серед яких 173 сторінка основного тексту" (сторінка 26).

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Зінченка Володимира Леонідовича на тему «Інформаційна технологія контролю та класифікації станів в оптичних лініях передачі даних» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних

результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в 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 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Зінченко Володимир Леонідович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Рецензент:

Завідуючий відділом інформаційної безпеки Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ, доктор фізико-математичних наук, професор

Василь УСТИМЕНКО



« 20 » вересня 2025 року

Підпис завідуючого відділу ІТІГІП НАНУ,
з.ф.-м.н., професора Василя УСТИМЕНКА
засвідчую:

Виконаний секретар
ІТІГІП НАНУ, к.т.н., с.н.с. Вікторія КЛИМЕНКО