

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ТРУБЧАНИНОВА КАРИНА АРТУРІВНА



УДК 621.391.82

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ БАГАТОКАНАЛЬНОГО
ДОСТУПУ ТА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В РУХОМИХ КОМП'ЮТЕРНИХ
СИСТЕМАХ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі транспортного зв'язку Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант

доктор технічних наук, професор,
Панченко Сергій Володимирович,
Український державний університет
залізничного транспорту, ректор.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,
Єременко Володимир Станіславович,
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського», професор
кафедри інформаційно-виміральної
техніки;

доктор технічних наук, професор,
Коваленко Андрій Анатолійович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри
електронних обчислювальних машин;

доктор технічних наук, професор
Кучук Георгій Анатолійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри обчислювальної техніки
і програмування.

Захист відбудеться «4» березня 2021 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розіслано «27» січня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ігор ЛІБЕРГ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах розвитку сучасних технологій, які є основою створення інформаційного суспільства, підвищення якості життя та діяльності людини, ефективність роботи виробництв та державних установ суттєво залежить від розвитку, розробки та введення до експлуатації нових комп'ютерних систем (КС) та інформаційних технологій. Цифровізація повинна забезпечити кожному громадянину рівний доступ до послуг, інформації та знань, які надаються на ґрунті інформаційно-комунікаційних та цифрових технологій. При цьому, з метою подолання різного рівня доступу до послуг, інформації і знань слід зосередитися на розвитку мобільної інфраструктури, технологічної інфраструктури для проєктів IoT (Internet of Things) та розвитку широкосмугового доступу до Інтернету.

Сучасну комп'ютерну інфраструктуру характеризує висока інтенсивність інформаційних потоків, що викликає все більш нагальну потребу у підвищенні ємності мобільних мереж. При цьому основною тенденцією їх розвитку є уніфікація персональних засобів комунікації, що означає можливість використання одного комп'ютерного терміналу для з'єднання з інформаційними службами в різноманітних середовищах. Це викликає потребу в отриманні високошвидкісних безпроводних мереж в КС.

Останні десятиріччя розвиток інфокомунікаційних технологій здійснюється у напрямі розширення послуг користувачам шляхом надання їм додаткових сервісів, зокрема, голосу, даних та відео. При цьому, особливо бурхливим стає попит на обслуговування мобільних пристроїв КС, який може бути задовільнено тільки шляхом застосування безпроводних мереж. Таким чином, надзвичайно інтенсивний розвиток безпроводних технологій став одним з основних сучасних напрямків розвитку інфокомунікаційної індустрії.

У свою чергу, нагальною стає проблема забезпечення вимог до якості інформації, що циркулює між мобільними пристроями КС, яка, зокрема, обумовлена вимогами до високої швидкості передачі даних, щільності безпроводних каналів на один квадратний метр робочої зони, їх пропускної здатності та завадостійкості в умовах дії навмисних та ненавмисних завад.

Таким чином, розв'язання зазначених проблем не є можливим без створення і впровадження ефективних моделей, методів і технологій багатоканального доступу (БД) та захисту інформації (ЗІ) в рухомих КС. Виконання цих вимог щільно пов'язано з необхідністю узагальнення вже накопиченого досвіду у сфері забезпечення вимог до якості передачі інформації у безпроводних мережах КС та всебічно залежить від ступеню впровадження передових інфокомунікаційних технологій, які пов'язані з передачею та обробкою інформації, що традиційно викликає необхідність їх удосконалення.

В теорії забезпечення вимог до якості передачі інформації у безпроводних мережах рухомих КС накопичено значний теоретичний матеріал та ґрунтовний

практичний досвід. Найбільш важливими роботами в цьому напрямі є дослідження закордонних і вітчизняних вчених, серед яких варто виділити наступних: Т. Уилльямс, Дональд Р.Ж. Уайт, В.А. Котельников, А.Д. Князев, В.І. Кравченко, А.Г. Зюко, М.М. Климаш, Ю.Ю. Коляденко, О.А. Серков, В.В. Поповський, Г.І. Чурюмов, І.В. Шахнович, Л.Ю. Астанин, І.Я. Іморєєв, С.Е. Shannon, Н.Л. Van Trees, G.F. Ross, Larry W. Fullerton, Terence W. Barrett, А.Ф. Kardo-Sysoev, Х.Ф. Хармут, Б.Б. Акбашев, Н.В. Балюк, Л. Н. Кечиев, D. Slepian.

В рамках багатьох сучасних розробок створено, впроваджено і експлуатується велика кількість технічних рішень, методів та підходів до забезпечення багатоканального доступу і захисту інформації в рухомих КС, які мають певні переваги та недоліки. Існує неминучій компроміс між зростаннями обсягів, швидкості переданої інформації, щільності розташування мобільних пристроїв та фізично обмеженим ресурсом радіочастотного спектру. Даний компроміс повинен бути шляхом до вирішення технічного протиріччя між тенденцією підвищення кількості інформації, що передається у рухомих КС, та вимог до якості інформації у безпроводних мережах КС за відсутності науково обґрунтованого концептуального підходу до їх ефективної реалізації.

Крім того, в Україні не розроблено єдиного комплексного підходу до вирішення задач забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС. Тому стає необхідністю розробка єдиної методологічної основи з урахуванням їх особливостей та специфіки.

Таким чином, незважаючи на різноманіття закордонних і національних підходів до вирішення проблеми БД та ЗІ в рухомих КС, аналіз існуючих підходів показує, що сьогодні не повною мірою вирішено низку актуальних питань, пов'язаних з важливими теоретичними аспектами й практичною реалізацією забезпечення жорстких вимог до якості обміну інформацією в безпроводній інфокомунікаційній мережі.

Отже існує **суперечність**, коли одночасно з істотним підвищенням вимог до швидкості передачі інформації, збільшенням щільності розташування мобільних пристроїв КС у просторі та обсягів інформації, що передається, існує фізична обмеженість радіочастотного спектру, яка не дозволяє забезпечити якість обміну інформацією в безпроводній мережі, особливо в умовах складної електромагнітної обстановки, яку створено щільно розташованими мобільними пристроями КС.

Подолати цю суперечність можна шляхом вирішення **актуальної науково-прикладної проблеми** забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС на основі розробки технології та відповідного математичного апарата - математичних моделей і методів.

Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі транспортного зв'язку Українського державного університету залізничного транспорту відповідно до наступних програм та нормативно-правових документів: «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки» від 09.01.2007 р., № 537-V, Закон України «Про телекомунікації» від 18.11.2003 р., № 1280-IV, Закон України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 04.02.1998 р., № 75/98-ВР, Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій», планів наукової, науково-технічної діяльності Українського державного університету залізничного транспорту, Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту «Молнія» та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Матеріали дисертації було використано у звіті про науково-дослідну роботу згідно планів виконання НДР НДПКІ «МОЛНІЯ» №20440 (№ ДР 0119U002571), яка виконується за держзамовленням, у рамках виконання проекту НТУ «ХПІ» «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens» (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) за програмою ERASMUS+ та НДР Українського державного університету залізничного транспорту «Дослідження загальнодержавних вимог до розподілу частот України, новітніх цифрових систем технологічного радіозв'язку та розробка плану використання радіочастотного ресурсу мереж технологічного радіозв'язку АТ «Українська залізниця»» (ДР№ 0121U100191). Участь автора у зазначених науково-дослідних темах та проектах полягає в розробці методів, моделей та технології багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС, що функціонують на транспорті.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є забезпечення якості передачі інформації у безпроводних мережах рухомих КС.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були сформульовані та вирішені **такі завдання:**

1) провести аналіз сучасних і перспективних принципів, критеріїв, моделей і методів забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС, а також виникаючих практичних вимог до захисту і швидкості передачі інформації та щільності каналів доступу;

2) розробити комплекс моделей архітектур фізичних пристроїв, який враховує особливості створення, розповсюдження у просторі та прийому надширококутних інформаційних сигналів, що дозволяє виконати вимоги щодо збільшення обсягу та швидкості передачі інформації у рухомих КС;

3) удосконалити метод кодування інформації із застосуванням часової позиційно-імпульсної модуляції та метод створення незалежних завадостійких каналів доступу;

4) розробити моделі пристроїв і компонентів блоку для прийому/передачі надширокосмугових сигналів та метод мерехтливої поляризації для рухомих комп'ютерних систем;

5) розвинути метод кореляційного прийому надширокосмугових сигналів та метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу;

6) розробити технологію забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС;

7) провести впровадження розроблених методів і моделей та технологій.

Об'єктом дослідження є процес передачі інформації в безпроводній мережі рухомих комп'ютерних систем.

Предметом дослідження є моделі та методи забезпечення якості передачі та захисту інформації у безпроводних мережах рухомих КС.

Методи дослідження. При розв'язанні науково-прикладної проблеми було використано широкий спектр методів. Так, при розробці математичних моделей процесів створення, розповсюдження у просторі та прийому надширокосмугових інформаційних сигналів використовувалися основні положення радіофізики, теорії передачі сигналів, теорії електрозв'язку, математичного та імітаційного моделювання. При розробці методів забезпечення БД та ЗІ рухомих КС були використані методи теорії потенційної завадозахищеності, теорії інформації, функціонального аналізу та просторово-часової обробки сигналів. Розробка технології забезпечення БД та ЗІ рухомих КС вимагала застосування теорії імовірностей, математичної статистики, методів спектрального аналізу та теорії прийняття рішень. Оцінка експериментальних даних, отриманих у ході роботи, проводилася на основі методів математичної статистики.

Вибір методів досліджень забезпечив достовірність отриманих результатів і висновків, що підтверджується збіжністю результатів експериментальних досліджень з теоретичними і практичними результатами, відображеними в публікаціях, і обумовлений їх відповідністю до положень теорії електромагнітної сумісності мобільних пристроїв КС.

Наукова новизна отриманих результатів обумовлена розробленими моделями, методами та технологією забезпечення БД та ЗІ рухомих КС, які надали подальший розвиток відповідному науковому напрямку та, в межах яких, отримані такі нові наукові результати:

Вперше розроблені:

– комплекс методів забезпечення БД та ЗІ рухомих КС, який базується на використанні надширокосмугових інформаційних сигналів, що дає можливість здійснювати безпроводний зв'язок в широкій смузі частот, коли рівень інформаційного сигналу дорівнює чи нижче рівня шуму;

– комплекс моделей архітектур фізичних пристроїв, який враховує особливості створення, розповсюдження у просторі та прийому

надширокосмугових інформаційних сигналів, що дозволяє виконати вимоги щодо збільшення обсягу, швидкості та захисту передачі інформації при БД в рухомих КС;

– технологія забезпечення БД та ЗІ рухомих КС, яка враховує імовірність похибки інформаційного сигналу в залежності від рівня шуму в каналі зв'язку та додатково виникаючих внутрішньосистемних завад під час обробки сигналу, що дозволяє виконати БД та ЗІ рухомих КС.

