

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу  
Ярещенка Владислава Валерійовича  
**«МЕТОДИ ПОБУДОВИ КОДІВ ОДИНИЧНОЇ ВІДСТАНІ ДЛЯ  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ»**,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

### 1. Актуальність теми дисертації

У телекомунікаційних системах зростання обсягу обміну інформацією підвищує вимоги до швидкості, достовірності та енергоспоживання під час обробки даних. Для реалізації цих вимог потрібне застосування багатоядерних мікропроцесорів і систем на кристалі, у яких обмін даними між ядрами, контролерами пам'яті та іншими функціональними складовими здійснюється через високошвидкісні мережі на кристалі. Функціональні складові таких мереж споживають значну кількість енергії, причому істотна частка енергоспоживання пов'язана з активністю перемикавання бітів на лініях зв'язку, зменшення якої може бути досягнуто шляхом кодування даних, зокрема за допомогою коду Грея, спрямованого на зменшення кількості змін бітів при переході між кодовими словами. Водночас код Грея забезпечує зміну лише одного біта при переході між послідовними словами, однак перемикавання в ньому зосереджені переважно в окремих розрядах, що призводить до локалізації перемикань в окремих лініях зв'язку, їх підвищеного енергоспоживання, зростання пікових навантажень і локального перегріву. Подібні локальні енергетичні та теплові перевантаження виникають і в нових технологіях енергонезалежної пам'яті з довільним доступом, де багаторазове оновлення лічильників записів сторінок спричиняє зміни даних у межах малого діапазону бітів, переважно навколо молодших розрядів.

Знизити пікову комутаційну активність на лініях зв'язку та уникнути локальних енергетичних і теплових перевантажень можливо шляхом застосування кодів одиничної відстані з покращеними властивостями збалансованості, які забезпечують мінімальну різницю у кількості перемикань між розрядами кодової послідовності та зберігають властивість однобітових переходів між послідовними кодовими словами, характерну для класичних кодів

Грея, забезпечуючи рівномірний розподіл загальної кількості перемикань між окремими розрядами у повному кодовому циклі.

Таким чином, дисертаційна робота на тему «Методи побудови кодів одиничної відстані для енергоефективного обладнання телекомунікаційних систем», у якій розв'язується науково-прикладне завдання підвищення ефективності обробки інформації в енергоефективному обладнанні телекомунікаційних систем із застосуванням збалансованих кодів одиничної відстані є актуальною та відповідає сучасним викликам розвитку телекомунікаційних технологій.

## **2. Оцінка наукового рівня дисертації.**

Дисертація відзначається послідовним підходом до розв'язання поставленого наукового завдання, яке виконане на належному рівні. У роботі розглянуто використання кодів Грея та кодів одиничної відстані, проведено огляд технологій і патентні дослідження, розроблено метод побудови кодів одиничної відстані на основі графових моделей гіперкуба, досліджено властивості кодів та еквівалентні перетворення, розроблено метод ієрархічної класифікації та метод конструктивного перерахування кодів одиничної відстані, а також проведено оцінювання властивостей розроблених кодів і наведено комп'ютерні програми та апаратні засоби для формування, перетворення й аналізу кодів одиничної відстані. Така побудова роботи дає підстави розглядати дослідження як цілісне і послідовне за своїм змістом.

Науковий рівень дослідження підтверджується використанням засад комбінаторного аналізу, теорії графів, підходу на основі класів еквівалентності та типових представників, а також засад теорії перерахування. Зазначені теоретичні засади покладено в основу побудови графових моделей, ієрархічної класифікації, конструктивного перерахування та порівняння властивостей кодів.

