

## **ВІДГУК** офіційного опонента

на дисертаційну роботу Яреценка Владислава Валерійовича  
на тему: «Методи побудови кодів одиначної відстані для енергоефективного  
обладнання телекомунікаційних систем»,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії,  
галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»,  
спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Яреценка Владислава Валерійовича «Методи побудови кодів одиначної відстані для енергоефективного обладнання телекомунікаційних систем» присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з підвищенням ефективності обробки інформації в енергоефективному обладнанні телекомунікаційних систем за рахунок використання вдосконалених методів побудови кодів одиначної відстані.

У сучасних цифрових системах передавання та обробки інформації енергоспоживання є одним із ключових факторів, що визначають ефективність функціонування апаратури. Особливо це стосується пристроїв із високою щільністю інтеграції, систем обробки даних, вбудованих телекомунікаційних пристроїв, а також обладнання, що працює в умовах обмежених енергетичних ресурсів. Значна частина енергоспоживання цифрових систем зумовлена динамічною складовою, яка безпосередньо залежить від комутаційної активності сигналів у цифрових шинах та логічних вузлах.

Одним із ефективних підходів до зменшення комутаційної активності є застосування спеціалізованих методів кодування даних. У цьому контексті важливу роль відіграють коди одиначної відстані, для яких зміна між сусідніми кодовими словами відбувається лише в одному біті. Такі коди широко застосовуються в телекомунікаційних системах, цифрових інтерфейсах, адресних шинах та інших вузлах електронних пристроїв.

Разом з тим, у практичних застосуваннях виникає потреба у побудові кодів одиначної відстані з покращеними властивостями, зокрема підвищеною збалансованістю, що дозволяє мінімізувати локальні енергетичні перевантаження та підвищити довговічність елементної бази. Розробка методів побудови таких кодів є складною комбінаторною задачею, яка потребує використання сучасних методів дискретної математики, теорії графів та алгоритмічного моделювання.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки спрямована на підвищення енергоефективності телекомунікаційного обладнання та оптимізацію процесів передавання інформації.

### **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Предметом дисертаційного дослідження є методи й програмно-апаратні засоби побудови кодів одиначної відстані з покращеними властивостями збалансованості. Отримані в роботі результати ґрунтуються на використанні сучасних методів дискретної математики, теорії графів, теорії кодування, а також методів математичного та комп'ютерного моделювання. Зокрема, застосовано підходи, що дозволяють комплексно досліджувати властивості кодів одиначної відстані, зокрема їх структуру, класи еквівалентності та характеристики збалансованості. У роботі поєднано методи комбінаторного аналізу, графових моделей та алгоритмічні процедури пошуку, що дозволяє ефективно здійснювати генерацію та дослідження кодів одиначної відстані із заданими властивостями.

Достовірність отриманих результатів є належним чином обґрунтованою. У роботі проведено чисельні експерименти та комп'ютерне моделювання, які підтверджують ефективність запропонованих методів побудови кодів одиначної відстані. Отримані результати демонструють можливість формування кодів із покращеними характеристиками збалансованості, що має важливе значення для зменшення комутаційної активності та підвищення енергоефективності цифрових систем.

Рівень обґрунтованості наукових положень підтверджується їх апробацією у фахових публікаціях та на міжнародних наукових конференціях, а також успішним впровадженням результатів у практичну діяльність, що засвідчено актами впровадження. Це дозволяє розглядати дисертацію як методологічно виважений і новаторський внесок у розвиток теорії та практики телекомунікаційних систем.

### **Наукова новизна полягає в отриманні наступних результатів**

1. **Вперше** розроблено метод ієрархічної класифікації кодів одиначної відстані, у якій множина об'єктів розбивається на класи еквівалентності відносно заданої для кожного ієрархічного рівня групи перетворень та визначаються типові представники для кожного класу еквівалентності. Застосування методу ієрархічної класифікації дозволяє

спростити аналіз множин кодів, досліджуючи властивості типових представників окремих класів еквівалентності.

2. **Вперше** розроблено метод конструктивного перерахування кодів одиначної відстані, заснований на визначенні інваріантів та генерації системи різних типових представників, що дозволяє формувати та аналізувати коди одиначної відстані з заданими властивостями збалансованості без повного перебору варіантів, спрощуючи задачу вибору оптимального кодування.

3. **Отримав подальшого розвитку** метод побудови кодів одиначної відстані, що базується на моделі гіперкуба та пошуку гамільтонового шляху в гіперкубі, який дозволяє формувати множини кодів одиначної відстані заданої довжини.