Удосконалені:

– метод кодування інформації із застосуванням часової позиційно-імпульсної модуляції, який базується на зсуві у часі кодуемого сигналу щодо його основного положення у послідовності сигналів та відрізняється від відомих тим, що величина часового зсуву складає чверть тривалості моноімпульсного сигналу, який дозволяє сформувати надширокосмуговий сигнал у вигляді моноциклу Гауса;

– метод формування незалежних завадостійких каналів доступу із застосуванням ортогонального кодування, який базується на додатковому зсуві у часі кодуемого сигналу відносно опорної їх послідовності та відрізняється тим, що величина часового зсуву відносно опорної послідовності складає 2-3 порядки тривалості моноімпульсу, що дозволяє ущільнити канали доступу без порушення якості їх роботи;

Отримали подальший розвиток:

– метод кореляційного прийому надширокосмугових сигналів шляхом цифрової обробки прийнятого сигналу та відрізняється тим, що здійснюють подвійну спектральну обробку за час появи кожного біту інформації та обчислюють модуль комплексної автокореляційної функції, що дозволяє збільшити співвідношення сигнал/завада на вході приймача;

– метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу шляхом кореляції прийнятого і опорного сигналу та відрізняється тим, що для прийняття рішення про достовірність прийнятого сигналу обчислюють відношення функції правдоподібності та порівнюють його значення з деяким порогом, що дозволяє підвищити достовірність прийому.

Достовірність нових наукових положень і висновків дисертаційної роботи підтверджується:

– збіжністю результатів експериментальних досліджень, отриманих при реалізації розроблених моделей та методів, з теоретичними і практичними результатами, їх відповідністю до положень теорії передачі сигналів та електрозв'язку;

– зведенням розроблених моделей до відомих та апробованих моделей, які було враховано при їх розробці;

– обґрунтованістю припущень, зроблених при створенні моделей і методів, виходячи з досвіду експлуатації мобільних пристроїв комп'ютерних систем;

– результатами практичного впровадження моделей, методів та технологій БД та ЗІ рухомих КС.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені у роботі моделі, методи та технологія є науково-практичною основою для забезпечення БД та ЗІ рухомих комп'ютерних систем. Представлені на їх основі інженерні методи та алгоритми дають змогу:

– здійснювати багатоканальний доступ в широкій смузі частот, коли рівень інформаційного сигналу дорівнює чи нижче рівня шуму, що забезпечує захист та прихованості інформації в безпроводних мережах рухомих КС;

– забезпечити високу швидкість передачі даних (від десятків до сотень Мбіт/с);

– підвищити захист від зовнішнього електромагнітного випромінювання та пасивних завад;

– захистити від багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

За темою досліджень отримано 4 патенти України на винахід, які підтверджують новизну і практичну значимість результатів дисертації.

Так, у патенті України на корисну модель № 140210 «Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами в транспортних засобах», реалізовано метод додаткового каналного кодування інформаційного сигналу цифровим кодом псевдовипадкової ортогональної послідовності. У патенті України на корисну модель № 141130 «Надширокосмугова антена з мерехтливою поляризацією» реалізовано модель антени для реалізації надширокосмугового багатоканального доступу. Патент України на корисну модель № 141131 «Спосіб збудження надширокосмугової антени з мерехтливою поляризацією» реалізував розроблену методику створення у загальному антенному просторі двох ортогонально розташованих антен надширокосмугового біполярного імпульсного сигналу. Патент України на корисну модель № 145319 «Спосіб прийому цифрових двійкових сигналів в умовах шуму» реалізує алгоритм розпізнавання прийнятого цифрового двійкового сигналу в умовах шуму.

Особистий внесок здобувача. Всі основні наукові результати, висвітлені в дисертаційній роботі, здобувач отримав самостійно. У роботах, опублікованих зі співавторами, здобувачеві належить: [1] – підхід та методика забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих комп'ютерних системах; [2] – аналіз методів кодування інформації та запропоновано метод часового позиційно-імпульсного кодування для забезпечення БД та ЗІ безпроводних комп'ютерних систем; [3] – аспекти застосування надширокосмугових сигналів в КС на транспорті; [4] – принципи впровадження надширокосмугових технологій у мобільних пристроях КС; [5] – метод підвищення якості процесу передачі інформації в безпроводній мережі залізничного транспорту; [6] – розроблено модель антени для реалізації

надширокосмугового рухомого багатоканального доступу; [7] – критерій забезпечення вимог ЕМС мобільних пристроїв комп'ютерних систем та метод виявлення сигналів на фоні білого шуму; [8] – метод часової позиційно-імпульсної модуляції; [9] – доведення теореми щодо мінімально необхідної кількості чипів, що кодують інформаційний біт для забезпечення його відновлення; [10] – функціональні схеми формування та прийому надширокосмугових сигналів; [11] – дослідження залежності імовірності похибки від співвідношення сигнал/шум за різною базою сигналу; [12] – дослідження імовірності похибки від співвідношення сигнал/шум в каналі доступу при різних затримках двійкових інформаційних сигналів; [13] – критерій забезпечення завадостійкості мобільних пристроїв комп'ютерних систем; [15] – метод розрахунку основних характеристик багатoelementної антени; [16] – метод планування локальної мережі стандарту IEEE 802.11; [17] – метод визначення раціональної довжини пакета для максимізації швидкості передачі повідомлень; [19] – метод цифрової обробки прийнятого інформаційного сигналу із застосуванням дискретного перетворення Фур'є та кореляційного прийому; [20] – метод розрахунку пропускної здатності мережі доступу для різних груп абонентів; [21] – метод визначення довжини пакета для збільшення швидкості передачі повідомлень; [22] – обґрунтована доцільність застосування мобільних комп'ютерних технологій на залізничному транспорті; [23] – метод визначення пропускної здатності зовнішнього каналу мережі доступу; [24] – метод визначення та оцінювання сигналів при дії завад невідомої інтенсивності в однопроменевому каналі доступу; [25] – здійснення додаткового каналного кодування інформаційного сигналу цифровим кодом псевдовипадкової ортогональної послідовності; [26] – конструкція антени для реалізації надширокосмугового багатоканального доступу; [27] – методика створення у загальному антенному просторі двох ортогонально розташованих антен надширокосмугового біполярного імпульсного сигналу; [28] – алгоритм розпізнавання прийнятого цифрового двійкового сигналу в умовах шуму.

Результати досліджень впроваджено: в Науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті «Молнія» (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи № 20440, яка виконувалася за держзамовленням (№ ДР 0119U002571); при виконанні міжнародного проекту за програмою ERASMUS+ Національним технічним університетом «Харківський політехнічний інститут». Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP за темою «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens», в Українському державному університеті залізничного транспорту (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи № 4/31-19, яка виконувалася за держзамовленням (ДР№ 0121U100191) та навчальному процесі УкрДУЗТ і НТУ «ХП».

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися, обговорювалися та були визнані на таких науково-технічних конференціях і симпозиумах: XIX МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-19)» (м. Харків, 2019); 32 та 33 МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 2019, 2020); V ВНТК «Практичні аспекти сумісності електромагнітної та блискавкозахисту» (ПАСЕБ-2019) (м. Харків, 2019); VII МНТК «Проблеми інформатизації» (м. Харків, 2019); III ВНТК «Проблеми інфокомунікацій» (м. Полтава, 2019); XXVIII МНПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD – 2020) (м. Харків, 2020); IV МНПК «Прикладні науково-технічні дослідження» (м. Івано-Франківськ, 2020); V МНПК «Інформаційні технології в освіті, науці й техніці» (ІТОНТ-2020) (м. Черкаси, 2020 р.); 10th International Conference on «Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UMBUSIS – 2020)» (м. Харків, 2020 р.); 2020 International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T’ 2020) (Kharkiv, 2020); XX МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-20)» (м. Харків, 2020); IX МНТК «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» (м. Київ, 2020); 24th International Conference in Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC’2020) (м. Платаньяс, Греція, 2020).

Публікації. Результати наукових досліджень відображено в 43 друкованих працях, зокрема в 2 колективних монографіях, 26 статтях у наукових фахових виданнях і патентів України на винахід та інших держав (з них 17 – у наукових фахових виданнях України, 4 – у закордонних журналах, внесених до міжнародних наукометричних баз даних SCOPUS, 4 – патентів України на винахід), 16 публікацій в матеріалах міжнародних наукових конференцій, з них 4 внесені до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS та WEB OF SCIENCE.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій двома мовами, вступу, шости розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 364 сторінок; робота містить 86 рисунків; 10 таблиць; список використаних джерел, що включає 230 найменувань на 25 сторінках; 3 додатки на 45 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами та темами, зазначено мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів роботи.

У першому розділі проведено аналіз науково-прикладної проблеми, досліджено сучасний стан та тенденції розвитку технології забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС.

На основі аналізу сформульовано загальні вимоги до вирішення проблеми забезпечення БД та ЗІ в рухомих КС. Визначені тенденції розвитку та існуючі потреби. Зроблено висновок, що сучасною тенденцією є зниження рівня завадової електромагнітної обстановки рухомих мобільних пристроїв та компенсація спотворень цифрового інформаційного сигналу, що викликані міжсимвольною інтерференцією та багатопроблемним розповсюдженням радіохвиль. При цьому вимоги до швидкості та обсягів передачі інформації в безпроводних комп'ютерних мережах постійно стають більш жорсткими.

Як показують теоретичні й експериментальні дослідження процесів обміну інформацією в безпроводних мережах ефективність доступного спектру радіочастот близька до насичення. Максимальна пропускна здатність каналу доступу, яку можливо досягти, наближається (у межах 20%) до границі за К. Шенноном, та подальші покращення ефективності радіочастотного спектру є надто коштовними для їх здійснення і забезпечують лише обмежену користь.

Також сформульовано вимоги до технічних і технологічних рішень щодо забезпечення БД та ЗІ рухомих КС, їх завадостійкості по відношенню до зовнішніх завад і інтерференції, а також протидії багатопроблемному розповсюдженню радіосигналів. Показано, що критерієм завадостійкості є відношення середньої потужності інформаційного сигналу до потужності шуму на вході приймача. Для виконання цих вимог найбільш доцільним є застосування технології надширококузових (НШС) сигналів.

Суть технології НШС полягає в кодуванні інформації надкороткими сигналами, спектр яких займає надширокузову частоту, що випромінюється безпосередньо до вільного простору. При реалізації НШС доступу у якості носія інформації використовують надкороткі імпульсні сигнали (стандарт IEEE 802.15.3a.). При цьому, кожному імпульсному сигналу відповідає один біт інформації, що накладає певні обмеження на дальність зв'язку, та вступає у протиріччя з тенденцією зниження рівня електромагнітного випромінювання. Частково вирішенням цього протиріччя є перехід від передачі одного біту інформації одним сигналом до передачі одного біту інформації серією імпульсних сигналів (стандарті IEEE 802.15.4a.). У цьому випадку при збереженні енергії випромінювання на один біт інформації, можливо знизити енергію, яка припадає на один сигнал пропорційне числу імпульсних сигналів в серії, що означає перехід від сигналів з одиначною базою до сигналів з великою базою. У той же час, згідно теорії потенційної завадостійкості Котельнікова В.А., гранично досяжною межею зниження рівня інформаційного сигналу для усіх без винятку класів приймальних систем є відношення подвійної енергії інформаційного сигналу до спектральної щільності потужності, що обмежує подальші шляхи підвищення рівня завадостійкості пристроїв рухомих КС. Можливість подальшого підвищення потенційної завадостійкості

приймальних пристроїв обґрунтував Слеп'ян Д. у своїй теоремі, застосування якої справедливе тільки у тих випадках, коли ширина спектру сигналу більша, ніж ширина спектру шуму. Таким чином, було прийнято робочу *гіпотезу* про те, що єдино можливим шляхом *забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації рухомих мобільних пристроїв комп'ютерних систем є застосування надширококузових сигналів із нелінійною обробкою їх спектрів.*

На рис. 1 наведено результати порівняльного аналізу частотних діапазонів сучасних безпроводних рухомих КС, які використовують НШС сигнали, а в табл. 1 надані їх технічні характеристики.

