

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради PhD 12804
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Тарас Кирилук, 1990 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2012 році Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича за спеціальністю «Комп'ютерні системи та мережі», працює асистентом кафедри комп'ютерних систем та мереж навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича з 2025 року, аспірант Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича виконав акредитовану освітньо-наукову програму Інженерія програмного забезпечення (сертифікат № 16846).

Разова спеціалізована вчена рада PhD 12804, утворена наказом Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Міністерства освіти і науки України, м. Чернівці, від «3» квітня 2026 року № 128, у складі:

Голови разової
спеціалізованої вченої ради –

Сергія Остапова, доктора фізико-математичних наук (01.04.10 – «Фізика напівпровідників і діелектриків»), професора, професора кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Рецензентів –

Дмитра Угриня, доктора технічних наук (05.13.06 – «Інформаційні технології»), професора, професора кафедри комп'ютерних наук навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Юрія Ушенка, доктора фізико-математичних наук (01.04.05 – «Оптика, лазерна фізика»), професора, завідувача кафедри комп'ютерних наук навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Офіційних опонентів –

Ярослава Виклюка, доктора технічних наук (01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи»), професора, професора кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка».

Романа Шувара, кандидата фізико-математичних наук (01.04.10 – «Фізика напівпровідників і діелектриків»), доцента, завідувача кафедри системного проектування Львівського національного університету імені Івана Франка.

на засіданні «8» червня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» Тарасу Кирилuku на підставі публічного захисту дисертації «Синтез відмовостійких зворотних логічних пристроїв методами штучного інтелекту» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертацію виконано у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича, Міністерства освіти і науки України, м. Чернівці.

Науковий керівник Віталій Дейбук, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж навчально-наукового інституту фізико-

технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису українською мовою. Дисертація Тараса Кирилюка на тему «Синтез відмовостійких зворотних логічних пристроїв методами штучного інтелекту», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення», є самостійним завершеним дослідженням, має наукову новизну, практичну значущість і відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН України від 31.05.2019 р. № 579) та «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 (зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022 р., № 502 від 19.05.2023 р., № 507 від 03.03.2024 р.).

Здобувач має 5 наукових публікації за темою дисертації, з них 1 праця у виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України та проіндексованому у наукометричній базі даних Scopus (Q3); 2 праці у закордонних періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus та 1 праця, що засвідчує апробацію матеріалів дисертації.

1. Kyryliuk T., Palahuta M., Deibuk V. Using artificial intelligence methods for the optimal synthesis of reversible networks. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2024. Vol. 2024, no. 4. P. 112–122. (Scopus, Q3).
2. Deibuk V., Dovhaniuk O., Kyryliuk T. The Extended Fredkin Gates with Reconfiguration in NCT Basis. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2023. Vol. 181 : *Advances in Computer Science for Engineering and Education VI : ICCSEEA 2023* (Warsaw, Poland, 17–19 March 2023). Warsaw, P. 95–105. (Scopus).
3. Dovhaniuk O., Kyryliuk T., Deibuk V. Reversible Fault-Tolerant Encryption Using Extended Fredkin Gate with Reconfiguration. *Advances in Transdisciplinary Engineering*. 2025. Vol. 65 : *Artificial Intelligence, Medical Engineering and Education : AIMEE 2024* (Huangshi, China, 26–27 Oct. 2024). Huangshi, P. 69–76. (Scopus).

У дискусії взяли участь голова, рецензенти, офіційні опоненти та висловили зауваження:

Голова спеціалізованої вченої ради Сергій Остапов, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Зауваження до дисертаційного дослідження відсутні.

