

## ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Смаженко Катерини Олександрівни на тему:  
“Компенсація надлишковості в блокових кодах  
на основі таймерних сигналів”, представлену на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі**

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Однією зі складових глобальних змін у галузі телекомунікацій є еволюція мереж, служб та термінального устаткування в напрямі конвергенції. Характерно, що сучасні цифрові мережі можуть забезпечити транспортування всіх видів інформації. Перехід від аналогових мереж до цифрових спричиняє необхідність розроблення усе більш ефективних цифрових систем передавання. Темпи розвитку систем обміну інформацією обумовлені лавиноподібним зростанням обсягів трафіка навантаження. Це вимагає вирішення проблеми більш ефективного використання пропускнуої спроможності середовища передавання.

Розв'язання цієї проблеми можливе двома методами: перший – підвищення частотної ефективності, для чого застосовуються багатопозиційні ансамблі сигналів; другий – завадостійке кодування, на основі введення надлишковості в інформаційну послідовність із можливістю виявлення й виправлення значної частини помилок.

В даній роботі розглядаються: метод підвищення швидкості передавання інформації за рахунок компенсації надлишковості в завадостійких кодах та зменшення ймовірності невиявленої помилки в кодовому блоці таймерними сигнальними конструкціями; метод декодування таймерних сигналів; метод модуляції імпульсів таймерних сигналів шляхом їх мультиплексування та ортогоналізації.

Актуальність розв'язків науково-технічного завдання, отриманих в дисертації, впливає з того, що застосування таймерних сигналів, по-перше, дає змогу підвищити завадостійкість передавання інформації, а, по-друге, - компенсувати надлишковість перевірочних елементів коригувального коду.

**Основні наукові результати досліджень.** Дисертаційна робота представлена у вигляді рукопису на 161 сторінок і містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаної літератури, додатки, у тому числі акти впровадження результатів роботи.

У вступі обґрунтовується актуальність і стан досліджуваного питання, зв'язок з державними науковими програмами і темами, мета і методи

ФНАЗ ім. О. С. Попова  
БІ. 01-32-182  
20 06 2019 р

дослідження; наукова новизна і практичне значення отриманих результатів; апробація і вірогідність результатів досліджень.

**В першому розділі** досліджуються питання забезпечення умов якості передачі інформації по нестационарним каналам зв'язку та надана характеристика загальним положенням теорії завадостійкості. На основі аналізу статистичних характеристик помилок у реальних каналах зв'язку оцінюються граничні значення надлишковості при блоковому кодуванні та втрати по швидкості передачі корисної інформації. Надано аналіз підвищення швидкості передачі інформації для існуючих каналів, що побудовані на основі сигнальних конструкцій М-ічної матриці. Обґрунтовано доцільність дослідження сумісного використання таймерних сигнальних конструкцій із блоковими кодами. Сформульовано напрямки дослідження для досягнення завдань мети дисертації.

**У другому розділі** розглянуто питання збільшення інформаційної ємності найквістового елемента в бінарному каналі при таймерному кодуванні, досліджено параметри спотворень таймерних сигналів в стаціонарних та нестационарних каналах зв'язку, розроблено метод синтезу таймерних сигнальних конструкцій із розділеними множинами синдромів виявлення та виправлення помилок, досліджено ефективність застосування двохсимвольних ансамблів у симплексних системах на базі коригувальних таймерних сигнальних конструкцій,

До основного недоліку позиційного кодування можна віднести кратність інтервалу між суміжними моментами модуляції найквістового елемента. Характерно, що застосування таймерних сигналів дозволяє збільшити кількість реалізацій на фіксованому інтервалі побудови сигнальних конструкцій, наприклад, для  $m = 4$  за рахунок збільшення параметру  $s = 2, 5, 7$ . Проте, збільшується ймовірність помилки переданої сигнальної конструкції, тому в дослідженні запропоновано метод вибору оптимального значення часового інтервалу  $\Delta$ , при якому досягається максимальна відносна швидкість передавання з урахуванням відношення сигналу/шум в каналі.

Досліджено умови вибору оптимальної довжини ТСК  $m$ , за якої забезпечується максимальна інформаційна ємність найквістового елемента, Встановлено, що оптимальним інтервалом побудови ТСК є  $m = 5$ , за якого забезпечуються максимальні значення інформаційної ємності найквістового елемента в межах  $I_H \approx 2$ , а при збільшенні  $m$  та  $i = \text{const}$ , значення  $I_H$  зменшуються.

Розглянуто ефективність двохсимвольних ансамблів в симплексних системах на базі коригувальних таймерних сигнальних конструкцій. Дослідження виявило, що дворазова передача двохсимвольних ансамблів в



симплексних системах із двократним повторенням на інтервалі  $T_{пер} = 2 \cdot 6,5 = 13t_0$  з надлишковими ТСК забезпечує у два рази вищу швидкість передачі, порівняно з передачею надлишковим позиційним кодом.

**Третій розділ** присвячено питанням дослідження ефективності компенсації надлишковості в блокових кодах за рахунок таймерних сигналів. Надано аналіз втрат за швидкістю передачі через повторення кодових блоків, що були спотворені в каналі. Встановлено, що коди невеликої довжини менш чутливі до впливу завад, а на швидкість передавання впливають втрати на надлишковість. Втрати на повторення  $\Delta R$  мінімум в десятки разів менші втрат на надлишковість. При цьому надлишковість спільно з параметрами потоку помилок в каналі визначає залишкову ймовірність помилки. При цьому втрати на повторення можуть бути набагато менше кодової надлишковості. Також встановлено, що на відносну швидкість передавання, наприклад, при ймовірності  $p_0 \leq 2,5 \cdot 10^{-3}$ , в основному, впливають втрати на надлишковість.