Таблиця 1

Технічні характеристики пристроїв багатоканального доступу мобільних КС

Тип пристрою	Швидкість передавання даних	Радіус зони обслуговування, м	Діапазон частот, ГГц	Рівень потужності	Тип модуляції	Метод канального розподілу
СШП	До 500 Мбіт/с	15	1...11	-30...40 дБм/МГц	PPM/інший тип	Імпульсна передача
Bluetooth	722 кбіт/с	15	ISM 2,4	Клас 1: 20 дБм Клас 2: 4 дБм Клас 3: 0 дБм	GMSK	Розподіл каналів за рахунок сигналів зі псевдовипадковою перебудовою частоти
802.11a, WLAN	До 54 Мбіт/с	50	5	200 мВт - 1 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	Частотне TDMA
802.11b, WLAN	До 11 Мбіт/с	100	ISM 2,4	100 мВт - 2 Вт	ССК (8 Complex Chip Spreading)	-/-
802.11g, WLAN	До 54 Мбіт/с	100	ISM 2,4	100 мВт - 2 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	-/-
Hiper LAN 2, WLAN	54 Мбіт/с	50	5	200 мВт - 1 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	-/-

З огляду на те, що вирішення проблеми організації багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС полягає у зниженні рівня завадової електромагнітної обстановки (ЕМО), найбільш придатним є застосування технології НШС сигналів.

Другий розділ присвячено вирішенню третього завдання дисертаційних досліджень, а саме, розробці моделей та методів формування інформаційних сигналів в безпроводних мережах, суть якої полягає у випромінюванні безпосередньо до вільного простору серії надкоротких малопотужних імпульсних сигналів, що кодують інформаційний біт в дуже широкій смузі частот без несучої частоти. Такий сигнал майже не здатен чинити небажаний вплив на звичайну сторонню систему, яка працює в тій же смузі частот.

Для організації НШС зв'язку різні країни світу мають свої дозволені смуги частот. Порівняльний аналіз виділених смуг частот наведено на рис. 2.

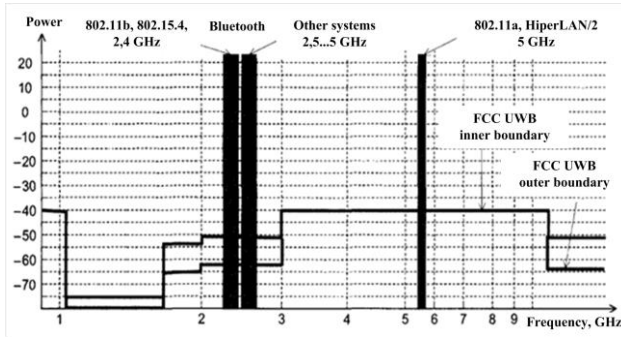


Рис. 1. Діапазони частот, в яких працюють сучасні безпроводні КС

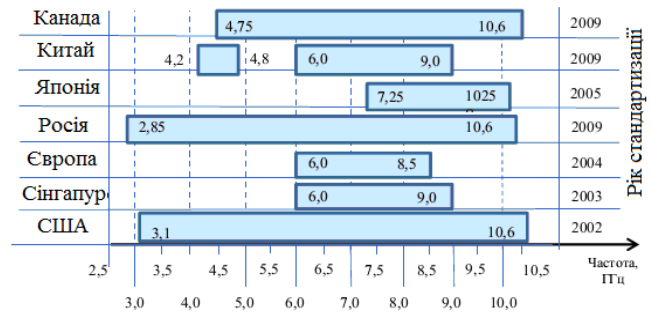


Рис. 2. Дозволені смуги частот для організації НШС зв'язку

Також слід зазначити, що використання частотного діапазону у 3 – 11ГГц обумовлено тим, що затухання сигналу у цьому діапазоні частот є найменшим.

Кодування інформаційного біту послідовністю чипів обмежено, з одного боку тим, що їх період надходження повинен бути досить великим, щоб енергія прийнятого чипу встигла повністю розсіюватися до надходження наступного чипу, уникаючи ефекту міжсимвольної інтерференції. З іншого боку, зменшуючи кількість кодуючих чипів у біті інформації, відповідно зменшується його енергія, що не дозволяє відновити інформаційний біт. При цьому доведено теорему про мінімальну кількість кодуючих чипів.

Теорема. Переданий з періодом T_a інформаційний сигнал $x_a(t)$ з обмеженою смугою частот можна відновити безпосередньо із прийнятого сигналу $x_b(t)$, який являє собою послідовність чипів з періодом надходження T_b тоді, та тільки тоді, коли $T_a \geq 2T_b$.

Таким чином, виконання цієї умови обмежує **мінімальну кількість кодуючих імпульсів трьома чипами**. Максимальна кількість кодуючих чипів залежить від їх часових характеристик, сучасний стан яких дозволяє кодувати один інформаційний біт декількома сотнями чипів.

Велике різноманіття імпульсів, які використовують в НШС технологіях, об'єднує їх загальна особливість. Це тривалість імпульсів, яка не перевищує одиниць наносекунд. На ґрунті аналізу імпульсних сигналів, які використовують в НШС технологіях, виявлено, що найбільш придатним для застосування в якості кодуючого чипу є моноцикл Гауса, який описується першою похідною від функції розподілу Гауса (рис. 3):

$$A(t) = A_0 \sqrt{2e} \frac{t}{\Delta t} \exp\left(-\frac{t^2}{\Delta t^2}\right), \quad (1)$$

де A_0 – амплітуда імпульсу, Δt - час імпульсу.

Спектральну щільність цього імпульсу визначає наступне співвідношення:

$$S(f) = A_0 \sqrt{2\pi e} f \Delta t^2 \exp\left(-\frac{f^2 \Delta t^2}{2}\right). \quad (2)$$

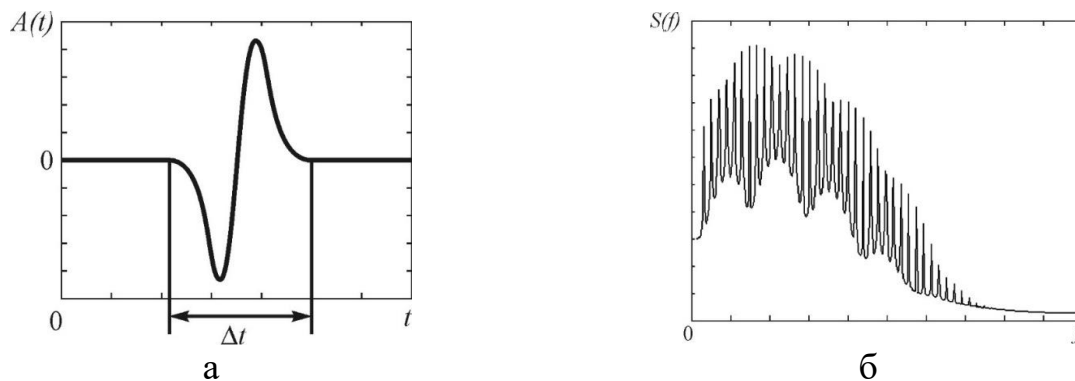


Рис. 3. Форма (а) та спектр (б) моноциклу Гауса

Так, при тривалості імпульсу Δt до 0,1 нс ширина спектра складатиме до 10 ГГц. Однак, регулярна послідовність таких імпульсних сигналів не несе ніякої інформації.

Метод часового позиційно – імпульсного кодування. Для передачі інформації кожен біт кодується часовим зсувом гребінки чипів відносно еталонної (рис. 4.) в залежності від того, що кодується нуль чи одиниця. Так, зміщення гребінки чипів щодо їх основного положення у послідовності вперед задає «0», назад – «1». Причому, час зсуву не перевищує чверті тривалості імпульсу.

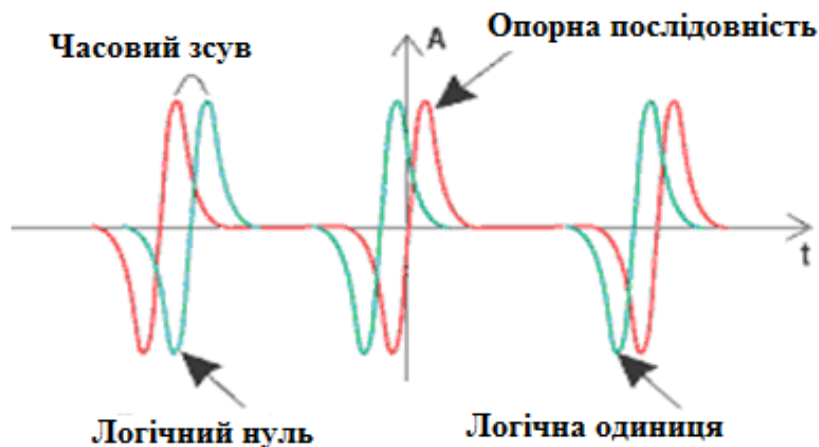


Рис. 4. Метод часового позиційно-імпульсного кодування

Метод формування незалежних каналів доступу. Для створення в одній смузі частот низки незалежних, захищених від завад каналів доступу слід застосовувати систему ортогональних кодів.

При цьому основне положення кожного імпульсного сигналу зрушують на час, пропорційний поточному значенню деякої псевдовипадкової послідовності, здійснюючи додатковий зсув у часі на один-два порядки вище, ніж зсув при часовому позиційно – імпульсному кодуванні. В результаті спектр сигналу істотно згладжується, стає шумоподібним і вже не заважає іншим пристроям, які працюють у тій же смузі. Завдяки широкосмужності сигналу знижується його потужність, причому на дуже довгій базі – нижче рівня білого шуму. Застосовуючи систему ортогональних кодів для управління часовими затримками імпульсних сигналів, здійснюють багатоканальний доступ захищеної інформації в рухомих комп'ютерних системах.

Незалежні логічні канали доступу формують за рахунок розширення спектру сигналу послідовностями Уолша. Кожна з цих послідовностей являє собою одну із строк матриці Адамара. Основна їх якість полягає у тому, що усі строки матриці та їх інверсія взаємно ортогональні. Наприклад, матриця Адамара другого порядку має вигляд:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix},$$

а четвертого порядку:

$$A_4 = \begin{bmatrix} A_2 & A_2 \\ A_2 & -A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Так, наприклад, використовуючи для розширення інформаційного потоку 64-розрядну послідовність Уолша, отримуємо відповідно інформаційний потік у 128 чипів вихідної послідовності. Виграш по відношенню сигнал/завада для розширеного та вхідного сигналів складає $10 \log 128 = 21$ дБ. Виходячи з того, що на вході приймача припустиме співвідношення сигнал/завада складає 3 дБ, то передачу інформаційних сигналів можливо вести при рівні сигналу на 18 дБ нижче рівня шуму, що забезпечує захист та прихованість інформації в рухомих комп'ютерних системах.