Опонент Ярослав Виклюк, доктор технічних наук, професор, професор кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка». Зауваження:

1. Запропоноване об'єктно-орієнтоване представлення хромосом є цікавим інженерним рішенням. Проте варто було б детальніше обґрунтувати його вплив на обчислювальну складність генетичних операторів порівняно з класичним векторизованим представленням.
2. Опис програмного комплексу був би повнішим у разі наведення результатів профілювання розробленого ПО. Зокрема, варто було вказати, які саме етапи генетичного алгоритму є найбільш ресурсоємними. Також доцільно проаналізувати, чи потребує запропонована інформаційна технологія паралельних обчислень для обробки схем надвеликої розмірності.
3. Автор обґрунтовано впроваджує адаптивні оператори мутації, проте в дисертації не до кінця розкрито питання «генетичного виродження» популяції. Варто пояснити, які саме механізми, окрім мутації, використовуються для підтримки різноманітності рішень. Це особливо важливо при синтезі пристроїв з великою кількістю вхідних ліній.
4. У роботі потребує більш глибокого висвітлення питання параметричної стійкості та збіжності еволюційного алгоритму при масштабуванні простору пошуку. Зокрема,

викликає інтерес, чи встановлювалися критичні межі щодо кількості ліній та глибини схем, а також як кореляція між довжиною хромосоми та складністю топології впливає на потрапляння в локальні екстремуми. Також доцільно пояснити динаміку зміни обчислювальних витрат при переході до синтезу пристроїв надвеликої розмірності.

5. При описі інформаційної технології здобувач акцентує увагу на синтезі логічних структур «з нуля», що залишає дискусійним питання подолання проблеми «холодного старту». Зокрема, варто пояснити, чи розглядалася можливість формування початкової популяції за допомогою бібліотеки попередньо оптимізованих «стандартних блоків» замість випадкового пошуку. Доцільно почути аргументацію автора, як інтеграція таких готових модулів вплинула б на швидкість збіжності алгоритму та чи не обмежила б вона генетичне різноманіття при пошуку нових топологій.

Опонент Роман Шувар, кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри системного проектування Львівського національного університету імені Івана Франка. Зауваження:

1. У другому розділі автор використовує узагальнені вентилі Фредкіна для розробки математичної моделі структурного синтезу. Проте додаткового обґрунтування потребує вибір стратегії розміщення контрольних ліній парності. Необхідно пояснити, чи є запропоноване розміщення оптимальним для мінімізації загальної кількості надлишкових ліній, що є критичним для сучасних NISQ-пристроїв.
2. При описі модифікованого генетичного методу в третьому розділі автор впроваджує адаптивні оператори мутації. Проте доцільно уточнити критерії, за якими відбувається перемикання між різними типами мутацій у процесі еволюції. Також варто пояснити, чи не призводить надмірна адаптивність до передчасної збіжності алгоритму в локальних екстремумах при синтезі схем із великою кількістю входів/виходів.
3. Запропоноване об'єктно-орієнтоване представлення хромосоми є оригінальним і перспективним. Однак у роботі недостатньо висвітлено питання валідації хромосом після застосування оператора кросінговеру. Зокрема, не до кінця зрозуміло, як саме забезпечується збереження властивості зворотності синтезованої функції на рівні генотипу без значних часових витрат на додаткові перевірки.
4. Експериментальна частина четвертого розділу містить аналіз працездатності синтезованого відмовостійкого шифратора, проте автор зосередився лише на моделі одиночних відмов. У зв'язку з цим викликає зацікавленість питання, наскільки масштабованими є запропоновані методи синтезу для виявлення та виправлення множинних помилок. Також варто пояснити спроможність методів працювати з помилками фазового зсуву, які є специфічними для квантового середовища.
5. У підрозділах, присвячених інформаційній технології, детально описано архітектуру програмного комплексу. Проте, з точки зору інженерії програмного забезпечення, доцільно було б навести дані щодо модульного тестування розроблених еволюційних операторів. Це дозволило б експериментально підтвердити надійність самого програмного інструментарію синтезу.
6. При порівнянні результатів синтезу з існуючими методами в четвертому розділі автор наводить дані щодо зменшення квантової вартості. Проте для оцінки межі практичного застосування технології для схем понад 10–15 кубітів було б корисно побачити порівняльний графік залежності часу роботи алгоритму синтезу від розмірності задачі. Це дозволило б чіткіше визначити обчислювальні можливості розробленого методу залежно від кількості змінних.

