

**ВІДГУК**  
**голови разової вченої ради на дисертаційну роботу**  
**Зайцевої Лілії Ігорівни**

на тему «Інформаційна технологія підвищення достовірності передачі інформації на основі каскадних конструкцій коригувальних кодів»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань  
Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

**Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота Зайцевої Лілії Ігорівни присвячена підвищенню ефективності сучасних безпроводових систем передачі даних, які працюють в каналах з шумами.

Однією з характерних особливостей бездротових систем передачі даних є здатність забезпечувати обмін інформацією між абонентами, які можуть спільно виконувати завдання навіть в умовах інтенсивного радіоелектронного протистояння. У зв'язку з цим, ключовим критерієм ефективності таких мобільних систем є їх спроможність гарантувати необхідний рівень достовірності прийому інформації при дії сильних перешкод. Одним із дієвих способів протидії засобам радіоелектронного впливу є використання технологій OFDM та адаптивного кодування.

Сучасні дослідження показують, що більшість існуючих методів адаптації кодів ґрунтується на традиційних числових алгоритмах оптимізації. Переважно такі методи передбачають зміну окремих параметрів кодової конструкції, зокрема швидкості кодування або кількості ітерацій декодування. При цьому структура самого коду залишається незмінною, що обмежує можливість його ефективної адаптації до складних та змінних умов завадового середовища.

Одним із перспективних, але недостатньо досліджених напрямів є використання нейронних мереж для структурної адаптації турбо- та LDPC-кодів. Нейромережеві методи можуть аналізувати поточний стан каналу зв'язку, оцінювати рівень завад і на основі отриманої інформації визначати найбільш доцільну структуру кодової конструкції. На відміну від традиційних підходів, це дозволяє змінювати не лише окремі параметри коду, а й його внутрішню структуру відповідно до поточних умов передачі.

Тому актуальним є розроблення методів структурної адаптації турбо- та LDPC-кодів із використанням нейронних мереж. Застосування такого підходу може забезпечити підвищення достовірності передачі інформації, зменшення кількості помилок і підвищення ефективності сучасних безпроводових систем зв'язку.

Таким чином, дисертаційне дослідження спрямоване на розв'язання актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з підвищенням надійності

передачі даних. Основна ідея полягає у створенні нейромережових методів, які забезпечують автоматичну структурну адаптацію турбо- та LDPC-кодів до змінних і невизначених характеристик каналу зв'язку.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- В роботі було вперше представлено метод корекції параметрів логарифмічних відношень функцій правдоподібності декодерів турбо кода з використанням нейронних мереж, що дозволить підвищити коригуючу здатність кодових конструкцій паралельного та послідовного турбо коду, і як наслідок, достовірності передачі інформації в умовах впливу завад різного походження, при цьому енергетичний виграш кодування становить 0,1-0,3 дБ в порівнянні із методами, які використовують класичні алгоритми BCJR. Відмінність розробленого методу від існуючих, що визначає його новизну, полягає у врахуванні принципу структурних особливостей конкатенацій турбо кодів, використання параметра невизначеності декодуванням та нейронних мереж для розрахунку вихідних логарифмічних відношень функцій правдоподібності.

- Вперше запропоновано метод структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів за рахунок використання графової нейронної мережі. Використання методу структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів за рахунок використання графової нейронної мережі дозволяє отримати енергетичний виграш кодування, при використанні паралельного з'єднання РСЗК в структурі турбо коду виграш кодування становить 0,6-0,85 дБ порівняно з випадком застосування LDPC-кодів, у випадку послідовного з'єднання РСЗК в структурі турбо коду – 0,3-0,4 дБ порівняно з випадком застосування LDPC-кодів для різної кількості біт в блоці. Це забезпечується динамічною зміною конфігурації паралельної та послідовної конкатенації турбо- та LDPC-кодів залежно від результатів декодування, що дозволяє ефективніше використовувати надлишковість коду та зменшити ймовірність виникнення не виправлених помилок. На відміну від традиційних підходів, де параметри кодера та декодера задаються заздалегідь і залишаються незмінними протягом процесу передачі, запропонований метод передбачає адаптивну зміну структури паралельної та послідовної конкатенації турбо кодів і LDPC-кодів.