Модель формування НШС інформаційних сигналів та функціональна схема його формування. Надширокосмуговий сигнал формують у вигляді нормального випадкового процесу $n(t)$ з нульовим середнім значенням, рівномірним спектром $S(f)$, смугою частот Δf та швидкопадаючою кореляцією $R_n(\tau) = \sigma_n^2 R_c(\tau)$ за малий час когерентності $\tau_c \approx 1/\Delta f$. Дисперсія σ_n^2 характеризує середню потужність випадкового сигналу $n(t)$. Функціональна схема, що реалізує запропонований метод, наведена на рис. 5.

Генератор (G) в автоколивальному режимі формує послідовність ультракоротких імпульсів - чипів з періодом надходження t_D , який подається до

входу цифрового фільтру (DF), що формує сигнал $n(t)$, з виходу якого поступає до входу модулятора, в якому здійснюють розподіл на інформаційний та опорний сигнали. Причому, швидкість передачі двійкових бітів C_b залежить від тривалості T_b кожного інформаційного біту $C_b = 1/T_b$. При цьому кількість чипів для кожного інформаційного біту визначає наступне співвідношення $N_b = T_b/t_D$.

Модулятор має дві лінії затримки. Опорну послідовність чипів інформаційного сигналу затримують в першій лінії на час T_1 при надходженні символу «1», чи у іншій лінії затримки на час T_0 при надходженні символу «0».

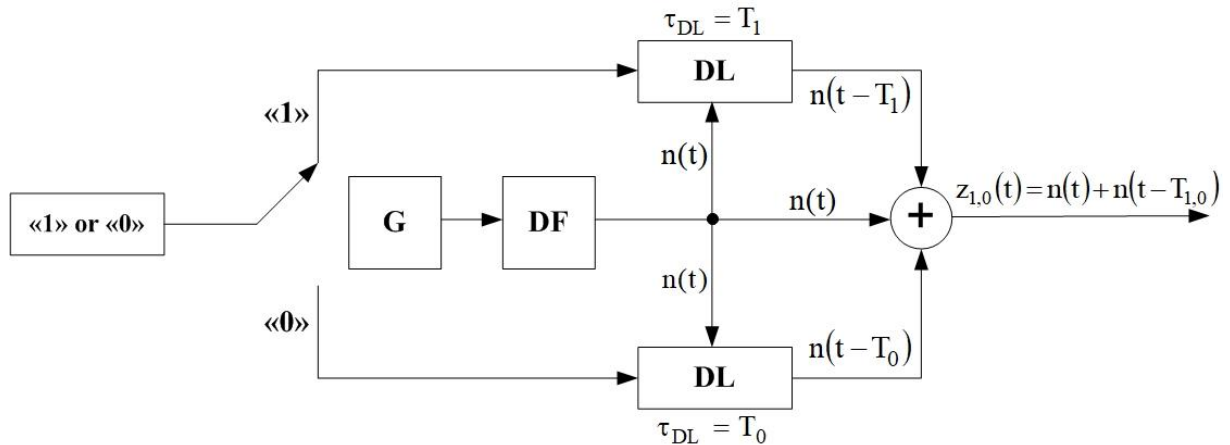


Рис. 5. Функціональна схема формування НШС інформаційних сигналів

В лінійному суматорі виконують складання опорного сигналу $n(t)$ з одним із чипів НШС сигналів, затриманих на час T_1 чи T_0 залежно від надходження символів «1» чи «0»:

$$Z_{1,0}(t) = n(t) + n(t - T_{1,0}), \quad (3)$$

де $Z_{1,0}(t)$ – сумарний сигнал;

$n(t)$ – опорний НШС сигнал;

$n(t - T_{1,0})$ – інформаційний чип, затриманий на час $T_{1,0}$.

Складання повністю некогерентних сигналів мають місце, коли затримки T_1 та T_0 інформаційних сигналів $n(t - T_1)$ і $n(t - T_0)$ відносно опорного сигналу $n(t)$ значно перевищують час когерентності $\tau_c \approx 1/\Delta f$ НШС сигналу $n(t)$:

$$T_{1,0} \gg \tau_c \text{ чи } T_{1,0}(\Delta f) \gg 1. \quad (4)$$

Потужність сумарного НШС сигналу $Z_{1,0}(t)$ визначає його дисперсія σ_z^2 і дорівнює подвоєній потужності $\sigma_z^2 = 2\sigma_n^2$ початкового сигналу $n(t)$ за умов повної некогерентності опорного і затриманих НШС сигналів. Сумарний сигнал

з виходу передавача поступає до безпроводного каналу доступу з адитивним гаусовим білим шумом.

Третій розділ присвячено вирішенню другого та четвертого завдання дисертаційних досліджень, а саме моделям і методам побудови пристроїв і компонентів блоку прийому/передачі для реалізації НШС технологій.

У зв'язку з тим, що випромінюванню підлягають кодовані сигнали в дуже широкій смузі частот, вимоги по широкосмужності приймально-передавальної системи є основними. За технічними характеристиками найбільш придатним є антенний елемент, який являє собою антену з розширюючою щілиною TSA (Tapered Slot Antenna). Форма розімкнутої щілини визначає смугу частот, причому її енергетичну спрямованість характеризує вузький головний промінь та практична відсутність бокових пелюсток у діапазоні частот 2 – 6,5 ГГц. Однак, попереднє формування моноциклу Гаусу в системі унеможливує виникнення енергетичних втрат, що виникають за рахунок неузгодженості сигналу в широкій смузі частот та обмежує радіус розповсюдження НШС інформаційного сигналу.

Метод випромінювання НШС сигналу здійснюють шляхом поділу його навпіл, одну частину якого послідовно інвертують, затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу та обома моноімпульсними сигналами збуджують відповідно обидві поряд розташовані на єдиній діелектричній основі антени (рис. 6). Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів інтерферують у еквівалентному загальному розкритті обох антен, збуджуючи у ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу. Цей біполярний імпульс електромагнітного поля створює поле випромінювання, яке у 9,5 разів перевищує радіус дії широкосмугового електромагнітного випромінювання у порівнянні з радіотехнічними системами, які працюють з використанням уніполярного моноімпульсу та перевищує у 2,37 разів у порівнянні із системами, які працюють з використанням гармонічних коливань. На рис. 5 наведено *модель антени*, яка реалізує запропонований метод. Інформаційний уніполярний імпульсний сигнал з генератора 1 надходить до першого блоку антен 8 розподільвача сигналу 6, який поділяє його навпіл, одна частина якого подається до системи збудження 4-1, створюючи у випромінюючому розкритті 5-1 моноімпульсне електромагнітне поле. Одночасно з іншого виходу подільвача сигналу інвертований моноімпульсний сигнал подається через лінію затримки 7 на систему збудження 4-2, створюючи у випромінюючому розкритті 5-2 інвертоване моноімпульсне електромагнітне поле, затримане на половину тривалості моноімпульсного сигналу. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів – основного та інвертованого – інтерферують у еквівалентному загальному розкритті антени, збуджуючи в ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу НШС інформаційного сигналу. Одночасно інформаційний уніполярний імпульсний сигнал з генератора 1 надходить через лінії затримки

10, 11 до іншого блоку антен 9, який має аналогічну структуру та конструктивно розташований ортогонально відносно першого блоку.

Для дослідження створена імітаційна модель антени (рис. 7) в середовищі програмування HFSS (High Frequency System Simulator), яке призначено для тривимірного електромагнітного моделювання і розробки високочастотних радіоелектронних і антенних пристроїв, що дозволило дослідити її технічні характеристики.

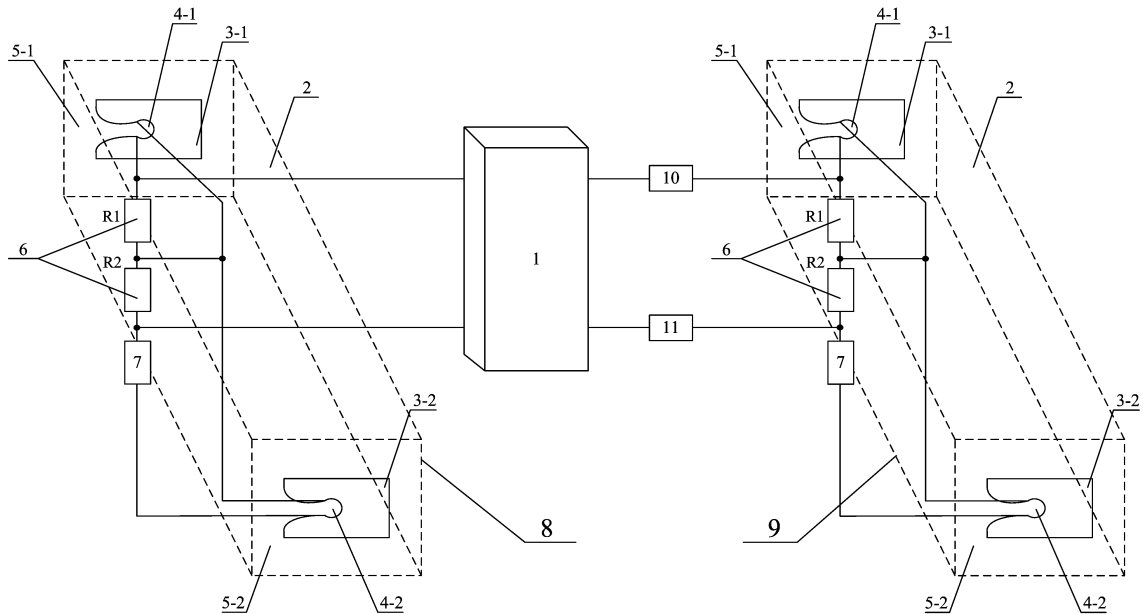


Рис. 6. Модель антени для випромінювання надширококустових сигналів

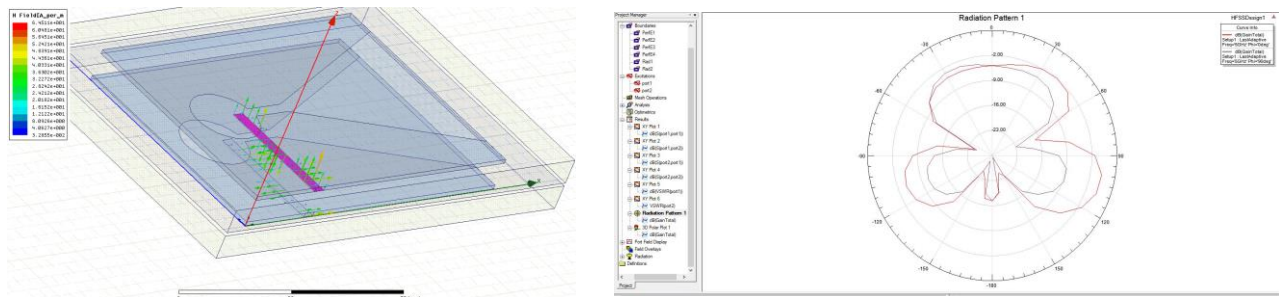


Рис. 7. Імітаційна модель антени та її діаграма спрямованості

Організація багатоканального доступу в рухомих КС накладає додаткові обмеження, що обумовлені невизначеністю у часі та просторі розташування вектору поляризації інформаційного сигналу відносно висі приймальної антени. Так, у випадку їх ортогонального розташування рівень прийнятого сигналу буде дорівнювати нулю.

Тому пропонується запровадити *метод мерехтливої поляризації*, згідно якого кожний із серії чипів, що кодують інформаційний біт, по черзі подається на одну чи іншу антену, які в *антенному блоці* розташовані ортогонально.