Рецензент Дмитро Угрин, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Зауваження:

1. У першому розділі автор детально розглядає існуючі підходи до синтезу зворотних схем і методи забезпечення відмовостійкості. Водночас недостатньо уваги приділено аналізу практичних обмежень сучасних квантових апаратних платформ, зокрема впливу декогеренції, шуму та обмеженої кількості фізичних кубітів. Доповнення

огляду такими аспектами дозволило б повніше обґрунтувати актуальність задачі оптимізації квантових і зворотних схем.

2. У третьому розділі недостатньо детально описано процедуру вибору вагових коефіцієнтів для критеріїв цільової функції: квантової вартості, кількості вентилів та кількості помилок. Було б доцільно уточнити, чи проводився аналіз чутливості результатів синтезу до зміни пріоритетності цих параметрів.
3. У тексті дисертації описано процес трансляції схем у формат OpenQASM. Проте потребує додаткового роз'яснення питання про те, чи враховує розроблений метод синтезу обмеження «глибини» квантової схеми. Це є критичним параметром для реальних квантових процесорів з обмеженим часом декогеренції кубітів.
4. У підрозділі 4.2.1 автор обґрунтовує сумісність схем із платформами IBM Qiskit, Google Cirq та Rigetti Forest, проте в роботі відсутній аналіз впливу топологічних обмежень реальних квантових процесорів. Було б доцільно розглянути, наскільки синтезовані схеми потребують додаткових SWAP-операцій при адаптації до конкретних архітектур. Це важливо, оскільки такі операції можуть суттєво впливати на глибину схеми та накопичення помилок.
5. У розділі 4 автор успішно реалізував відмовостійкий шифратор на базі FPGA Altera Cyclone IV. Оскільки FPGA є фізично незворотною системою, виникає дискусійне питання щодо доцільності використання саме зворотних вентилів у традиційній напівпровідниковій базі. Варто уточнити, які саме переваги, окрім верифікації логіки, дає такий підхід порівняно з класичними відмовостійкими рішеннями.
6. У підрозділі 4.3.4 автор детально аналізує використання логічних ресурсів FPGA та часові характеристики реалізованого шифратора, однак недостатньо уваги приділено питанням енергоспоживання. Для практичного впровадження таких пристроїв у системах реального часу доцільно було б навести оцінки споживаної потужності. Також варто надати порівняння енергоефективності запропонованої архітектури з класичними FPGA-рішеннями.

Рецензент Юрій Ушенко, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.
Зауваження:

1. У роботі описано модуль трансляції синтезованих схем у формат OpenQASM для верифікації в IBM Qiskit. Проте, з точки зору практичної зручності використання розробленої інформаційної технології, доцільним було б реалізувати пряму інтеграцію із хмарним сервісом IBM Quantum через API-ключ. Це дозволило б здійснювати автоматичне вивантаження та запуск схем на реальному обладнанні безпосередньо з інтерфейсу CAD-системи.
2. У роботі приділено недостатньо уваги порівнянню технічних характеристик створеного програмного комплексу з добре відомими аналогами інших авторів, зокрема програма RIMER2 (C. Moraga and F. Hadjam).
3. Технічні неточності в оформленні структури: при аналізі розділу «Перелік використаних джерел» та опису структури роботи у вступі виявлено технічну розбіжність: фактичний обсяг сторінок, відведених під список літератури, на дві сторінки перевищує показник, зазначений автором у формальному описі дисертації.
4. У тексті дисертації зустрічаються поодинокі стилістичні та граматичні помилки, які, втім, не впливають на змістовну цілісність роботи та сприйняття наукових результатів.

На дисертацію Кирилюка Т. П. надійшло три звернення. Вони позитивні та підкреслюють актуальність і значущість проведеного дослідження, хоча містять окремі зауваження та рекомендації щодо перспектив подальших досліджень:

Перше звернення:

Валентин Лисько – кандидат фізико-математичних наук, виконувач обов'язків директора Інституту термoeлектрики НАН України та МОН України.

У своєму зверненні Лисько В. В. зазначив, що на особливу увагу заслуговує розроблений

дисертантом удосконалений генетичний алгоритм, який базується на об'єктно-орієнтованому представленні хромосом та застосуванні адаптивних операторів багатокомпонентної мутації. Такий підхід дозволяє ефективно подолати проблему передчасної збіжності й успішно оптимізувати топологію зворотних і квантових схем великої розмірності. Окремо підкреслено цінність запропонованих узагальнених вентилів Фредкіна, що забезпечують збереження парності сигналів та мінімізацію квантової вартості, а також перспективність застосування таких енергоефективних зворотних схем у термоелектричних пристроях і компонентах систем на кристали.