- В дисертаційній роботі вдосконалено метод вибору множин кодових конструкцій для дискретно-неперервного каналу із ймовірнісними кодами. Ефект від впровадження розробленого методу полягає у виборі кодових конструкцій, погоджених з характеристиками кодів та навмисних завад. Застосування отриманих кодових конструкцій дало енергетичний виграш 0,25-

1,25 дБ при однаковій пропускній здатності при впливі різних видів навмисних завад. Відмінність розробленого методу від існуючих, що визначає його новизну, полягає в тому, що запропонований метод базується на нових аналітичних співвідношеннях для розрахунку пропускну́ї спроможності дискретно-неперервного каналу зв'язку із ймовірнісними кодами, що засновані на декодуванні за максимумом апостеріорної ймовірності, з урахуванням впливу шуму та навмисних завад.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Зайцевої Лілії Ігорівни повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інформаційні технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям з інформаційних технологій.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Зайцевої Лілії Ігорівни 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.

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

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено структуровано, послідовно та з використанням коректної наукової термінології.

Структура дисертації є класичною та логічно обгрунтованою, забезпечуючи послідовний перехід від постановки проблеми до її вирішення та верифікації результатів.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатку. Загальний обсяг дисертації 199 сторінок.

У вступі проаналізовано шляхи покращення роботи безпроводових засобів при впливі завад з використанням методів кодової адаптації, показано зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Сформульовано наукову новизну, практичну цінність, а також перелік задач, що вирішуються в межах дослідження.

В першому розділі дисертації проведено дослідження сучасного стану систем безпроводової передачі даних, визначено основні фактори, що

спричиняють зростання рівня помилок при передаванні інформації, а також розглянуто та узагальнено існуючі методи зменшення похибок у сучасних безпроводових телекомунікаційних системах.

В другому розділі дисертації на основі аналізу методів завадостійкого кодування та декодування вперше розроблено метод корекції параметрів логарифмічних відношень функцій правдоподібності декодерів турбо коду з використанням нейронних мереж. На відміну від існуючих методів та алгоритмів, цей метод передбачає, що враховано принцип структурних особливостей конкатенацій турбо кодів, використання параметра невизначеності декодуванням та нейронних мереж для розрахунку вихідних логарифмічних відношень функцій правдоподібності. Ефект від впровадження запропонованого методу полягає у підвищенні коригуючої здатності кодових конструкцій паралельного та послідовного турбо коду, і як наслідок, достовірності передачі інформації в умовах впливу завад різного походження, при цьому енергетичний виграш кодування становить 0,1..0,3 дБ в порівнянні із методами, які використовують класичні алгоритми BCJR.

В третьому розділі дисертаційного дослідження проведено дослідження методів кодування/декодування турбо кодів та LDPC-кодів, і за результатами аналізу вперше запропоновано метод структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів за рахунок використання графової нейронної мережі. Метод дозволяє враховувати поточний стан каналу передачі, рівень завад та ймовірність помилкового приймання інформаційних символів. При цьому здійснюється вибір між різними варіантами каскадного об'єднання кодів, що забезпечує підвищення ефективності використання надлишковості та зменшення ймовірності виникнення не виправлених помилок. На відміну від традиційних підходів, де параметри кодера та декодера задаються заздалегідь і залишаються незмінними протягом процесу передачі, запропонований метод передбачає адаптивну зміну структури паралельної та послідовної конкатенації турбо кодів і LDPC-кодів.

В четвертому розділі дисертації проведено отримання аналітичних залежностей для розрахунку пропускної здатності дискретно-неперервного каналу передачі даних із кодовими конструкціями при впливі шумів та навмисних завад. За результатами аналізу вдосконалено метод вибору множин кодових конструкцій для дискретно-неперервного каналу із ймовірнісними кодами. Відмінність розробленого методу від існуючих, що визначає його новизну, полягає в тому, що запропонований метод базується на нових аналітичних співвідношеннях для розрахунку пропускної спроможності дискретно-неперервного каналу зв'язку із ймовірнісними кодами, що засновані на декодуванні за максимумом апостеріорної ймовірності, з урахуванням впливу шуму та навмисних завад. Ефект від впровадження розробленого

методу полягає у виборі кодових конструкцій, погоджених з характеристиками кодів та навмисних завад.