Завдяки таким технічним характеристикам її застосовано у якості основного складового елемента кожного з двох антенних блоків, які у свою чергу створюють *антенну систему* (АС) (рис. 8). В цій системі висі симетрії блоків розташовано ортогонально, що дозволяє реалізувати довільну мерехтливу поляризацію. Надходження чипів, кодуєних інформаційний біт, до іншого антенного блоку здійснюють аналогічно першому. Таке розташування обох антенних блоків забезпечує прийом електромагнітного випромінювання довільної поляризації, яке характерне для рухомих мобільних пристроїв КС.

В залежності від взаємного розташування вектору поляризації електромагнітного сигналу та приймальної антени мобільного засобу рівень наведеного сигналу змінюється пропорційно функції спрямованості:

- для вертикальної поляризації інформаційного сигналу

$$D_v(\psi, \varphi) = \frac{\sin \psi \cdot \cos \varphi}{1 - \cos \psi \cdot \cos \varphi};$$

- для горизонтальної поляризації інформаційного сигналу

$$D_v(\psi, \varphi) = \frac{\sin \varphi}{1 - \cos \psi \cdot \cos \varphi},$$

де ψ – кут підйому;

φ – кут азимуту.

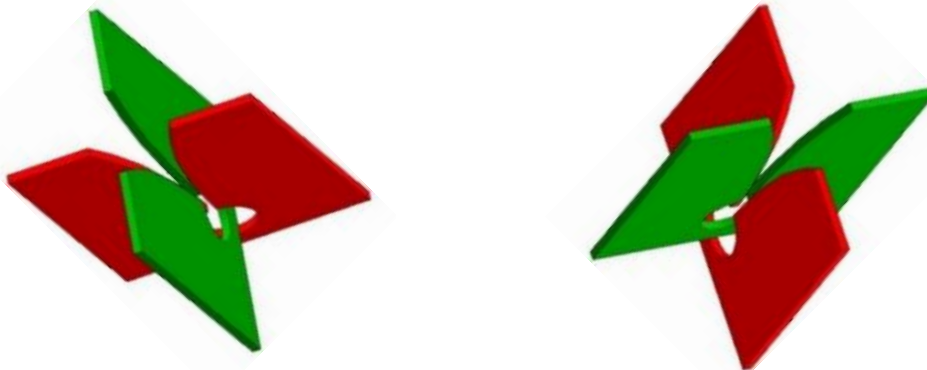


Рис. 8. Компоненти блоку прийому/передачі для рухомих КС

Аналіз наведених співвідношень показує, що в залежності від типу лінійної поляризації інформаційного сигналу функція $D_v(\psi, \varphi)$ змінюється від 0 до 2,4, що виключає приймання сигналу при деяких комбінаціях взаємної орієнтації векторів. У той же час застосування мерехтливої поляризації дозволяє використовувати обидва типи поляризації, виключаючи комбінації, за яких сигнал буде відсутнім, забезпечуючи завмирання сигналу не більш, ніж 30% у найгіршому випадку. При цьому функція спрямованості $D_v(\psi, \varphi)$ буде

знаходиться в межах від 1 до 2,4, що дозволяє більш ніж удвічі підвищити радіус дії електромагнітного випромінювання.

Ефективність застосування розробленого методу обумовлює можливість реалізації потенційно високої щільності каналів доступу на один квадратний метр робочої зони завдяки зменшенню рівня інформаційного сигналу відносно білого шуму в робочому діапазоні частот. Таким чином здійснюється одночасна беззавадова робота як традиційних вузькосмугових систем доступу, так і систем доступу, які використовують надширокосмугові сигнали.

Застосування в системах багатоканального доступу рухомих КС *методу мерехтливої поляризації* та запропонованих компонентів блоку прийому/передачі збільшити співвідношення сигнал/шум на вході приймача, що, у свою чергу, дозволяє зменшити рівень електромагнітного випромінювання інформаційного сигналу, забезпечуючи таким чином її захист та прихованість.

Четвертий розділ присвячено вирішенню п'ятого завдання дисертаційних досліджень, а саме розробці моделей та методів кореляційного прийому інформаційних сигналів в каналі доступу з завадами.

Модель вилучення НШС інформаційних сигналів. Прийнятий сигнал у вигляді адитивної суміші сумарного сигналу та гаусової завади поступає до входу цифрового фільтра з такою ж смугою пропускання Δf , як і в передавачі.

На виході цифрового фільтра формують сигнал у вигляді суми переданого НШС сигналу $Z_{1,0}(t)$ та узгодженої за спектром гаусової завади $S(t)$:

$$r(t) = Z_{1,0}(t) + S(t) = [n(t) + n(t - T_{1,0})] + S(t). \quad (5)$$

Завада $S(t)$ має дисперсію σ_s^2 із швидкоспаданною кореляцією $R_s(\tau) = \sigma_s^2 R_s(\tau)$ та рівномірним спектром $S_s(f)$ у тій самій смузі частот Δf , як і у інформаційного сигналу $Z_{1,0}(t)$. Відношення сигнал/завада (SNR) на вході приймача визначає відношення потужності прийнятого сигналу та гаусової завади у вигляді $q = \sigma_z^2 / \sigma_s^2 = 2\sigma_n^2 / \sigma_s^2$. Припускаємо, що корисний сигнал $Z_{1,0}(t)$ та випадкова завада $S(t)$ повністю некогерентні між собою. Тоді спектр потужності для прийнятого сигналу $r(t)$ визначається у вигляді:

$$\hat{S}_r(f) = 2\hat{S}_n(f)(1 + \cos 2\pi f T_{1,0}) + \hat{S}_s(f). \quad (6)$$

Спектр (6) має функцію періодично модульованого за частотою згідно з потоком бітів і складову $\hat{S}_s(f)$ у вигляді спектра завади. У формулі (6) спектри $\hat{S}_r(f)$, $\hat{S}_n(f)$ і $\hat{S}_s(f)$ для прийнятого сигналу $r(t)$, опорного сигналу $n(t)$ і завади $S(t)$ є випадковими оцінками за кінцевий час тривалості T_b , біту передачі інформації. Вирішення задачі про вилучення НШС інформаційних сигналів в каналі зв'язку з завадами здійснюють методом зворотного перетворення Фур'є від вимірюваного спектра потужності (6) для прийнятого сигналу (5). У приймачі здійснюють когерентний стиск прийнятих НШС сигналів до смуги частот

переданих повідомлень за результатами подвійного спектрального перетворення. Очікувана кореляція $R_r(\tau)$ обчислюється за результатами зворотного перетворення Фур'є від виміряного спектра потужності $S_r(\omega)$, $\omega = 2\pi f$, прийнятого сигналу $r(t)$:

$$R_r(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_r(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega. \quad (7)$$

Комплексна автокореляційна функція, що обчислена за формулою (7) з використанням співвідношення (6) для спектра потужності прийнятого сигналу (5), має наступний вигляд:

$$\hat{R}_r(\tau) = \sigma_n^2 [2\hat{R}_n(\tau) + \hat{R}_n(\tau - T_{l,0})] + \sigma_s^2 \hat{R}_s(\tau). \quad (8)$$

Прийнятий сигнал має інформаційний кореляційний пік $\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau - T_{l,0})$ із зсувом T_l і T_0 згідно з потоком двійкових бітів (1; 0). Ця функція має також автокореляційні функції $2\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau)$ та $\sigma_s^2 \hat{R}_s(\tau)$ для опорного НШС сигналу $n(t)$ з подвійною потужністю $2\sigma_n^2$ і зовнішньої завади $S(t)$ з потужністю σ_s^2 .

В приймачі (рис. 9) за часовими зсувами кореляційних піків здійснюють однозначне відтворення переданих бітів інформації. Корелятор має цифровий аналізатор спектру (SA) і цифровий Фур'є-процесор (FIFT).

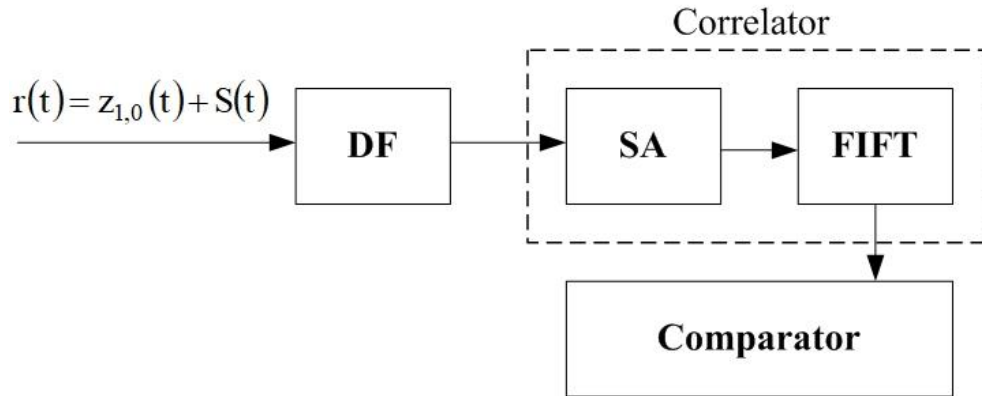


Рис. 9. Функціональна схема приймача з обробкою НШС сигналів

На виході цифрового аналізатору спектру протягом T_b кожного переданого біту визначається спектр потужності прийнятого НШС сигналу у вигляді формули (6). Цифровий Фур'є-процесор здійснює швидке зворотне перетворення Фур'є для масиву цифрових відкликів, які формуються на виході аналізатора спектру SA. За результатами подвійної спектральної обробки за час появи кожного біту інформації визначають квадратурні компоненти для комплексної автокореляційної функції (8) у вигляді:

$$\hat{R}_{r,\cos}(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S_r(f) \cos(2\pi f \tau) df; \quad (9, a)$$

$$\hat{R}_{r,\sin}(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S_r(f) \sin(2\pi f \tau) df. \quad (9, б)$$

Модуль для комплексної автокореляційної функції обчислюють як середнє квадратичне значення від дійсної та уявної частин у вигляді:

$$\hat{R}_r(\tau) = \left[\hat{R}_{r,\cos}^2(\tau) + \hat{R}_{r,\sin}^2(\tau) \right]^{1/2}. \quad (10)$$

Квадратурні компоненти $\hat{R}_{r,\cos}^2(\tau)$ і $\hat{R}_{r,\sin}^2(\tau)$ комплексної автокореляційної функції $\hat{R}_r(\tau)$ визначають методом швидкого зворотного перетворення Фур'є, використовуючи базисні функції $\cos(\omega\tau)$ і $\sin(\omega\tau)$, від спектру потужності (6) для прийнятого сигналу. Компаратор на виході цифрового Фур'є-процесора (рис. 9) здійснює порівняння інформаційних кореляційних піків із зсувом T_1 чи T_0 для модуля (10) та визначає з них найбільший за величиною кореляційний пік, який відповідає переданому біту «1» чи «0». Таким чином, у приймачі здійснюють однозначне відновлення переданої бінарної інформації.

П'ятий розділ присвячено оцінці впливу параметрів інформаційного сигналу та завад на якість відновлення інформації.

