

*Ученому секретарю
спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01
в Українському державному
університеті залізничного транспорту*

61050, м. Харків, площа Фейєрбаха, 7

**ВІДГУК
офіційного опонента**

доктора технічних наук, доцента Корчинського Володимира Вікторовича

на дисертаційну роботу Штомпеля Миколи Анатолійовича на тему:

«Методи декодування та оптимізації завадостійких кодових конструкцій для телекомунікаційних систем», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми.

Підвищення ефективності використання національної телекомунікаційної інфраструктури, що побудована на базі різноманітних проводових та безпроводових технологій, а також необхідність впровадження сучасних інфокомуникаційних послуг потребує постійного удосконалення методів передачі інформації. При наявному зростанні попиту користувачів на високошвидкісний доступ та мультимедійний контент особливо важливим є подолання протиріччя між зростаючими вимогами до достовірності передачі інформації та енергоефективності засобів телекомунікацій та обмеженнями фізичних каналів зв’язку, в яких діють різноманітні завади. Тому ключовим компонентом сучасних телекомунікаційних технологій є завадостійкі кодові конструкції, що використовуються на відповідних рівнях моделі взаємодії відкритих систем. Велике різноманіття класів завадостійких кодів та методів їх декодування, що враховують особливості фізичних каналів зв’язку різної природи, тип інформаційного обміну та інші чинники, ускладнює уніфікацію та стандартизацію телекомунікаційного обладнання. Крім того, побудова новітніх телекомунікаційних систем та мереж вимагає впровадження більш ефективних випадкових завадостійких кодових конструкцій, що потребують оптимізації

множини специфічних параметрів для заданих умов та області застосування, та переходу до м'якого декодування завадостійких кодів різних класів з прийнятною обчислювальною складністю. Отже, зазначені вище фактори та наявні обмеження існуючих методів синтезу та декодування завадостійких кодових конструкцій призводять до гострої необхідності у нових наукових принципах та технічних рішеннях, що здатні задовольнити зростаючі вимоги щодо підвищення достовірності передачі інформації та покращення енергетичної ефективності проводових та безпроводових телекомунікаційних систем. У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи, що розглядається, є досить актуальною.

Автором вирішена важлива науково-прикладна проблема, що пов'язана із забезпеченням високої достовірності передачі інформації та покращенням енергетичної ефективності від кодування у телекомунікаційних системах та мережах різного призначення шляхом розробки та удосконалення методів декодування завадостійких кодових конструкцій з прийнятною обчислювальною складністю, а також оптимізації параметрів окремих класів завадостійких кодових конструкцій, що призначенні для використання у різних фізичних каналах зв'язку.

Ступінь новизни, обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.

У дисертаційній роботі отримано такі основні науково обґрунтовані результати:

- вперше запропоновано комбінований метод декодування кодів з малою щільністю перевірок на парність, новизна якого полягає у поєднанні м'якого декодування на основі розповсюдження довіри та декодування на основі біоінспірованих процедур пошукової оптимізації, що дозволяє збільшити достовірність передачі інформації у телекомунікаційних системах;

- вперше запропоновано метод декодування алгебраїчних згорткових кодів, новизна якого полягає у формуванні найбільш надійного базису породжувальної матриці та застосуванні біоінспірованих процедур пошукової оптимізації для пробних векторів, отриманих у результаті випадкового зміщення, що дозволяє зменшити ймовірність помилки декодування при передачі інформації у каналах зв'язку з випадковими помилками;

- вперше запропоновано адаптивний метод декодування алгебраїчних згорткових кодів перемежування, новизна якого полягає у ітеративному застосуванні біоінспірованих процедур до модифікованої перевірочної матриці даних кодів, отриманої в результаті адаптивного розповсюдження довіри, що

дозволяє підвищити достовірність передачі інформації у каналах зв'язку з пам'яттю;

- уdosконалено методи декодування двійкових лінійних блокових кодів, які відрізняються від відомих застосуванням узагальнених біоінспірованих процедур пошукової оптимізації для визначення переданого кодового слова після знаходження найбільш (найменш) надійного базису на основі породжувальної (перевірочної) матриці, що дозволяє зменшити обчислювальну складність декодування та підвищити енергетичну ефективність від кодування;

