

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Зайцева Сергія Васильовича** «Методи та моделі забезпечення сталої достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

Актуальність теми. Під час передачі даних безпроводовими каналами виникає цілий ряд труднощів, пов'язаних із впливом природних, промислових та навмисних завад. В умовах динамічно змінюваних завад знижується ефективність рішень, що підтримуються інформаційною системою, збільшується ймовірність бітової помилки. Стає неможливим забезпечення заданого рівня достовірності інформації шляхом простого використання відомих методів.

Апріорна невизначеність щодо природи завад приводить до появи проблеми забезпечення сталої достовірності інформації, коли в заданих межах підтримується її необхідний рівень на протязі певного проміжку часу передачі даних. Існуючі методи адаптивного управління, які застосовуються для забезпечення заданої достовірності інформації на основі завадостійких кодів, носять розрізнений характер. При обмеженнях на значення швидкості кодування в одно- або дворівневих системах з параметричною адаптацією у випадку підвищення рівнів шумів до певного рівня забезпечення заданих характеристик достовірності інформації стає неможливим. Тому постає питання застосування багаторівневої адаптації структури та параметрів кодів. Крім того, для кодів, які засновані на ймовірнісних алгоритмах декодування, виникає потреба у додатковому врахуванні апріорної інформації та інформації щодо розкриття невизначеності декодування.

На даному етапі розвитку інформаційних технологій виникає протиріччя між обмеженими можливостями традиційних підходів щодо контролю, класифікації та кодування інформації, типовими схемними рішеннями, розрізненими методами та моделями забезпечення достовірності інформації, що застосовуються до одно- та дворівневих систем і базуються на надлишкових критеріях, та потребами створення організованої послідовності процесів у вигляді адаптації багаторівневих ієрархічних систем з врахуванням розкриття невизначеності при прийнятті рішень для забезпечення сталої достовірності інформації.

Таким чином, науково-прикладна проблема, яка полягає у забезпеченні сталої достовірності інформації систем передачі даних в умовах апріорної невизначеності за рахунок розроблення моделей і методів, що використовують упорядковану послідовність процесів багаторівневої адаптації каскадних кодових конструкцій та додаткові показники розкриття невизначеності декодування, є актуальною.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась в межах держбюджетної теми Чернігівського національного технологічного університету і прикладних науково-дослідних робіт. Результати дисертаційних досліджень були використані під час виконання науково-дослідної роботи наукового центру зв'язку та інформатизації ВІТІ НТУУ «КПІ» (шифр «Сопка») у ході визначення вимог до новітніх засобів

радіозв'язку, в науково-дослідній роботі наукового центру зв'язку та інформатизації ВІТІ НТУУ «КПІ» (шифр «Вежа») під час визначення вимог до нових автоматизованих систем радіозв'язку, в науково-дослідній роботі наукового центру зв'язку та інформатизації ВІТІ НТУУ «КПІ» (шифр «Простір») у процесі визначення вимог до нових засобів радіозв'язку, в дослідно-конструкторській роботі «Аврора» ТОВ «Телекарт-Прилад» під час створення відомчих КХ-радіостанцій Р-1150 для військових формувань, а також у науково-дослідній та дослідно-конструкторській роботі ТОВ «РДЛ» у процесі створення відомчих ІР-мереж для органів влади та місцевого самоврядування.

Наукова новизна та теоретична цінність результатів:

1. Вперше запропонована концепція забезпечення сталої достовірності передачі інформації в умовах апріорної невизначеності, яка ґрунтується на нових критеріях та методах і, на відміну від наявних, використовує критерії забезпечення сталої достовірності, показники невизначеності декодування та багаторівневу адаптацію каскадних кодових конструкцій.

2. Вперше розроблено метод структурної адаптації каскадних кодів, який, на відміну від наявних, включає двоступеневу адаптацію структури конкатенації кодів (на першому етапі відбувається визначення структури внутрішнього коду, а на другому, з урахуванням показника невизначеності, обираються структури компонентних кодів) та дозволяє динамічно синтезувати структури каскадних кодів для забезпечення сталої достовірності інформації в умовах апріорної невизначеності.

3. Вперше розроблено метод параметричної адаптації компонентних кодів турбокоду для забезпечення сталої достовірності інформації, який, на відміну від наявних, використовує вперше запропонований показник невизначеності та дозволяє в динаміці визначати розмір кадру, тип перемежувача, поліноми компонентних кодів та кількість ітерацій декодування для адаптації структури кодера в умовах апріорної невизначеності.

4. Удосконалено метод оцінювання достовірності інформації з урахуванням щільності розподілу нормалізованих значень кількості змін знаку апостеріорно-апріорних логарифмічних відношень функцій правдоподібності декодера турбокоду, що дозволяє підвищити точність оцінки достовірності інформації у разі відсутності додаткового тестового каналу.

