

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу  
Гончаренка Олександра Олексійовича

на тему «Методи та засоби підвищення відмовостійкості та ефективності  
топологій комп'ютерних систем»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань **12 Інформаційні технології**  
за спеціальністю **123 Комп'ютерна інженерія**

### Актуальність теми дисертації

У сучасних високопродуктивних комп'ютерних системах, що налічують сотні тисяч або навіть мільйони обчислювальних ядер, особливо гостро стоїть проблема забезпечення надійності та ефективної роботи. Зі збільшенням кількості компонентів зростає ймовірність відмов, а номінальна продуктивність часто не відповідає фактичній через обмеження мережевої інфраструктури та архітектурних особливостей. Застосування традиційних методів резервування призводить до значного підвищення вартості, що є негативною рисою для суперкомп'ютерів. Тому великої актуальності набувають дослідження, спрямовані на розробку нових топологічних рішень, які забезпечують високу відмовостійкість, масштабованість і продуктивність, зокрема через використання надлишкових кодів і методів кластеризації в мережах міжпроцесорного зв'язку.

У дисертаційній роботі розглянуто актуальні науково-прикладні проблеми підвищення відмовостійкості та забезпечення ефективного співвідношення між швидкодією і вартістю паралельних комп'ютерних систем. У цьому контексті науково-практичну новизну становить розробка нових підходів до побудови мережевих топологій з використанням надлишкових кодів, що забезпечують підвищену стійкість до відмов і ефективну маршрутизацію. Зокрема, створено математичну модель топологій, що враховує характеристики надлишкових кодів, що дає змогу прогнозувати кількість альтернативних представлень вузлів і їх унікальність у структурі графа. У рамках роботи запропоновано спосіб формування кластерів у топології за допомогою багатовимірної матриці надлишкових представлень, що дозволяє з'єднувати вузли з однаковими номерами, формуючи гіперкубічні структури. Удосконалено метод синтезу топологій шляхом застосування кодових перетворень у надлишкових системах числення, що сприяє формуванню надлишковості та спрощенню маршрутизації в умовах відмов. Також розроблено метод ієрархічного масштабування, який забезпечує поєднання класичних і нових топологій для досягнення оптимального балансу між масштабованістю, продуктивністю та надійністю.

Для практичної перевірки запропонованих рішень створено інструментальні засоби, які дозволяють моделювати топологічні



характеристики систем, аналізувати зміни параметрів при виникненні відмов вузлів і ребер, а також оцінювати ймовірність збереження зв'язності графа у різних сценаріях. Проведені експериментальні дослідження підтвердили, що запропоновані топології мають вищу ефективність і надійність у порівнянні з традиційними підходами, що робить їх перспективними для застосування в суперкомп'ютерах та інших високопродуктивних обчислювальних системах.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено нову математичну модель топології на основі надлишкового коду, що відрізняється від існуючих моделей використанням алфавіту, основи числення та довжини коду для визначення кількості альтернативних представлень довільного числа в заданій системі числення, та дозволяє прогнозувати максимальну кількість вершин з однаковим номером у графі, кількість вершин з унікальними (не-надлишковими) номерами.
2. Запропоновано новий спосіб формування імпліцитних кластерів в надлишкових топологіях, що відрізняється від існуючих використанням спеціальної багатовимірної матриці надлишкових представлень та кодування індексів в спеціальній системі числення та дозволяє формувати ребра між такими вершинами для топологій на основі кодів із певними співвідношеннями потужності алфавіту та основи числення.
3. Набув розвитку метод синтезу відмовостійких топологій на основі надлишкового коду, що відрізняється від існуючих використанням кодових перетворень, в тому числі послідовностей де Бруїна, в надлишкових системах числення та створенням нових зв'язків у таких топологіях за допомогою перетворень заміщення над кодами, які описують індекс альтернативного представлення в багатовимірній матриці надлишкових представлень, що дозволяє синтезувати відмовостійкі топології заданого порядку, в тому числі з імпліцитними кластерами.
4. Запропоновано новий метод масштабування ієрархічних топологій, що відрізняється від існуючих використанням декартового добутку, деревовидних структур та рекурентного вкладення кластерів, що дозволяє поєднати відмовостійкі топології, синтезовані на основі надлишкового коду, із класичними топологіями, такими як гіперкуб та dragonfly.
5. Запропоновано новий спосіб моделювання відмов в топологіях, що відрізняється від існуючих використанням різних підходів до випадкового формування відмов, в тому числі з урахуванням коефіцієнту посередництва, та дозволяє при заданій кількості відмов вузлів аналізувати ймовірність розриву зв'язності графа, підрахувати топологічні характеристики та їх зміну відносно початкового (безвідмовного) стану топології.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках ініціативної теми «Високопродуктивні комп'ютерні системи та мережі: теорія, методи і засоби



апаратної та програмної реалізації», д/р №0121U108261 від 11.02.2021 під керівництвом доцента кафедри обчислювальної техніки, к.т.н., доцента Волокити Артема Миколайовича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання розробки методів побудови відмовостійких і ефективних топологій комп'ютерних систем виконано повністю. Розроблені математичні моделі, методи синтезу та масштабування топологій, а також інструментальні засоби моделювання дозволили досягти визначеної мети й підтвердили ефективність запропонованих рішень у порівнянні з класичними підходами.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Гончаренко О.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Комп'ютерна інженерія».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям комп'ютерної інженерії.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Гончаренко О. О. 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. При підготовці дисертаційної роботи здобувач дотримався принципів академічної доброчесності.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 276 сторінок.

У вступі викладено основні компоненти дисертації, такі як актуальність, новизна, об'єкт та предмет дослідження, поставлені завдання, тощо.