Метод оцінки впливу параметрів сигналу на якість відновлення інформації. При використанні технології розширення спектру здійснюють оптимальну обробку прийнятих сигналів із використанням когерентного опорного сигналу, який передається по каналу доступу одночасно з модульованим інформаційним сигналом. В системах надширококуткового багатоканального доступу із розподіленням та затримкою інформаційних сигналів (time delay diversity) за малий час визначають автокореляційну функцію прийнятих сигналів у вигляді суми опорного та інформаційного сигналів. Енергія НШС сигналів, прийнятих протягом тривалості кожного біту інформації змінюється випадковим чином та не зберігається постійною в потоці бітів. Крім того, суттєвий вплив на імовірнісні характеристики системи надширококуткового радіозв'язку мають зовнішні завади та флуктуація енергії прийнятих НШС сигналів. Таким чином, нагальною задачею є виявлення залежності якості отриманої двійкової інформації від параметрів НШС сигналу.

До безпроводного каналу доступу одночасно поступають як опорний сигнал $n(t)$, так і інформативні сигнали $n(t-T_1)$ чи $n(t-T_0)$ із затримкою на малі часові інтервали T_1 чи T_0 згідно потоку інформаційних бітів – одиниці чи нуля. В приймачі визначають автокореляційний відгук прийнятих сигналів з кодовою спектральною модуляцією, за часовими зсувами кореляційних піків здійснюють однозначне відтворення переданих бітів інформації та виконують когерентний стиск НШС сигналів до полоси частот переданої інформації. В системі, за

результатами подвійної спектральної обробки, обчислюється комплексна кореляційна функція прийнятого сигналу:

$$R_z(\tau) = 2\pi k^2 [2R_n(\tau) + R_n(\tau - T_{1,0}) + R_n(\tau + T_{1,0})] + R_s(\tau), \quad (11)$$

яка має інформаційний пік із зсувом на час T_1 чи T_0 згідно потоку бітів одиниця і нуль, а також кореляційну функцію адитивних гаусових завад $R_s(\tau)$ в каналі доступу. Детектор максимального рівня обчислює для співвідношення (11) модулі кореляційних піків $R_s(\tau; T_{1,0})$ при $\tau = T_1$ та $\tau = T_0$, різницю яких порівнюють із нульовим порогом $U_{II} = 0$ для прийняття рішення про визначення переданого біту.

Позначимо модулі кореляційних піків через r_0 і r_1 та запишемо їх для гіпотез H_0 і H_1 .

Так при гіпотезі H_0 :

$$r_0(T_0) = |R_z(T_0; T_0)|, r_1(T_0) = |R_z(T_1; T_0)|. \quad (12)$$

При гіпотезі H_1 :

$$r_0(T_1) = |R_z(T_0; T_1)|, r_1(T_1) = |R_z(T_1; T_1)|. \quad (13)$$

В демодуляторі здійснюють порівняння цих модулів один з одним. При цьому визначають $r_0 > r_1$ чи $r_0 < r_1$ та їх різницю $r_0 - r_1$ і порівнюють її з нульовим порогом. Для визначення імовірності похибки при передачі двійкового символу необхідно отримати значення сумісних двовірних щільностей імовірності випадкових амплітуд r_0 і r_1 комплексних кореляційних функцій для двох гіпотез H_0 і H_1 . Позначаємо їх через $W(r_0, r_1/H_0)$ та $W(r_0, r_1/H_1)$. Тоді умовні імовірності похибки при передачі бітів нуль і одиниця та застосування вирішуючого правила на ґрунті порівняння модулів матиме наступний вигляд:

$$P(r_0 < r_1/H_0) = \int_0^\infty \left(\int_{r_0}^\infty W(r_0; r_1/H_0) dr_1 \right) dr_0; \quad (14, a)$$

$$P(r_0 > r_1/H_1) = \int_0^\infty \left(\int_0^{r_0} W(r_0; r_1/H_1) dr_1 \right) dr_0. \quad (14, б)$$

Зважаючи на те, що НШС інформаційний сигнал $n(t)$ і адитивні завади $s(t)$ є стаціонарними гаусовими випадковими процесами, отримуємо остаточні співвідношення для умовних імовірностей похибки (14) у вигляді:

$$P(r_0 < r_1/H_0) = \int_0^\infty y \exp\left\{-\frac{1}{2}(y^2 + \alpha_{00}^2)\right\} I_0(\alpha_{00}, y) Q(\alpha_{00}, y\gamma_0) dy, \quad (15)$$

де $I_0(x)$ – функція Бесселя нульового порядку від уявного аргументу;

$$\alpha_{kv} = \frac{m_k(T_v)}{\sqrt{N_{kk}(T_v)}}; y_v = \sqrt{\frac{N_{00}(T_v)}{N_{11}(T_v)}}; k=0,1; v=0,1. \quad (16)$$

При отриманні співвідношення (15) використана формула Q - функції Маркума:

$$Q(\alpha, \beta) = \int_{\beta}^{\infty} x \exp\left\{-\frac{1}{2}(x^2 + \alpha^2)\right\} I_0(\alpha x) dx. \quad (17)$$

До складу співвідношення (16) входять складові $m_k(T_v)$ та $N_{kk}(T_v)$, які є середніми значеннями і дисперсіями для оцінки кореляційної функції $R_z(\tau; T_{1,0})$ при $k=0,1; v=0,1$. За умов рівності апіорних імовірностей гіпотез $P(H_0) = P(H_1) = 0,5$, повна імовірність похибки визначається у вигляді:

$$P_0 = 0,5[P(r_0 < r_1/H_0) + P(r_0 > r_1/H_1)]. \quad (18)$$

Співвідношення (15–17) дозволяють розрахувати повну імовірність похибки (18) при передачі бітів в каналі з адитивними гаусовими завадами для безпроводної КС надширокосмугового доступу з кодовою спектральною модуляцією в передавачі. Розраховані залежності імовірностей похибок від співвідношення потужностей корисного сигналу та завади в каналі доступу наведені на рис.10.

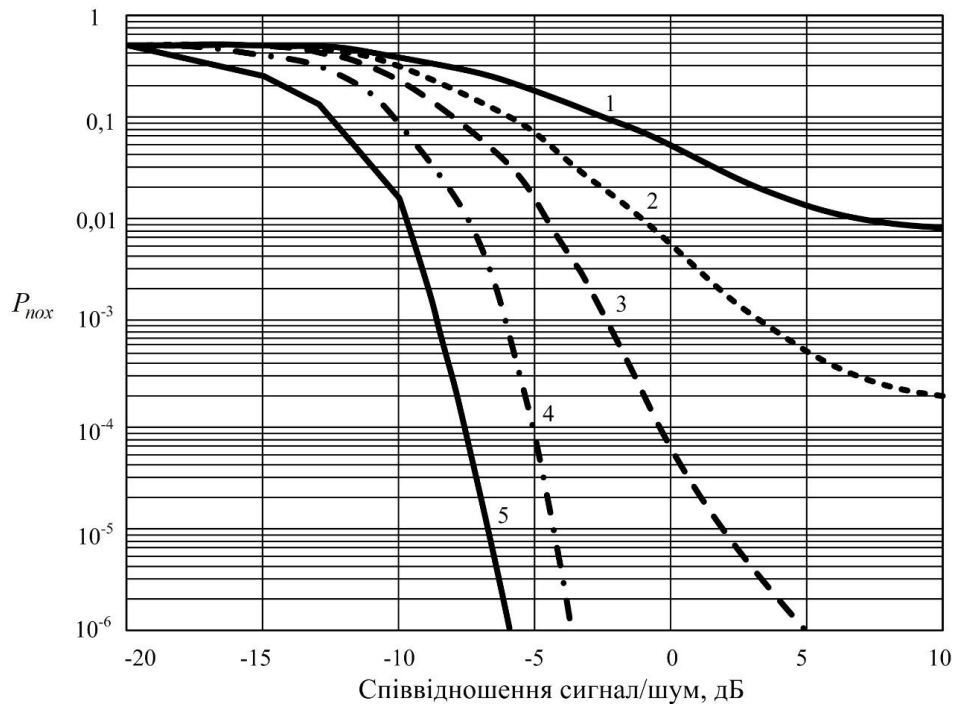


Рис. 10. Залежності імовірності похибки P від співвідношення сигнал/шум за різною базою сигналу: (1 – $V=50$; 2 – $V=100$; 3 – $V=200$; 4 – $V=500$; 5 – $V=1000$).

Співвідношення потужностей корисного сигналу та завади в каналі доступу

за різною базою НШС сигналу $B = \Delta f T_b = \Delta f / C_b$, визначається наступним співвідношенням:

$$q = 2\sigma_n^2 / \sigma_s^2. \quad (19)$$

У цьому співвідношенні σ_n^2 та σ_s^2 є дисперсіями інформаційних сигналів $n(t)$ та адитивних гаусових завад $s(t)$, T_b – тривалість біту, $C_b = 1/T_b$ – швидкість передачі бітів.

Таким чином завадостійкість, електромагнітна сумісність та прихованість безпроводної системи передачі цифрової інформації визначають залежності імовірності бітової похибки від співвідношення сигнал/шум в каналі доступу (рис. 10). За умов фіксованої смуги частот, наприклад, $\Delta f = 1000 \text{ МГц}$, наведені залежності являють собою вірогідність передачі інформації в системі НШС зв'язку із швидкістю передачі бітів $C_b = 20 \text{ Mb/s}$, 10 Mb/s , 5 Mb/s , 2 Mb/s та 1 Mb/s , у відповідності з базою сигналу $B = 50, 100, 200, 500, 1000$. Із збільшенням швидкості передачі бітів C_b , за умов фіксованої смуги частот Δf , спостерігається зсув праворуч залежностей так, що імовірність похибки зростає при зменшенні значень співвідношення сигнал/шум в каналі зв'язку. При великій швидкості передачі бітів C_b залежності 1 і 2 зазнають обмеження знизу так, що імовірність бітової похибки є не меншою, ніж 10^{-2} при швидкості передачі $C_b = 20 \text{ Mb/s}$ та не нижче величини 10^{-4} при швидкості передачі $C_b = 10 \text{ Mb/s}$. У той же час залежності 3, 4, 5 зазнають обмеження на більш низькому рівні для імовірності похибки під час передачі бітів з меншою швидкістю $C_b = 5 \text{ Mb/s}$, 2 Mb/s та 1 Mb/s .

Аналіз BER-характеристик доводить, що імовірність бітової похибки не прагне наблизитися до нуля навіть за відсутності завад в каналі. Оцінка параметра прихованості для цифрової системи доступу здійснюється за параметром q , який визначає відношення потужності інформаційного сигналу до потужності завад в каналі при заданій імовірності бітової похибки. Імовірність бітової похибки залежить від бази сигналу. Так для сигналів з великою базою, наприклад, $500, 1000$, імовірність бітової похибки стає нижчою за $10^{-5} - 10^{-6}$ навіть при негативному значенні параметра q в інтервалі значень $-3 \dots -6 \text{ дБ}$.

Таким чином, при великій базі сигналу $B > 300$, коли інтенсивність прийнятих сигналів знаходиться нижче рівня завад, включаючи власні шуми приймача, надійна передача інформації здійснюється з імовірністю похибки менш ніж 10^{-6} . Це доводить, що використання технології НШС сигналів дозволяє здійснити безпроводну приховану передачу інформації з малою потужністю випромінювання на швидкості 1–2 Мб/с з імовірністю похибки менш, ніж 10^{-5} .

Метод оцінки впливу завад на якість відновлення інформації. Згідно теорії потенціальної завадостійкості характеристики інформаційного сигналу залежать

від відношення подвійної енергії сигналу E до спектральної щільності потужності шуму N_0 та складає величину:

$$Q = \frac{2E}{N_0} = 2q_0B, \quad (20)$$

де $q_0 = \frac{E/T}{N_0W}$ – відношення середньої потужності сигналу $P_{c0} = E/T$ до потужності шуму $P_{N0} = N_0W$ на вході приймача, а $B = WT$ є базою сигналу.