5. Отримав подальший розвиток метод оцінювання дисперсії завад в адаптивному декодері турбокоду за рахунок обчислення глибини згортки функцій правдоподібності про передані біти багатоконponentних турбокодів з урахуванням функціональної залежності величини дисперсії від кількості компонентних кодерів турбокоду, що дає можливість зменшити апріорну невизначеність під час прийняття рішень та покращує точність визначення дисперсії завад.

6. Удосконалено метод прийняття рішень у процесі декодування турбокодів за рахунок використання апріорної інформації від додаткового кодування при кожній ітерації декодування багатоконponentного турбокоду, що дозволяє підвищити достовірність передачі інформації.

7. Отримав подальший розвиток метод формування адаптивних кодів з повтореннями, що заснований на використанні простого повторення кодових ком-

бінацій, у частині створення надлишковості в інформаційних даних за рахунок використання ортогональних послідовностей з урахуванням їх кореляційних властивостей; що дозволяє в декодері турбокоду підвищити надійність прийняття рішень під час декодування бітів інформації.

8. Удосконалено Log Map метод декодування турбокодів за рахунок використання в алгоритмі декодування лінійної та гібридної апроксимації логарифма Якобіана під час прийняття рішень про декодований біт, що дозволяє підвищити достовірність передачі інформації.

9. Вперше розроблено імітаційну модель процесу функціонування безпроводової системи передачі даних, яка, на відміну від відомих, включає векторну модель дискретно-неперервного каналу системи OFDM з урахуванням впливу навмисних завад і заснована на формалізованому описі процесів передавання та декодування типових даних; запропонована імітаційна модель ґрунтується на методах об'єднання компонентних кодів та має можливість у широких межах змінювати параметри кодів (поліноми, розмір кадру, типи перемешувачів, кількість компонентних кодів, структури конкатенації кодів, кількість ітерацій декодування, алгоритми декодування й інші параметри) для отримання статистичних характеристик для вирішення задач аналізу та синтезу відомих та перспективних інформаційних технологій.

Визначені основні наукові результати є **новими**.

Теоретичне значення роботи полягає у створенні інформаційної технології, розробці моделей і методів, що використовують упорядковану послідовність процесів багаторівневої адаптації каскадних кодових конструкцій та додаткові показники розкриття невизначеності декодування, для забезпеченні сталої достовірності інформації систем передачі даних в умовах апріорної невизначеності.

Практичне значення одержаних результатів.

Наведені вище наукові результати у своїй сукупності утворюють нову інформаційну технологію забезпечення сталої достовірності інформації в безпроводових системах передачі даних в умовах апріорної невизначеності, яка представлена у вигляді алгоритмів збору, зберігання та оброблення кодованих даних у процесі багаторівневої адаптації каскадних кодових конструкцій та реалізована у схемних рішеннях у процесі створення приладів, систем та мереж, у тому числі військового призначення.

Особливу практичну цінність мають такі розроблені та апробовані схемні рішення та алгоритми:

1. Структурна схема інформаційної технології забезпечення сталої достовірності передачі інформації в умовах апріорної невизначеності за рахунок застосування багаторівневої адаптації каскадних кодових конструкцій.

2. Алгоритми адаптації структури конкатенації кодів.

3. Схема модифікованого декодера турбокоду з урахуванням зміни поліномів рекурсивних систематичних згорткових кодів турбокоду при гібридному автоматичному запиті повторної передачі.

4. Алгоритм визначення показника невизначеності оцінювання якості процесу декодування турбокодів.

5. Алгоритм вибору параметрів (розміру кадру, перемешувачів, ітерацій

декодування) турбокоду.

6. Структурна схема декодера турбокоду з модулями розрахунку показника невизначеності та управління ітераціями декодування.

7. Структурна схема модифікованого декодера турбокоду з урахуванням апріорної інформації від додаткового кодування кожної ітерації багатокompонентного турбокоду в кожному повному циклі декодування.

Результати дисертаційної роботи використані в ТОВ «Телекарт-Прилад» під час створення відомчих КХ-радіостанцій Р-1150 для військових формувань, ТОВ «РДЛ» у ході створення відомчих IP-мереж для органів влади та місцевого самоврядування, в науково-дослідних роботах наукового центру зв'язку та інформатизації ВІТІ НТУУ «КПІ» (шифри «Сопка», «Вежа», «Простір»), у науково-дослідній роботі Чернігівського національного технологічного університету при створенні захищеної системи голосового конференц-зв'язку в IP-мережах, а також результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі ВІТІ НТУУ «КПІ» під час підготовки навчально-методичних матеріалів з дисципліни «Технології забезпечення безпеки інформації в спеціальних інформаційних системах» та навчальному процесі Чернігівського національного технологічного університету у процесі підготовки навчально-методичних матеріалів з дисципліни «Телекомунікаційні системи і технології». Акти впровадження подані у додатку до дисертації.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів. Отримані результати є обґрунтованими та достовірними, це підтверджується значним обсягом здійснених досліджень, поданим фактичним матеріалом та його науковою інтерпретацією, практичним використанням запропонованих розробок та апробацією на наукових конференціях й семінарах.