- уdosконалено метод ітеративного декодування кодів з малою щільністю перевірок на парність, що, на відміну від відомих, застосовує узагальнені біоінспіровані процедури для уникнення потрапляння у локальні мініуми цільової функції, заснованій на модифікованому правилі кореляційного декодування, що дозволяє підвищити ефективність декодування даних кодів;

- отримав подальший розвиток метод оптимізації відносно коротких нерегулярних кодів з малою щільністю перевірок на парність, який, на відміну від існуючих, заснований на біоінспірованому пошуку розподілу серед зменшеного числа степенів символічних вершин графу Таннера, що відповідає обраному коду, що дозволяє підвищити ефективність синтезу даних кодових конструкцій;

- отримав подальший розвиток метод оптимізації коефіцієнтів нормалізації при декодуванні мінімальної суми кодів з малою щільністю перевірок на парність, який відрізняється від існуючих спільним застосуванням процедури еволюції щільності та біоінспірованих процедур зменшеної складності для обраної моделі каналу зв'язку та параметрів коду, що дозволяє прискорити визначення покращених коефіцієнтів нормалізації;

- одержав подальший розвиток метод оптимізації кодів Лабі, який, на відміну від відомих, заснований на біоінспірованому пошуку зменшеної складності покращених розподілів степенів кодових вершин графів Таннера, що відповідають даним кодам, відповідно до заданих критеріїв, що дозволяє зменшити обчислювальну складність синтезу кодів Лабі для телекомунікаційних мереж з комутацією пакетів.

Сукупність отриманих наукових результатів забезпечує подальший розвиток теорії завадостійкого кодування та виступає теоретичною та методологічною основою для підвищення достовірності передачі інформації та збільшення енергоефективності телекомунікаційних систем, а також зменшення обчислювальної складності синтезу та декодування завадостійких кодових

конструкцій різних класів.

Обґрунтованість отриманих результатів випливає з аргументованого використання апробованих та добре відомих методів теорії завадостійкого кодування, теорії інформації, теорії графів, теорії телекомунікацій, теорії математичного програмування, а також перспективного напряму теорії стохастичної оптимізації – біоінспірованої пошукової оптимізації.

При проведенні досліджень автор прагнув до повного обліку усіх чинників, що впливають на ефективність запропонованих рішень. У роботі використано математично коректну постановку ряду оптимізаційних задач, для вирішення яких науково обґрунтовано застосування принципів біоінспірованого підходу. Додатковим обґрунтуванням отриманих висновків і рекомендацій, поза сумнівом, являються результати математичного моделювання, що було проведено з використанням методів теорії ймовірності, математичної статистики та планування експериментів.

Основні результати роботи не суперечать відомим положенням теорії телекомунікацій та теорії завадостійкого кодування. Головним підтвердженням достовірності отриманих у роботі науково обґрунтованих результатів є їх збіжність з результатами проведених експериментальних досліджень, а також повторюваність результатів для різних умов проведення обчислювальних експериментів. Достовірність результатів підтверджена їх практичним застосуванням у науково-виробничих підприємствах та в навчальному процесі, про що свідчать представлені акти впровадження.

Практичне значення наукових положень, отриманих у дисертації.

Основні практичні результати дисертаційного дослідження полягають в розробці алгоритмів та псевдокодів, що лежать в основі програмної реалізації запропонованих методів декодування та оптимізації завадостійких кодових конструкцій, а також в отриманих числових даних щодо ефективності представлених методів для певних моделей каналу зв'язку та умов передачі інформації.

Практичні результати дисертаційного дослідження можуть використовуватись для покращення характеристик випадкових завадостійких кодів та підвищення ефективності декодування завадостійких кодових конструкцій різних класів для існуючих та перспективних телекомунікаційних систем та мереж, а також у навчальному процесі при вивчені новітніх методів завадостійкого кодування інформації.

Також практична значимість наукових положень дисертаційної роботи підтверджена чотирма актами впровадження результатів досліджень.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих роботах.

Наукові результати дисертаційних досліджень опубліковані у 60 наукових роботах, зокрема у 28 статтях (з них 14 одноосібних) у наукових спеціалізованих виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України, з яких більшість входить до міжнародних наукометрических баз. Основні результати дисертаційної роботи у цих публікаціях відображені достатньо повно.