Розподіл інформаційного біту тривалістю T на елементи, тривалістю τ , які мають таку ж амплітуду, що і інформаційний біт, дозволяють отримати сигнал тривалістю T із смугою $W \approx \frac{1}{\tau}$ при значенні бази $B \gg 1$. Число елементарних імпульсних сигналів (чипів) в інформаційному біті визначається як $N = T/\tau$. При цьому можливість розділення перекритих у часі сигналів пов'язана з наявністю у кореляційній функції прийнятих сигналів єдиного можливого максимуму значної амплітуди і ширини порядку $\tau_{\text{эф}} \cong \frac{1}{W} \cong \tau$, що є піком спектральної щільності потужності. Такий вигляд кореляційної функції мають відрізки шуму із смугою W і детерміновані сигнали, які після обробки в кореляційному приймачі приймають вигляд імпульсу тривалістю τ з амплітудою NS , де S – амплітуда елементарного імпульсу послідовності. Максимальні бокові пелюстки кореляційної функції, які визначають небажаний вплив на прийом сигналу, мають амплітуди порядку \sqrt{NS} . За умов достатньо великого значення N , наприклад, понад 100, ці пелюстки значно менші за головний максимум. При інтерференції повністю некогерентних НШС сигналів спектральна щільність модулюється гармонічною функцією в залежності від частоти f з масштабом періодичності, який дорівнює $\delta f_{10} = \frac{1}{T_{10}}$.

Потужність сумарного НШС сигналу $z_{1,0}(t)$ визначає його дисперсія σ_z^2 що дорівнює подвійної потужності $\sigma_z^2 = 2\sigma_n^2$ опорного сигналу $n(t)$ за умов повної некогерентності опорного та затриманих інформаційних сигналів.

Компаратор здійснює порівняння інформаційних кореляційних піків із зсувом T_1 чи T_0 , вилучає з них найбільший за величиною кореляційний пік, що відповідає переданому біту «1» чи «0». Таким чином здійснюють однозначне відновлення переданої бінарної інформації.

Вплив зовнішньої завади в каналі доступу супроводжується зростанням випадкових викидів для автокореляційної функції $\hat{R}_r(\tau)$ в області інформаційних піків $2\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau - T_{1,0})$ із зсувом $\tau = T_{1,0}$, що призводить до збільшення похибки під час відновлення в приймачі переданої бінарної

інформації. За результатами спектральної обробки під час надходження кожного біту інформації визначають квадратурні компоненти для комплексної автокореляційної функції, модуль якої обчислюється як середнє квадратичне значення від дійсної та уявної частин. Випадкову оцінку для модуля автокореляції $|\hat{R}_r(\tau)|$ визначаємо у вигляді суми середнього значення $\bar{m}_r(\tau)$ та флуктуаційної компоненти $\tilde{\mu}_r(\tau)$:

$$|\hat{R}_r(\tau)| = \bar{m}_r(\tau) + \tilde{\mu}_r(\tau). \quad (21)$$

За результатами усереднення за великим ансамблем ($K = 10^5$) незалежних реалізацій $r(t)$ прийнятого сигналу визначаємо:

- середнє значення:

$$\bar{m}_r(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |\hat{R}_r^{(k)}(\tau)|, \quad (22)$$

- дисперсію флуктуацій:

$$\sigma_{\mu}^2(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K [\tilde{\mu}_r^{(k)}(\tau)]^2, \quad (23)$$

- коефіцієнт взаємної коваріації для флуктуаційної компоненти $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{1,0})$ в місці розташування інформаційного піку із затримкою $T_{1,0}$ та бокових викидів $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{1,0} + \tau)$, зсунутих на час $(T_{1,0} + \tau)$:

$$G_{\mu}(T_{1,0}, T_{1,0} + \tau) = \frac{1}{G_{\mu}(T_{1,0})G_{\mu}(T_{1,0} + \tau)} \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K [\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{1,0})\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{1,0} + \tau)] \quad (24)$$

Коефіцієнт взаємної коваріації показує ступень статистичної залежності для флуктуацій модулю автокореляції в місці розташування $T_{1,0}$ інформаційного піку та на місці $(T_{1,0} + \tau)$ зсунутих бокових викидів.

Аналіз НШС сигналів в каналі з адитивною гаусовою завадою здійснювався для визначення імовірності похибки на біт (BER) в залежності від співвідношення (SNR) потужності прийнятого сигналу до потужності зовнішньої завади в каналі при різних затримках T_1, T_0 інформаційних сигналів. Наприклад, спектри потужності, сумарних НШС сигналів, які надходять під час передачі двійкових символів, обчислені за кінцевий час $T = 1 \text{ мкс}$, дорівнюють тривалості біту інформації, та є випадковими функціями. Смуга частот складає $\Delta F = 1 \text{ ГГц}$, та час когерентності $\tau = 1/\Delta F = 1 \text{ нс}$. Під час передачі двійкового символу «1» затримка сигналу складає $T_1 = 9 \text{ нс}$. Тоді період спектральної модуляції буде дорівнювати $\delta f_1 = 1/T_1 = 111 \text{ МГц}$. При передачі «0» затримка сигналу складає

$T_0 = 6 \text{ нс}$, а період спектральної модуляції буде складати $\delta f_0 = 1/T_0 = 167 \text{ МГц}$.

Імовірність похибки визначалася статистикою хибних рішень при багаторазовому виконанні незалежних експериментів по передачі двійкових бітів в каналі з адитивною гаусовою завадою. При зсуві на кратний час $\tau = jT_0 = 12, 18, 24 \text{ нс}$ ($j=2, 3, 4$) спостерігаються статистично значимі піки для середнього значення $\bar{m}_r(\tau)$ (рис. 11) та середньо квадратичного відхилення $\sigma_\mu(\tau)$ (рис. 12). Вони перевищують у декілька разів сусідні бокові викиди цих функцій при некрatних зсувах $\tau = jT_0$.

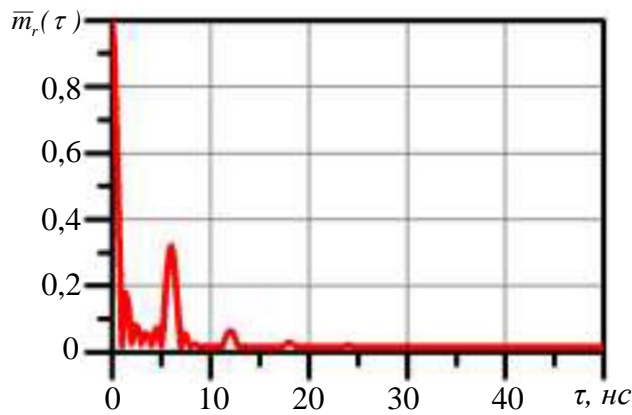


Рис. 11. Залежність $\bar{m}_r(\tau)$ від величини зсуву τ

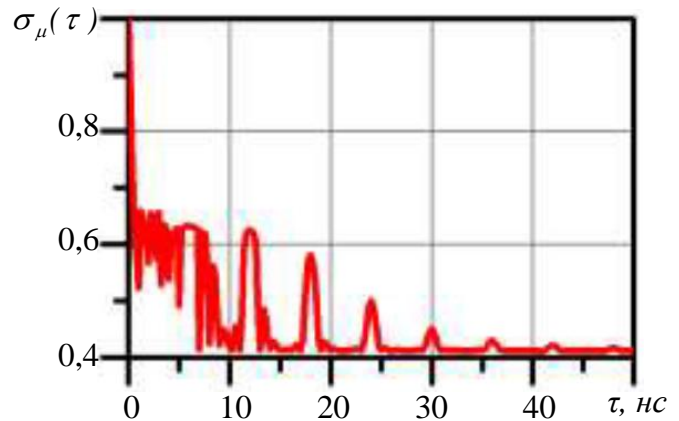


Рис. 12. Залежність $\sigma_\mu(\tau)$ від величини зсуву τ

Затримка сигналу складає $T_0 = 6 \text{ нс}$. При цьому слід зазначити аномально великі піки для стандартного відхилення $\sigma_\mu(\tau)$ при кратних зсувах $\tau = jT_0 = 12, 18, 24 \text{ нс}$. Коефіцієнт взаємної коваріації при зсуві на час інформаційної затримки $\tau = T_0 = 6 \text{ нс}$ за рахунок резонансу зростає по амплітуді у десятки разів, стає негативним та дорівнює $G_\mu(T_0, 2T_0) = -0,49$.

За результатами чисельного моделювання (рис. 13) визначено ефект потужної антикореляції для флуктуаційної компоненти $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{1,0})$ модуля автокореляції в місці розташування інформаційного піку із зсувом $T_0 = 6 \text{ нс}$ та бокових викидів із подвоєним зсувом $2T_0 = 12 \text{ нс}$.

Аномально великі флуктуації для модуля автокореляції $|\hat{R}_r(\tau)|$ при кратних зсувах $\tau = jT_{1,0}$ ($j=2, 3, 4$) та сильна антикореляція $G_\mu(T_0, 2T_0) = -0,49$ між флуктуаціями із кратними зсувами призводять до появи додаткових

внутрішньосистем-них завад, що суттєво впливає на достовірність бінарної інформації в рухомій КС із багатоканальним доступом.

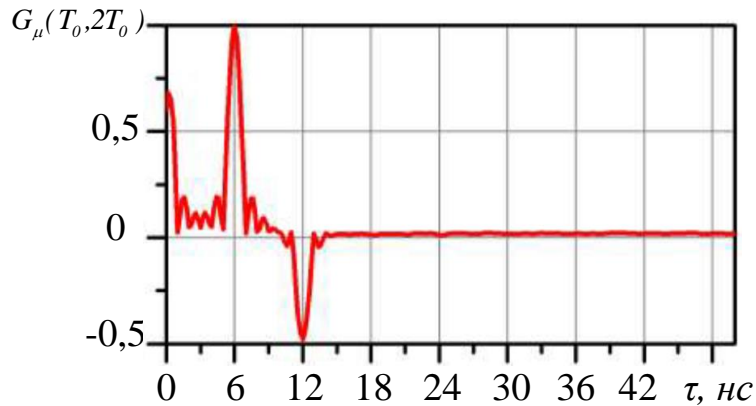


Рис. 13. Залежність $G_{\mu}(T_0, 2T_0)$ від величини зсуву τ

Рівень випадкових бокових викидів для модуля $|\hat{R}_r(\tau)|$ залежить від зсуву τ , що ускладнює процедуру подальшого вилучення інформації. При дії зовнішніх завад зменшується відносна величина інформаційних піків із зсувом $\tau = T_{1,0}$. Аномально великі бокові викиди для модуля $|\hat{R}_r(\tau)|$ спостерігають при кратних зсувах $\tau = jT_{1,0}$ ($j=2,3,4$). Насамперед, це стосується подвійної кратності затримок $\tau = 2T_{1,0}$ як за відсутності завад, так і під час впливу завади в каналі зв'язку. Бокові викиди при потрійній затримці $\tau = 3T_{1,0}$ характеризується меншою амплітудою так, що їх складно ідентифікувати за час надходження одного інформаційного біта.