Запропоновано метод розділення векторів помилок, що виправляються і виявляються в кодах Слепяна. За рахунок використання таймерних сигналів проведена компенсація надлишковості тринадцятиелементного коду з  $d_0 = 5$ , побудованого на базі коду Слепяна (9,5), зменшена ймовірність помилкового прийому на 4 порядки та збільшена кодова швидкість майже в два рази (з 5/13 до 5/6,7).

Отримані аналітичні вирази та проведені розрахунки для параметрів реальних каналів показують, що аналіз наявності ЗМВ в дозволених і заборонених зонах дозволяє опосередковано оцінити місця спотворених елементів.

**У четвертому розділі** досліджено статистичні властивості таймерних сигнальних конструкцій для виявлення та застосування нових підходів до їх декодування в часовій та частотній областях. Надано аналіз впливу виду імпульсної реакції лінійної системи на якість виявлення сигналів. Приділена увага питанням удосконалення систем зв'язку на основі непозиційних сигналів. Запропоновано метод передавання із застосуванням мультиплексування імпульсів таймерних сигналів з подальшою їх ортогоналізацією й модуляцією для підвищення завадостійкості і прихованості сигнальних конструкцій в каналі.

Дослідження статистичних властивостей таймерних сигналів дало можливість виявити нові підходи до їх декодування в часовій та частотній областях. Аналіз АКФ таймерних сигналів дав змогу побачити їх відмінність між собою. Дослідження односторонньої спектральної щільності ТСК

виявило, що основна частина енергії зосереджена на значеннях  $f = 1/t_0$ , а форма спектра є індивідуальною для кожної ТСК. Отже, визначення номера ТСК можна здійснювати в результаті аналізу спектра в приймальному пристрої при декодуванні.

Запропоновано з метою підвищення завадостійкості та структурної прихованості передавання метод мультиплексування імпульсів таймерних сигналів з подальшою їх ортогоналізацією й модуляцією. В порівнянні з РЦК це також збільшує обсяг переданих даних і зменшує кількість використовуваних піднесучих частот.

**Недоліки.** До недоліків варто віднести наступне:

1. В запропонованому методі (розділ 4) модуляції імпульсів таймерних сигналів шляхом їх мультиплексування та ортогоналізації передбачається, що підвищуються завадостійкість та структурна прихованість сигнальних конструкцій, проте не наведено числові значення показників;

2. В методі компенсації надлишковості блокових кодів в основному розглядаються невеликі довжини кодових комбінацій, проте немає прикладів застосування цього методу для кодових блоків великої довжини і аналізу впливу статистичних характеристик дискретного каналу передавання.

**Висновок.** Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, які наведені у дисертаційній роботі базується на фундаментальних положеннях теорії зв'язку та коректному використанні математичного апарату теорії ймовірності, теорії потенційної завадостійкості, теорії завадостійкого кодування, математичної статистики, комбінаторики. Достовірність отриманих автором прикладних результатів дослідження підтверджується результатами моделювання на ПЕОМ, натурними дослідженнями та актом впровадження.

Найціннішими науковими результатами дисертаційної роботи є такі:

- отримано розвиток теорії таймерного кодування для її інтеграції з класичною теорією завадостійкого кодування для підвищення коригувальних властивостей та відносної швидкості передавання інформації в телекомунікаційних системах;

- запропоновано метод компенсації надлишковості для блокових кодів шляхом застосування таймерних сигналів, що дало змогу підвищити кодову швидкість та зменшити ймовірність невиявленої помилки для коду з парним числом одиниць, для кодів Хеммінга з невеликими довжинами та для коду з відношенням  $3/4$ ;

- запропоновано метод формування надлишкових таймерних сигналів, що підвищує якість декодування кодових слів шляхом розділення множин векторів синдромів виявлення й виправлення помилок;



- запропоновано метод модуляції і демодуляції таймерних сигнальних конструкцій, що підвищує завадостійкість і швидкість передавання інформації.

Отримані особисто здобувачкою наукові результати і зроблені нею висновки є новими. Вони переконливо підтверджені теоретично й експериментально. Особистий внесок здобувача відповідає темі і змістові дисертації. Положення роботи достатнім чином опубліковані і апробовані. Робота належним чином оформлена та відповідає заявленій спеціальності.

Зауваження до дисертаційної роботи не чинять істотного впливу на цінність виконаних досліджень. Розроблені автором методи, алгоритми управління оригінальні й без сумніву дадуть позитивний ефект при впровадженні у виробництво апаратури зв'язку й систем передачі даних.

В дисертаційній роботі на тему "Компенсація надлишковості в блокових кодах на основі таймерних сигналів" розв'язано актуальне наукове і практично значиме завдання підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних систем. Розглянута дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, пп. 11-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами та доповненнями), а її авторка – Смаженко Катерина Олександрівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри телекомунікацій  
Національного університету  
«Львівська політехніка»

 Климаш М. М.

Підпис професора Климаша М.М. засвідчую,

Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»





Брилинський Р.Б.