Практична реалізація результатів у вигляді програмного комплексу мовою C# з можливістю автоматичної генерації OpenQASM-коду для взаємодії з фреймворком IBM Qiskit, а також успішна апаратна верифікація синтезованих пристроїв шифрування на базі FPGA свідчать про високу швидкість обробки даних та стійкість запропонованих рішень до збоїв.

Як окремі зауваження до роботи відзначено поодинокі стилістичні неточності та повторення відомих фактів, що жодним чином не впливає на актуальність і практичну цінність дисертаційного дослідження.

Друге звернення:

Геннадій Чуйко – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили. У своєму відгуку Чуйко Г. П. відзначив цінність формалізованого математичного апарату зворотної логіки та запропонованого автором вдосконаленого генетичного методу, що базується на об'єктно-орієнтованому представленні хромосом та адаптивних операторах мутації. Поєднання цих підходів із розширеним базисом реконфігурованих узагальнених вентилів Фредкіна дозволяє ефективно оптимізувати складні логічні структури та забезпечити апаратну відмовостійкість синтезованих схем.

Високий рівень практичної реалізації дослідження підтверджується створенням програмного комплексу автоматизованого синтезу з підтримкою експорту в OpenQASM та інтеграцією з фреймворком IBM Qiskit. З позицій комп'ютерної інженерії окремо підкреслено значущість успішного апаратного впровадження відмовостійкого потокового шифратора на FPGA Altera Cyclone IV із досягненням високої робочої частоти $F_{\max} \sim 310$ МГц.

Як зауваження до роботи та напрями її подальшого розвитку автор звернення відзначає недостатньо повний порівняльний аналіз із сучасними метаевристичними методами як: оптимізація методом рою частинок, диференціальна еволюція та еволюційний алгоритм з адаптацією коваріаційної матриці. А також потребу в глибшій дискусії щодо масштабованості методу для схем надвеликих розмірностей. Крім того, вказано на доцільність демонстрації придатності методу для інших типів пристроїв та необхідність глибшого аналізу стійкості до апаратних збоїв у контексті реальних моделей відмов.

Третє звернення:

Юрій Іляш – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних систем Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

У відгуку відзначається актуальність обраної тематики, яка відповідає сучасним тенденціям розвитку енергоефективних обчислень та квантових технологій. У відгуку відзначено цінність запропонованої еволюційно-орієнтованої методології синтезу відмовостійких зворотних логічних пристроїв з урахуванням мінімізації квантової вартості та апаратної складності. Особливу увагу звернуто на розроблений вдосконалений генетичний метод, що базується на об'єктно-орієнтованій моделі представлення хромосом, комплексному операторі мутації та використанні узагальнених вентилів Фредкіна.

Практичне значення роботи підтверджується створенням програмного комплексу автоматизованого синтезу, його експериментальною перевіркою та успішною апаратною реалізацією зворотного криптографічного пристрою на базі FPGA. Це доводить придатність результатів для інтеграції в реальні енергоефективні обчислювальні системи та засоби

криптографічного захисту інформації.

Як побажання та зауваження до дисертаційного дослідження зазначено доцільність детальнішого представлення аналізу масштабованості запропонованого методу при роботі зі схемами великої розмірності, а також розширення порівняльного аналізу результатів за рахунок більшого набору тестових задач або альтернативних підходів.

Результати відкритого голосування:

«За» – 5 (п'ять) членів ради,

«Проти» – 0 (нуль) членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує Кирилюку Тарасу Петровичу ступінь доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої вченої ради

PhD 12804,

доктор фізико-математичних наук,

професор, професор кафедри програмного

забезпечення комп'ютерних систем

Навчально-наукового інституту фізико-

технічних та комп'ютерних наук

Чернівецького національного університету

імені Юрія Федьковича



Сергій ОСТАПОВ