У першому розділі виконано огляд існуючих методів підвищення відмовостійкості та ефективності комп'ютерних систем. Проаналізовано топології найпродуктивніших систем. Виділено критерії ефективності топологій, формалізовано завдання наукового дослідження та шлях його розв'язку, що включає в себе розробку моделі надлишкових кодів для синтезу топологій, удосконалення методу синтезу топологій на основі таких кодів, розробку методу масштабування синтезованих топологій та їх поєднання із класичними рішеннями, а також експериментальне дослідження відмовостійкості та ефективності отриманих топологій комп'ютерних систем.

У другому розділі розглянуто надлишкові системи числення, представлено їх основні характеристики. Описано та математично доведено деякі їх властивості, що дозволяє оцінити характеристики топологій, синтезованих на їх



основі, ще до безпосереднього синтезу. Запропоновано спосіб формування ребер між вузлами з однаковими номерами і різними кодами.

У третьому розділі описано удосконалений метод синтезу топологій на основі надлишкового коду. Представлено ряд нових топологій, таких як надлишковий граф де Бруїна та надлишковий гіперкуб. Розглянуто можливі алгоритми топологічно-орієнтованої маршрутизації, що можуть бути використані для обходу несправних вузлів в таких топологіях.

У четвертому розділі розглянуто метод ієрархічного масштабування топологій. Представлено два типи ієрархічності: вкладена та деревовидна. Синтезовано топологію Hyper de Bruijn з використанням декартового добутку між класичним графом та надлишковою топологією де Бруїна. Розглянуто синтез на основі рекурентного вкладення, що дозволяє отримати надшвидке масштабування топології. Запропоновано топологію Dragon de Bruijn. Описано синтез деревовидних графів, що поєднують декартовий добуток із горизонтальними зв'язками за топологією dragonfly.

У п'ятому розділі виконано експериментальне дослідження топологій. Проаналізовано топологічні характеристики, виконано оцінку ефективності запропонованих топологій у порівнянні із класичними, які використовуються в сучасних суперкомп'ютерах. Запропоновано спосіб моделювання відмов у топологіях, який використовується для отримання оцінки живучості з урахуванням потенційного навантаження на вузли системи. Виконано дослідження поведінки топологій в умовах наростаючого числа відмов. Виділено основні переваги та недоліки запропонованих методів на основі отриманих експериментальних даних.

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 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статей у виданнях, віднесених до першого – третього квартилів (Q1–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації здобувача мають високий науковий рівень і пройшли відповідне рецензування. У кожному публікацію здобувач зробив вагомий особистий внесок, який був використаний при підготовці дисертаційної роботи. Усі публікації були написані з дотриманням принципів академічної доброчесності та складаються із власних досліджень здобувача та співавторів.

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



## Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У дисертації доцільно було б більш детально розкрити поняття відмовостійкості та ефективності, зокрема в контексті їх взаємозв'язку, адже в класичному розумінні відмовостійкість є складовою загальної ефективності системи. Натомість у дисертації ці критерії подано як окремі аспекти оцінки, зокрема в темі дисертаційної роботи. Крім того, слід чіткіше роз'яснити роль вартості як окремого критерію при оцінці топологій. Таке уточнення дозволить більш комплексно представити систему показників, які враховуються при розробці та аналізі топологій комп'ютерних систем.

2. У тексті дисертації зустрічаються різні терміни на позначення об'єкта дослідження, зокрема: відмовостійкі комп'ютерні системи, масштабовані комп'ютерні системи, суперкомп'ютери, тощо. Було б доцільно більш чітко окреслити, для яких саме класів обчислювальних систем передбачене використання запропонованих топологій.

3. У розділі 3.3.2 розглянуто декомпозицію надлишкових топологій на основі самоподібності, зокрема на прикладі топології де Бруйна. Водночас, подальший розвиток цієї ідеї у тексті дисертаційної роботи відсутній: вона не використовується для аналізу, оптимізації або побудови нових топологій. Рекомендується чітко окреслити межі її застосування, щоб уникнути враження про незавершеність концепції.

4. У Розділі 4 спостерігається певна нечіткість термінології під час опису методу масштабування ієрархічних топологій. Зокрема, оголошено один метод, проте в тексті описано кілька складових методик, які або є самостійними методами, або етапами запропонованого методу, що згадується під різними, неузгодженими з основним методом назвами. Варто було б більш чітко і структуровано подати опис запропонованого методу, забезпечити сталу в рамках дисертації термінологію та узгоджено використовувати її впродовж розділу.

5. У тексті дисертаційної роботи місцями простежується публіцистичний або умовно-розмовний стиль викладення, що не відповідає вимогам до академічного наукового тексту. Зокрема, такі конструкції, як «має сенс розглянути», «що як», «чи може це дати краще рішення» тощо. Такі формулювання варто було б замінити на обґрунтовані наукові твердження з теоретичним підкріпленням.

6. Має місце незначні зауваження до оформлення тексту. Зокрема, на окремих рисунках текст є погано читабельним через малий розмір (рис. 2.11, рис. 3.2, рис. 4.5, 4.6 та 4.7). Стилі оформлення таблиць у різних розділах дисертації не уніфіковані (табл. 1.2, табл. 5.5). Крім того, підписи до рисунків зливаються з основним текстом, що ускладнює візуальну логіку викладу. У дисертації наявні поодинокі граматичні та стилістичні помилки, які не впливають суттєво на загальне сприйняття змісту.

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 Гончаренка Олександра Олексійовича на тему «Методи та засоби підвищення відмовостійкості та ефективності топологій комп'ютерних систем» 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 галузі знань 12 Інформаційні технології. 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 Гончаренко Олександр Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

### Рецензент:

професор кафедри обчислювальної техніки,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
д.т.н., проф.



Ірина КЛИМЕНКО