У роботі чітко простежується логічний зв'язок між теоретичними положеннями, розробленими методами та результатами їх подальшого оцінювання. Дослідження охоплює як теоретичне опрацювання побудови кодів одиничної відстані, їх класифікації та конструктивного перерахування, так і розроблення програмних та апаратних засобів для формування, перетворення й аналізу кодів одиничної відстані. Отримані результати доведено до порівняльної характеристики властивостей розроблених і відомих кодів, що свідчить про завершеність основних етапів дослідження. Результати дисертації є змістовно пов'язаними між собою та утворюють послідовність переходу від графових моделей і класів еквівалентності до конструктивного перерахування, порівняння властивостей кодів, а також програмних і апаратних засобів для їх аналізу та перетворення. Окремо слід відзначити, що в роботі наведено комп'ютерні

програми та апаратні засоби для автоматизації процесу аналізу й формування кодів із заданими властивостями, що розширює прикладний аспект одержаних результатів.

Загалом, дисертаційна робота відповідає сучасному рівню розвитку науки у галузі телекомунікацій та радіотехніки, а наведені в ній результати дають підстави стверджувати, що здобувач оволодів методологією наукової діяльності.

### **3. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації.**

Наукові положення, результати та висновки дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими та достовірними. Їх обґрунтованість визначається тим, що в роботі задачу побудови кодів одиначної відстані зведено до побудови гамільтонових шляхів і циклів у  $n$ -вимірному гіперкубі, для чого розроблено відповідний алгоритм, а ієрархічну класифікацію кодів побудовано на виділенні таких перетворень двійкових матриць, які зберігають властивість одиначної відстані між сусідніми словами коду, та на визначенні типових представників класів еквівалентності. Така побудова забезпечує логічно послідовний перехід від постановки задачі до побудови, класифікації та аналізу кодів одиначної відстані.

Достовірність отриманих результатів підтверджується тим, що для запропонованих підходів у роботі наведено алгоритмічні процедури та приклади їх застосування, для трирозрядних кодів досліджено всі коди одиначної відстані та побудовано їх каталог, а властивості розроблених кодів зіставлено з відомими кодами. Додатково практичну спрямованість отриманих результатів підтверджує комп'ютерна програма для автоматизації побудови та аналізу кодів одиначної відстані. Це дає підстави вважати, що сформульовані в дисертації наукові положення, результати та висновки є обґрунтованими, логічно послідовними та достовірними.

### **4. Наукова новизна одержаних результатів**

В роботі представлені такі нові наукові результати:

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 одиничної відстані, заснований на визначенні інваріантів та генерації системи різних типових представників, що дозволяє формувати та аналізувати коди одиничної відстані з заданими властивостями збалансованості без повного перебору варіантів, спрощуючи задачу вибору оптимального кодування.

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

Представлені результати проведених здобувачем досліджень є науково обґрунтованими, новими та такими, що відповідають темі дисертації.

## **5. Практичне значення результатів дослідження**

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає:

1) у розробленні алгоритму та програмної реалізації методу ієрархічної класифікації кодів одиничної 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.

2) розробленні алгоритму та програмної реалізації методу конструктивного перерахування кодів одиничної 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.

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

Отримані в роботі результати знайшли практичне впровадження та використання: у Державному підприємстві «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості», на підприємстві ПП «Софтвеа Експерт», а також в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту та Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

## **6. Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих працях.**

Основні наукові результати та положення наукового дослідження Яреценка В.В. опубліковано у 24 наукових працях, серед яких 4 статті у фахових виданнях, 4 патенти на корисну модель, 4 свідоцтва про авторське право на

комп'ютерні програми та 12 тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях.

У зазначених публікаціях послідовно висвітлено ключові результати дослідження, зокрема питання побудови кодів одиначної відстані, їх класифікації, конструктивного перерахування та оцінювання ефективності з точки зору збалансованості та енергоефективності.

Публікації охоплюють основні положення наукової новизни та відображають усі етапи дослідження.

Результати дослідження пройшли апробацію на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, що підтверджує їх відповідність сучасному рівню розвитку науки у галузі телекомунікацій та радіотехніки.

Таким чином, повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих працях відповідає встановленим вимогам до дисертаційних досліджень на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

## **7. Структура дисертаційної роботи та відповідність встановленим вимогам.**

Дисертаційна робота має логічно впорядковану структуру, що забезпечує послідовне розкриття теми дослідження та досягнення поставленої мети. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження.