Основні положення та матеріали дисертаційної роботи доповідались та були схвалені на наукових конференціях, за результатами яких опубліковано 32 тези доповідей.

Відповідність дисертації встановленим вимогам та паспорту спеціальності.

Зміст, структура та правила оформлення роботи відповідають вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р., та Порядку присудження наукових ступенів, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р.

Автореферат у достатній мірі відображає основні положення, наукові та практичні результати, висновки, представлені у дисертації.

Дисертаційна робота відповідає формулі паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі, оскільки вона спрямована на розробку та дослідження методів декодування та оптимізації завадостійких кодів різних класів для телекомунікаційних систем та мереж.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення.

Представлена дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Дисертація містить 361 сторінку (з них 288 сторінок основного тексту), 87 рисунків, 2 таблиці. Список використаних джерел складається з 210 найменувань.

У першому розділі дисертаційної роботи досліджено сучасний стан проблеми підвищення достовірності передачі інформації у телекомунікаційних системах та мережах, а також тенденції розвитку методів завадостійкого кодування інформації; обґрунтовано вибір напряму досліджень, здійснено постановку завдань досліджень.

У другому розділі дисертації отримано такий науковий результат – удосконалено методи декодування низькошвидкісних та високошвидкісних

лінійних блокових кодів на основі узагальненого біоінспірованого пошуку.

У третьому розділі роботи отримано чотири наукові результати: отримав подальший розвиток метод оптимізації нерегулярних кодів з малою щільністю перевірок на парність, що заснований на біоінспірованому пошуку розподілу серед зменшеного числа степенів символічних вершин графу Таннера; удосконалено метод ітеративного декодування даного класу кодів, що застосовує узагальнені біоінспіровані процедури для уникнення потрапляння у локальні мініуми обраної цільової функції; вперше отримано комбінований метод декодування кодів з малою щільністю перевірок на парність, що поєднує класичне м'яке декодування на основі розповсюдження довіри та декодування на основі узагальнених біоінспірованих процедур; отримав подальший розвиток метод оптимізації коефіцієнтів нормалізації при декодуванні мінімальної суми даних кодів, заснований на поєднанні процедури еволюції щільності та біоінспірованих процедур зменшеної складності.

У четвертому розділі дисертації отримано два наукові результати: вперше отримано метод декодування алгебраїчних згорткових кодів, що заснований на знаходженні найбільш надійного базису породжувальної матриці, узагальнених біоінспірованих процедурах пошукової оптимізації та механізмі випадкового зміщення; вперше отримано адаптивний метод декодування алгебраїчних згорткових кодів перемежування, який заснований на біоінспірованому пошуку та процедурах адаптивного розповсюдження довіри.

У п'ятому розділі роботи отримано наступний науковий результат – одержав подальший розвиток метод оптимізації кодів Лабі за заданими критеріями, що заснований на біоінспірованих оптимізаційних процедурах зменшеної складності.

Кожний розділ дисертації містить схеми запропонованих методів оптимізації та декодування завадостійких кодів; схеми алгоритмів та псевдокодів, на яких заснована програмна реалізація даних методів; результати проведених експериментальних досліджень, представлені у виді графіків та таблиць.

Усі положення, винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві. Дисертація написана грамотною науковою мовою, чітко структурована, містить достатньо ілюстративного матеріалу, оформлена акуратно відповідно до існуючих вимог. Дисертація характеризується логічною завершеністю викладення матеріалу та науково обґрунтованими висновками.

Недоліки дисертаційної роботи.

1. У першому розділі дисертаційної роботи автором здійснено докладний аналіз застосування положень теорії оптимізації до проблем декодування та оптимізації завадостійких кодових конструкцій різних класів. Зокрема, зазначено, що для оптимізації перемежувача, що є ключовою складовою паралельних каскадних кодів (турбокодів), у ряді робіт використовуються генетичні алгоритми та процедури оптимізації роєм частинок. Однак, на жаль, у дисертації не розглянуто узагальнений біоінспірований підхід до оптимізації параметрів та складових даного класу кодів, що знаходять широке застосування у сучасних телекомунікаційних технологіях.

2. У другому розділі дисертації при дослідженні ефективності запропонованих біоінспірованих методів декодування лінійних блокових кодів доцільно було б порівняти характеристики та обчислювальну складність даних методів з існуючими методами декодування, заснованими на класичних оптимізаційних процедурах.