Відмінність методу в застосуванні при підготовці начальних поліномів для рекурсивних систематичних згорткових кодів турбо кодів генетичного алгоритму та показника кількості змін знаку апіорно-апостеріорної інформації декодера турбо коду.

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 8 наукових роботах, у тому числі 6 статей у фахових виданнях України з технічних наук, 2 статті у збірниках, що входять до наукометричної бази Scopus, 2 публікації у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Порушень принципів академічної доброчесності у публікаціях не виявлено, що свідчить про належну апробацію результатів.

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

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

При загальній позитивній оцінці дисертаційної роботи та відзначаючи її актуальність і наукову цінність, доцільно звернути увагу на низку дискусійних положень і питань, які потребують додаткового уточнення або більш детального обґрунтування:

1. **Не в повній мірі визначено умови застосування турбо- та LDPC-кодів.** У дисертаційній роботі розглядаються обидва типи кодів, однак недостатньо чітко обґрунтовано, у яких саме умовах та для яких режимів передачі доцільно використовувати турбо коди, а в яких — LDPC-коди. Бажано було б визначити критерії вибору кодової конструкції залежно від характеристик каналу, рівня завад, необхідної швидкості передачі та вимог до достовірності.

2. **Недостатньо розкрито призначення та принцип роботи перемешувачів у структурі турбо коду.** У роботі доцільно більш детально пояснити функції перемешувача та його вплив на процес кодування і декодування. Зокрема, варто показати, яким чином зміна порядку бітів сприяє зменшенню кореляції між помилками та забезпечує ефективніший обмін апіорною інформацією між компонентними декодерами.

3. **Потребує уточнення кількість компонентних кодерів, які можуть використовуватися в турбо коді.** У дисертації недостатньо чітко

визначено, чи розглядається лише класична структура турбо коду з двома компонентними кодерами, чи запропонований підхід допускає використання більшої їх кількості. Доцільно було б обґрунтувати вибір кількості компонентних кодерів та визначити, як її зміна впливає на складність декодування, швидкість кодування та якість передачі інформації.

4. **Потребує додаткового пояснення поняття «підвищення достовірності інформації».** У роботі використовується твердження щодо підвищення достовірності передачі інформації, однак не зовсім зрозуміло, який саме показник використовується для її кількісної оцінки. Доцільно конкретизувати, чи під достовірністю розуміється зниження BER, BLER, імовірності бітової або блокової помилки, чи використовується інший критерій. Також бажано встановити зв'язок між запропонованими методами адаптації та зміною відповідних показників якості передачі.

5. **Відсутня оцінка обчислювальної складності кодування та декодування турбо- і LDPC-кодів.** У дисертаційній роботі основна увага приділена підвищенню ефективності кодових конструкцій, проте недостатньо розглянуто питання обчислювальних витрат. Доцільно було б оцінити складність процедур кодування та декодування для різних параметрів кодів, зокрема залежність складності від довжини кодового блоку, кількості ітерацій декодування та структури кодової конструкції. Окремо варто було б оцінити додаткові обчислювальні витрати, пов'язані із застосуванням нейронної мережі для структурної адаптації.

Зазначені зауваження переважно мають дискусійний та уточнювальний характер і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи. Їх урахування дозволило б більш повно розкрити особливості запропонованого підходу та підвищити практичну обґрунтованість отриманих результатів.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Зайцевої Лілії Ігорівни на тему «Інформаційна технологія підвищення достовірності передачі інформації на основі каскадних конструкцій коригувальних кодів» 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 інформаційних технологій. 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 Зайцева Лілія Ігорівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

**Голова разової вченої ради:**

Завідувач відділу ІТГІП НАНУ

доктор технічних наук,

професор



Василь ТРИСНЮК

Підпис завідувача відділу ІТГІП НАНУ, доктора технічних наук, професора В.М.Триснюка засвідчую:

Вчений секретар ІТГІП НАН України



Вікторія КЛИМЕНКО