У першому розділі систематизовано наявні підходи до кодування інформації з низьким енергоспоживанням, проаналізовано патентну базу та виявлено перспективний напрям побудови збалансованих кодів одиначної відстані, що стало основою для постановки задач дослідження.

У другому розділі введено графові моделі кодів одиначної відстані на основі гіперкуба, досліджено властивості кодових множин та групи еквівалентних перетворень, розроблено метод побудови кодів одиначної відстані та метод ієрархічної класифікації з виділенням трьох рівнів еквівалентності.

У третьому розділі розроблено метод конструктивного перерахування кодів на основі системи типових представників, окремо розглянуто класи PN-еквівалентності, структурні класи та двійково-десяткові коди з одиначною відстанню.

У четвертому розділі проведено оцінювання ефективності розроблених методів та наведено програмно-апаратні засоби для побудови і аналізу кодів одиничної відстані.

У висновках узагальнено основні результати дослідження відповідно до поставлених задач.

Послідовність викладення матеріалу, логічність структури, рівень наукових результатів та оформлення дисертації відповідають встановленим вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

## **8. Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності.**

За результатами ознайомлення з дисертаційною роботою та поданими матеріалами ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикування чи фальсифікування результатів не виявлено. Дисертаційна робота відповідає вимогам академічної доброчесності.

## **9. Зауваження до змісту та оформлення дисертації.**

В цілому дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, є завершеним дослідженням та має значну наукову і практичну цінність. Разом з тим, за змістом роботи доцільно висловити окремі зауваження та побажання:

1. У розділі 1 визначено недоліки класичного коду Грея в контексті низької збалансованості, проте відсутній кількісний аналіз того, наскільки саме цей показник впливає на споживану потужність у реальних пристроях. Було б доцільно навести результати вимірювань або посилання на відповідні експериментальні дані.

2. У підрозділі 2.3 досліджено властивості кодів з одиничною відстанню та введено показник збалансованості, однак не обґрунтовано вибір саме цього показника серед можливих альтернативних критеріїв оцінки коду. Доцільно було б навести порівняння різних критеріїв та аргументувати перевагу обраного підходу.

3. У підрозділі 2.4 введено еквівалентні перетворення кодів та визначено канонічну форму, однак не розкрито обчислювальну складність процедури приведення довільного коду до канонічної форми. Доцільно було б навести оцінку складності цієї процедури залежно від розрядності.

4. У розділі 3 розроблено метод конструктивного перерахування кодів одиничної відстані, однак не розкрито, як запропонований метод може бути використаний для вибору оптимального кодування для конкретного застосування. Доцільно було б навести приклад практичного використання методу для вибору коду під конкретну прикладну задачу.

Зазначені зауваження не знижують загальної високої оцінки виконаного дослідження та не впливають на наукову новизну і практичну значущість дисертаційної роботи Яреценка В.В.

#### **10. Висновок щодо відповідності дисертації чинним вимогам.**

Дисертаційна робота Яреценка Владислава Валерійовича «Методи побудови кодів одиничної відстані для енергоефективного обладнання телекомунікаційних систем» є повністю завершеною науковою працею, яка розв'язує актуальне науково-прикладне завдання, що полягає у підвищенні ефективності обробки інформації в енергоефективному обладнанні телекомунікаційних систем із застосуванням збалансованих кодів одиничної відстані, містить нові науково обґрунтовані та достовірні результати проведених здобувачем досліджень, що відповідають темі дисертації та мають практичну значимість.

Дисертаційна робота відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», Вимогам до оформлення дисертації, затверджених Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами), вимогам 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 (із змінами) та рекомендується до захисту, а її автор, Яреченко Владислав Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації».

Рецензент

доцент кафедри транспортного зв'язку  
Українського державного університету  
залізничного транспорту,  
кандидат технічних наук, доцент

Олександр ЖУЧЕНКО

«11» квітня 2026 р.