3. У дисертації представлено ряд біоінспірованих методів декодування та оптимізації важливого виду сучасних кодових конструкцій – кодів з малою щільністю перевірок на парність. У тому числі, у роботі отримав подальший розвиток метод оптимізації коефіцієнтів нормалізації при двомірному декодуванні мінімальної суми нерегулярних кодів даного класу, що дозволяє прискорити визначення покращених коефіцієнтів нормалізації. Для повноти представлення отриманих результатів автору необхідно було навести оптимізовані коефіцієнти нормалізації для випадку одномірного декодування мінімальної суми, що застосовується до частково регулярних кодів з малою щільністю перевірок на парність.

4. У четвертому розділі дисертації автор зазначає, що для подальшого підвищення ефективності представленого адаптивного методу декодування алгебраїчних згорткових кодів перемежування додатково можна застосовувати механізм випадкового зміщення, але у роботі відсутні результати математичного моделювання для зазначеного випадку, що не дозволяє визначити доцільність даної пропозиції.

5. У дисертаційній роботі детально досліджено ефективність запропонованих біоінспірованих методів декодування алгебраїчних згорткових кодових конструкцій для різних моделей каналу зв'язку з точки зору їх

енергетичної ефективності, але не проведена оцінка обчислювальної складності даних методів декодування.

6. У п'ятому розділі роботи запропоновано біоінспірований підхід до оптимізації кодів Лабі для телекомунікаційних мереж з комутацією пакетів, тобто, фактично, для моделі каналу зв'язку зі стираннями. З іншого боку, відомо, що даний клас кодів може бути застосований для інших моделей каналів зв'язку, що потребує врахування їх особливостей при здійсненні оптимізації. На жаль, дані питання не були дослідженні автором у дисертації, що обмежує область застосування отриманих результатів.

7. Запропоновані у дисертаційній роботі методи декодування та оптимізації завадостійких кодів засновані на узагальнених біоінспірованих процедурах пошукової оптимізації. Для дослідження ефективності та визначення характеристик представлених методів автором було проведено серію експериментальних досліджень для обраних біоінспірованих процедур зі встановленням відповідних значень вільних параметрів. Однак, з тексту дисертації не зрозумілі критерії вибору конкретних числових значень даних параметрів, що використовувались під час проведення математичного моделювання.

8. Відомо, що важливою задачею є узгодження параметрів завадостійких кодів та характеристик сигналів з метою підвищення ефективності їх спільногозастосування при впровадженні новітніх телекомунікаційних систем, тому у дисертаційній роботі доцільно було б розвинути запропонований біоінспірований підхід для оптимізації сигнально-кодових конструкцій.

Проте, зазначені вище недоліки суттєво не впливають на якість представленої дисертаційної роботи, наукову цінність та практичну значимість отриманих результатів досліджень.

Висновки.

1. Дисертаційна робота Штомпеля Миколи Анатолійовича на тему «Методи декодування та оптимізації завадостійких кодових конструкцій для телекомунікаційних систем» є завершеною самостійно виконаною кваліфікаційною науковою працею, що присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми щодо підвищення достовірності передачі інформації та збільшення енергоефективності телекомунікаційних систем.

2. Сукупність отриманих наукових та практичних результатів забезпечують подальший розвиток теорії завадостійкого кодування та дозволяють покращити

характеристики існуючих та перспективних телекомунікаційних систем та мереж.

3. Основні положення дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

4. Автореферат у необхідній мірі відображає зміст і основні результати дисертаційної роботи.

5. За науковим рівнем, практичною значимістю, ступенем апробації та повнотою публікацій, представлена дисертація повністю відповідає пунктам 9, 10, 12–14 Порядку присудження наукових ступенів, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., а її автор Штомпель Микола Анатолійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент:

доцент кафедри інформаційної безпеки
та передачі даних Одеської національної
академії зв'язку ім. О.С. Попова,
доктор технічних наук, доцент

В. В. Корчинський

«Підпис завіряю». Печатка та підпис ученого секретаря.

ПІДПИС ЗАВІРЯЮ:

УЧЕНИЙ СЕКРЕТАР

ОНАЗ ім. О.С. Попова

Руда Г.В.