Усі отримані наукові результати є авторськими та актуальними для розвитку телекомунікаційних систем, оскільки спрямовані на підвищення енергоефективності та надійності функціонування обладнання. Запропоновані підходи дозволяють зменшити комутаційну активність та оптимізувати процеси обробки інформації, що є особливо важливим в умовах підвищених вимог до ефективності та стабільності роботи сучасних телекомунікаційних систем.

### **Практичні результати дисертаційного дослідження**

Полягають в розробці та впровадженні запропонованих в дисертації методів у вигляді технічних рішень та алгоритмів для підвищення ефективності та надійності телекомунікаційних систем, а саме:

- на основі аналізу існуючих методів кодування обґрунтовано доцільність нових підходів до побудови та класифікації збалансованих кодів одиначної відстані;

- у розробленні алгоритму та програмної реалізації методу ієрархічної класифікації кодів одиначної відстані, у якій множина об'єктів розбивається на класи еквівалентності, зменшуючи кількість варіантів, що аналізуються, на 97-99% за рахунок використання тільки типових представників та спрощуючи відбір кодів із заданими властивостями;

- у розробленні алгоритму та програмної реалізації методу конструктивного перерахування кодів одиначної відстані на основі визначення інваріантів та формування системи типових представників, який дозволяє формувати коди, що мають покращене значення збалансованості у порівнянні з класичним кодом Грея у 2,5-6 разів залежно від розрядності коду;

- у розробленні алгоритму та програмної реалізації методу побудови кодів одиначної відстані на основі графових моделей гіперкуба, який дозволяє формувати всі можливі коди одиначної відстані довжини  $n$ .

Отримані результати підтверджують прикладну цінність роботи, а також показують її потенціал для подальшого практичного при розробці телекомунікаційних систем.

### **Оцінка змісту, структури та об'єму дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам.**

Представлене на опонування дисертаційне дослідження є самостійною, оригінальною та завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальне науково-технічне завдання. Структура роботи повністю відповідає вимогам до дисертацій і охоплює анотацію, зміст, вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел, а також додатки. Загальний обсяг дисертації становить 184 сторінок, у тому числі 54 таблиці, 33 рисунки, списки використаних джерел з 170 найменувань на 18 сторінках, 7 додатків на 36 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано мету дослідження з підвищення ефективності обробки інформації в енергоефективному обладнанні телекомунікаційних систем, окреслено необхідність розробки нових методів побудови, класифікації та перерахування кодів одиначної відстані. Наведено відомості про наукову новизну, практичне значення, особистий внесок здобувача та публікації за темою дисертації.

У **першому** розділі проаналізовано існуючі методи підвищення ефективності кодування в телекомунікаційних системах та застосування кодів одиначної відстані. Виявлено недоліки відомих підходів та сформульовано вимоги до нових рішень. Обґрунтовано необхідність систематичного підходу до побудови збалансованих кодів одиначної відстані та сформульовано наукову проблему і задачі дослідження.

У **другому** розділі розроблено метод побудови кодів одиначної відстані на основі графової моделі гіперкуба та алгоритму пошуку гамільтонового шляху, досліджено властивості кодових множин та введено групи еквівалентних перетворень. На цій основі розроблено метод ієрархічної класифікації кодів з виділенням трьох рівнів еквівалентності.

У **третьому** розділі розроблено метод конструктивного перерахування кодів одиначної відстані на основі визначення інваріантів та формування системи типових представників, що дозволяє отримувати коди із заданими властивостями збалансованості без повного перебору варіантів.

У **четвертому** розділі проведено порівняльний аналіз ефективності розроблених методів та описано програмно-апаратні засоби їх реалізації, що підтверджує практичну придатність запропонованих рішень для застосування в енергоефективному обладнанні телекомунікаційних систем.

У висновках наведено основні результати, які вирішують актуальну наукову проблему та поставлені задачі дослідження.

Робота має завершену та логічну структуру, що відповідає вимогам до дисертаційних досліджень. Послідовний виклад матеріалу дозволяє чітко простежити хід дослідження та зрозуміти взаємозв'язок між поставленими завданнями і отриманими результатами. Усі терміни та поняття подані з належними визначеннями і використані послідовно, що забезпечує точність і однозначність сприйняття матеріалу. Використання математичних моделей, графіків, таблиць і схем підсилює аргументованість положень та сприяє кращому розумінню як теоретичних, так і прикладних результатів роботи.