У роботі коректно застосовано основні положення теорії кодування, теорії управління, апарат теорії ймовірності та математичної статистики, методи регресійного аналізу, імітаційного моделювання та об'єктно-орієнтованого програмування. Достовірність висновків та рекомендацій підкріплена результатами моделювання, натурального експерименту, а також відповідними публікаціями.

Оцінюючи зміст дисертаційної роботи в цілому, слід відмітити її обґрунтованість та практичну спрямованість, внутрішню єдність матеріалу. У цілому поставлені в розглянутій дисертації завдання вирішені повністю. Здобувачем у дисертації отримані науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему забезпечення сталої достовірності інформації систем передачі даних в умовах апріорної невизначеності за рахунок розроблення моделей і методів, що використовують упорядковану послідовність процесів багаторівневої адаптації каскадних кодових конструкцій та додаткові показники розкриття невизначеності декодування. Дисертаційна робота оформлена згідно вимогам до докторських дисертацій.

Повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях. Основні результати дисертації з достатньою повнотою відображено в 48 публікаціях, у тому числі: 2 монографії, 24 наукові статті у фахових українських наукових журналах, серед яких 15 включені до міжнародних наукометричних баз та 10 одноосібних, 3 статті у зарубіжних фахових наукових журналах, серед яких 2 одноосібні, 5 патен-

тів на корисну модель, 4 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір та 10 публікацій у збірниках матеріалів наукових конференцій. Аналіз внеску автора в публікації по питаннях, висвітлених в дисертації, показав, що внесок Зайцева С.В. є *вирішальним*.

Рекомендації щодо використання результатів. Отримані автором результати можуть бути використані при розробці нових і модифікації існуючих адаптивних безпроводових систем передачі даних. Результати роботи доцільно використовувати в організаціях та на підприємствах, які займаються розробкою та експлуатацією безпроводових систем передачі даних. Їх доцільно також використовувати в навчальному процесі, зокрема при викладанні курсів, пов'язаних з кодуванням, цифровою обробкою сигналів та інформаційно-телекомунікаційними системами і технологіями.

Автореферат повною мірою відображає зміст і основні положення дисертаційної роботи.

Недоліки дисертаційної роботи. Разом з тим дисертаційна робота має і ряд недоліків, серед яких необхідно відзначити наступні:

1. В дисертації не досить повно розкрито сутність практичних рекомендацій щодо впровадження розроблених ним наукових результатів.
2. Автором не проведено аналіз практичної складності реалізації отриманих результатів.
3. З аналізу дисертаційної роботи незрозуміло, для якого частотного діапазону роботи безпроводових систем передачі даних можна застосовувати отримані автором результати.
4. З дисертації незрозуміло, на яких безпроводових системах (переносних, на транспортній базі, стаціонарних) доцільно використовувати запропоновані наукові результати, які особливості їх практичного впровадження для кожного з цих типів безпроводових засобів.
5. В розділі 3 дисертації не наведені обмеження на довжину кодового обмеження рекурсивних систематичних згорткових кодів турбокоду.
6. Незрозуміло, чому автор дисертації не враховував при моделюванні ймовірності бітових помилок, які менші за значення 10^{-5} .
7. Незрозуміло, яка кількість блоків використовувалась при імітаційному моделюванні системи передачі даних з використанням параметричної адаптації, а саме корекції ітерацій декодування турбокодів.
8. При розкритті «Методу структурної адаптації каскадних кодів», а саме його другого етапу, незрозуміло, яким чином формується відповідна гратчаста діаграма станів компонентних кодів турбокоду.
9. Не описано, яким чином змінюється розмір діаграми станів рекурсивних систематичних згорткових кодів в залежність від обраних поліномів, які параметри при цьому враховуються при декодуванні турбокодів.
10. На мій погляд, не достатньо опрацьовано питання аналізу впливу навмисних завад від декількох станцій впливу на характеристики достовірності передачі інформації.

Зроблені зауваження суттєво не знижують якість виконаних автором наукових досліджень.

Загальний висновок по дисертації. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій отримано розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми забезпечення сталої достовірності інформації систем передачі даних в умовах апріорної невизначеності за рахунок розроблення моделей і методів, що використовують упорядковану послідовність процесів багаторівневої адаптації каскадних кодових конструкцій та додаткові показники розкриття невизначеності декодування.

Робота є *актуальною*, містить *нові наукові результати*, автором дотримано цілісність підходу.

Дисертаційна робота за темою «Методи та моделі забезпечення сталої достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних» є завершеним науковим дослідженням, відповідає вимогам п. 10, 12, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами), а її автор – **Зайцев Сергій Васильович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

ОФЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

Провідний науковий співробітник
відділу мікропроцесорної техніки
Інституту кібернетики
ім. В.М. Глушкова НАН України,
д.т.н., проф.



Опанасенко В.М.