### **Повнота викладення основних результатів дослідження та дотримання академічної доброчесності**

Основні результати та положення дослідження були опубліковані у 24 наукових працях, серед яких 4 статті у фахових виданнях, у тому числі 2 статті у виданнях, що індексуються у МНБД Scopus, 4 патенти на корисну модель, 4 свідоцтва про авторське право на комп'ютерні програми та 12 тез доповідей на наукових конференціях. Особистий внесок здобувача, що включає розробку нових методів, алгоритмів та технічних рішень, повною мірою відображений в публікаціях і вказаний у вступі роботи.

Практичне застосування результатів досліджень підкріплене актами впровадження в навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту, Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» та у діяльності ДП «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості», ПП «Софтвеа Експерт».

Анотація до роботи не містить інформації, відсутньої у тексті роботи, відповідає її структурі та змісту та відображає всі отримані наукові результати. Викладення матеріалів, основних положень і висновків у дисертації та наукових публікаціях здійснено у чіткій і зрозумілій формі з належними посиланнями на використані джерела.

Перевірка дисертаційної роботи та пов'язаних з нею наукових публікацій довела відсутність ознак плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів, а також будь-яких інших порушень принципів академічної доброчесності. Зміст і результати дослідження є оригінальними та відповідають вимогам до авторських наукових праць.

### **Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації**

Позитивно оцінюючи рівень розробки науково-методичних і практичних положень, а також обґрунтованість і логічність сформульованих висновків та пропозицій, слід відзначити окремі недоліки:

1. У розділі 2 запропоновано метод побудови кодів одиничної відстані на основі гіперкуба та пошуку гамільтонового шляху, однак не наведено порівняльного аналізу з відомими підходами до побудови кодів одиничної відстані. Доцільно було б явно показати, чим запропонований метод переважає існуючі рішення.

2. У підрозділі 2.2 стверджується, що запропонований метод дозволяє формувати множини кодів одиничної відстані заданої довжини, однак не розкрито, чи охоплює графова модель гіперкуба всі можливі коди одиничної відстані, або ж існують коди одиничної відстані, що не можуть бути отримані цим методом. Доцільно було б явно обґрунтувати повноту або описати обмеження застосовності методу.

3. У роботі продемонстровано приклади застосування розроблених методів та оцінку отриманих кодів для кодів розрядністю  $n=3, 4, 5$ , однак не розглянуто застосування методів для кодів розрядністю  $n=8$  та  $n=16$ , що є поширеними для сучасних шин даних і пристроїв енергонезалежної пам'яті. Доцільно було б навести відповідну оцінку або обґрунтувати застосовність отриманих висновків для цих випадків.

4. У роботі зазначено, що розроблені методи можуть бути використані при проектуванні нових телекомунікаційних систем, однак не розглянуто можливість їх впровадження в діючі системи. Доцільно було б навести практичні рекомендації щодо інтеграції запропонованих рішень в існуючу інфраструктуру з урахуванням обмежень сумісності та необхідності модифікації апаратури.

Слід відмітити, що зазначені зауваження не несуть принципового значення і не впливають на загальну позитивну оцінку теоретичного рівня та практичної значущості результатів дисертаційної роботи Яреценка В. В.

### **Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Яреценка Владислава Валерійовича на тему: «Методи побудови кодів одиничної відстані для енергоефективного обладнання телекомунікаційних систем» є завершеною науковою працею, присвяченою актуальним проблемам телекомунікаційних систем, яка містить авторські дослідження, науково обґрунтовані теоретичні положення та практично адаптовані результати, що мають значну цінність для розвитку сучасних телекомунікаційних технологій.

Основним результатом теоретичних і експериментальних досліджень є розробка та удосконалення методів, спрямованих на підвищення ефективності обробки інформації в енергоефективному обладнанні телекомунікаційних систем.

Таким чином, дисертаційна робота Яреценка Владислава Валерійовича на тему: «Методи побудови кодів одиначної відстані для енергоефективного обладнання телекомунікаційних систем», відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», та вимогам Постанови № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженої Кабінетом Міністрів України від 12 січня 2022 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 502 від 19.05.2023р.). Автор роботи, Яреченко В.В. заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – «Телекомунікації та радіотехніка».

Офіційний опонент,  
доцент кафедри бойового застосування  
та експлуатації АСУ,  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
кандидата технічних наук,  
«10» квітня 2026 р.

Максим ПАРХОМЕНКО