Таким чином, визначено особливий клас внутрішньосистемних завад внаслідок кратності інформаційних затримок T_1 чи T_0 . Випадкові викиди кореляційних піків з кратними зсувами $jT_{1,0}$ ($j=2,3,4$) призводять до підвищення бітової похибки для НШС системи багатоканального доступу, коли встановлюють кратні затримки T_1 і T_0 при застосуванні кодової модуляції під час передачі, наприклад, $T_1 = 2T_0, T_1 = 3T_0$. Так, за умов подвійної кратності $T_1 = 2T_0$ положення інформаційного піку із зсувом T_1 суміщається з положенням бокового кореляційного піку з кратною затримкою $2T_0$. При передачі 0 біта з затримкою T_0 виникають аномально високі флуктуації з кратним зсувом $2T_0$ для модуля автокореляційної функції $|\hat{R}_r(\tau)|$ в місці розташування інформаційного піка T_1 . У результаті підвищується ймовірність хибного рішення про реєстрацію біта «1», коли в дійсності передається біт «0». Усунення додаткових внутрішньосистемних завад внаслідок кратності інформаційних затримок в

НШС системах зв'язку полягає у встановленні некрatних між собою затримок T_1 і T_0 в процесі кодової спектральної модуляції НШС сигналів у передавачі. Дійсно, при некрatних затримках T_1 і T_0 для інформаційних НШС сигналів виконується важлива умова $T_1 \neq jT_0$ ($j=2,3,4$).

У цьому випадку *не виникає суміщення* у вторинному спектрі позиції для інформаційного піка T_1 , який відповідає біту «1», і позиції для бокових піків з кратними зсувами $jT_{1,0}$, які виникають при передачі біта «0». При цьому випадкові викиди на бокових кореляційних піках із кратними зсувами $jT_{1,0}$ ($j=2,3,4$) не впливають на достовірність передачі двійкових символів за умов $T_1 \neq jT_0$, коли затримки не є кратними.

Шостий розділ присвячено вирішенню шостого завдання дисертаційних досліджень, а саме розробці технології забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації рухомих комп'ютерних систем на транспорті.

Процес організації багатоканального доступу та передачі інформації в рухомих комп'ютерних системах передбачає використання системних методів, включаючи технологію та наукові принципи моделювання для отримання необхідного рівня захищеності інформації. Існує низка методів, які базуються на розподілі між окремими засобами рухомих КС таких параметрів, як частота, час, код і простір із мінімумом взаємних завад та максимальним використанням характеристик середовища передачі. Однак основним методом забезпечення якості передачі інформації у рухомих КС є зниження рівня електромагнітних полів, що дозволяє забезпечити багатоканальний доступ та високий рівень захисту інформації у рухомих КС.

Зробити інформаційний електромагнітний сигнал випромінювання непомітним для будь-яких приймачів, окрім того, кому його призначено, слід здійснювати шляхом розширення його спектру. Такий сигнал майже не здатен чинити небажаний вплив на звичайну сторонню систему, яка працює в тій же смузі частот. При цьому слід застосовувати таку обробку сигналу, яка б гарантувала достатньо низький рівень його спектральної щільності відносно спектральної інтенсивності природного шуму на вході приймача.

У відповідності з наведеним, для підвищення якості багатоканального доступу та захисту інформації у рухомих комп'ютерних системах на транспорті, пропонується наступна технологія (рис. 14).

Для цього слід використовувати розроблені моделі і методи, які надані у попередніх розділах роботи:

- метод формування надширокосмугових імпульсних сигналів, який дозволяє передавати інформацію безпосередньо до вільного простору гребінкою малопотужних імпульсних сигналів – чипів у дуже широкій смузі частот без несучої частоти, причому рівень сигналу випромінювання дорівнює чи нижче рівня шуму;



Рис. 14. Технологія забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС.

- метод часового позиційно-імпульсного кодування, за яким кожен біт інформації кодується часовим зсувом гребінки чипів постійної амплітуди та тривалості відносно еталонної в залежності від того, що кодується нуль чи одиниця;

- метод формування незалежних каналів доступу шляхом здійснення додаткового зсуву у часі положення кожного чипу пропорційно значенню деякої псевдовипадкової послідовності – системі ортогональних кодів;

- метод формування НШС сигналу випромінювання шляхом інтерференції у еквівалентному загальному розкритті антени

приймально/передавального пристрою електромагнітного поля біполярного імпульсного інформаційного сигналу;

- метод мерехтливої поляризації, згідно якого кожен із серії чипів, кодуєчи інформаційний біт, по черзі поступає на одну чи іншу антену приймально/передавального пристрою, які в антенному блоці розташовані ортогонально;

- модель турнікетної антенної системи приймально/передавального пристрою, в якій висі симетрії розташовано ортогонально, що забезпечує прийом і передачу електромагнітного випромінювання довільної поляризації, яке характерне для рухомих мобільних пристроїв;

- метод кореляційного прийому, за яким обчислюється комплексна автокореляційна функція прийнятого сигналу та яка має кореляційний пік із часовим зсувом згідно потоку двійкових бітів, визначає з них найбільший за величиною, та здійснюючи таким чином однозначне відновлення переданої бінарної інформації;

- метод виявлення сигналу на фоні шуму, який здійснюють шляхом кореляції прийнятого і опорного сигналів, визначаючи часові зсуви прийнятих імпульсних сигналів відносно опорних та накопичуючи їх певну кількість за час дії інформаційного біту, що дає можливість суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум на вході детектора приймача.

Розроблена технологія забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації дозволяє гарантовано забезпечити якість та прихованість інформації в рухомих КС на усіх етапах її розробки та реалізації.

Рекомендації щодо організації багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС. Запропонований механізм встановлення некротних затримок інформаційних сигналів дозволяє отримати рівень похибки на рівні $BER=10^{-5}$. При обранні надширокосмугових інформаційних кодуєчих чипів доцільно використовувати велику базу сигналу $B=500 - 1000$ що дає змогу отримати імовірність бітової похибки на рівні $BER= 10^{-4} - 10^{-6}$ за умов суттєво менших одиниці відношення сигнал/шум. Це дозволяє здійснити безпроводну приховану передачу інформації в рухомих КС з малою потужністю випромінювання на швидкості $C = 1 - 2 \text{ Mb/s}$ з імовірністю похибки менш, ніж 10^{-5} .

Отримані результати дозволяють обґрунтовано обирати найкращі значення затримок кодуєчих сигналів в процесі модуляції інформаційних бітів та оцінювати імовірність бітової похибки при різноманітних очікуваних значеннях співвідношення сигнал/шум.

Таким чином, система багатоканального доступу в рухомих КС з кодовою модуляцією в передавачі та спектральною обробкою в приймачі має високу завадостійкість, що дозволяє здійснювати надійну передачу цифрової інформації в умовах виникнення зовнішніх та внутрішньосистемних завад.

У додатках наведено документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено основні результати розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС в умовах збільшення щільності каналів доступу та обсягів інформації, що циркулює в безпроводних мережах на основі розробки математичного апарату (математичних моделей і методів), який створює технологію, що на відміну від відомих, дає можливість здійснювати безпроводний доступ та прихованість інформації в широкій смузі частот, коли рівень інформаційного сигналу дорівнює чи нижче рівня шуму.

Це дало змогу отримати такі нові наукові і практичні результати:

1) проведений аналіз сучасних і перспективних принципів, критеріїв, моделей і методів забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС, а також виникаючих практичних вимог до захисту і швидкості передачі інформації та щільності каналів доступу, показав, що існуючі методи не здатні забезпечити вимоги щодо якості інформації в рухомих комп'ютерних системах;

2) на ґрунті проведеного аналізу запропоновано метод формування надширокосмугових імпульсних сигналів, який дозволяє передавати інформацію безпосередньо до вільного простору гребінкою малопотужних чипів у дуже широкій смузі частот без несучої частоти, причому рівень сигналу випромінювання дорівнює чи нижче рівня шуму;

3) удосконалено метод кодування інформації із застосуванням часового позиційно-імпульсного кодування, за яким кожен біт інформації кодується часовим зсувом гребінки чипів на чверть тривалості імпульсу за умов його постійної амплітуди та тривалості відносно еталонної в залежності від того, що кодується нуль чи одиниця, та метод формування незалежних каналів доступу шляхом здійснення додаткового зсуву у часі на один-два порядки вище, ніж при часовому позиційно-імпульсному кодуванні за умов застосування системи ортогональних кодів;

4) удосконалено метод формування надширокосмугового сигналу випромінювання шляхом інтерференції у еквівалентному загальному розкритті антени електромагнітного поля біполярного імпульсного інформаційного сигналу, який на відміну від існуючих, дозволяє у 2,37 разів підвищити радіус дії випромінювання у порівнянні із випромінюванням гармонічних коливань;

5) розроблено модель компонентів блоку прийому/передачі багатоканального доступу, в якій висі симетрії розташовано ортогонально, що забезпечує прийом і передачу електромагнітного випромінювання довільної поляризації, яке характерне для рухомих КС та метод мерехтливої поляризації,

згідно якого кожен із серії чипів, кодуючи інформаційний біт, по черзі поступає на одну чи іншу компоненти антени, які розташовані ортогонально, що дозволяє більш ніж удвічі підвищити радіус дії електромагнітного випромінювання довільної поляризації, яке характерне для рухомих КС;

б) одержав подальший розвиток метод кореляційного прийому, за яким обчислюється комплексна автокореляційна функція прийнятого сигналу та яка має кореляційний пік із часовим зсувом згідно потоку двійкових бітів, визначає з них найбільший за величиною та здійснюючи таким чином однозначне відновлення переданої бінарної інформації, що дозволяє за умов великої бази сигналу ($B > 300$) здійснювати приховану передачу сигналу ($c/w = -3 \dots -6$ дБ) з імовірністю похибки на біт менш, ніж 10^{-5} ;

7) одержав подальший розвиток метод виявлення сигналу на фоні шуму, який здійснюють шляхом кореляції прийнятого і опорного сигналів, визначаючи часові зсуви прийнятих імпульсів відносно опорних та накопичуючи їх певну кількість за час дії інформаційного біту дають можливість суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум на вході детектора приймача, що дозволило здійснювати надійний багатоканальний доступ в рухомих КС в умовах завад;

8) розроблено технологію забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС, яка дозволяє здійснювати багатоканальний доступ з високою якістю ($BER = 10^{-5}$) в широкій смузі частот, коли рівень інформаційного сигналу дорівнює чи нижче рівня шуму з високою швидкістю передачі даних (від десятків до сотень Мбіт/с);

9) практичні результати, що отримано, підтверджені актами впровадження та доводять коректність теоретичних положень дисертаційної роботи, високу ефективність розроблених моделей, методів та технологію багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих комп'ютерних системах;

10) достовірність результатів дисертаційного дослідження підтверджується збіжністю результатів експериментальних досліджень із теоретичними та практичними результатами, які відображені в публікаціях, та обумовлена їх відповідністю положенням теорії передачі сигналів та електрозв'язку.

11) подальший перспективний напрям розвитку багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих комп'ютерних системах може бути пов'язано з розробкою моделей, методів та алгоритмів цифрової обробки надширококутних сигналів, з урахуванням специфіки організації роботи безпроводних мереж на залізничному транспорті.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

1. Панченко С. В., Серков О. А., Трубочанінова К. А. Теорія та практика електромагнітної сумісності телекомунікаційних систем. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 249 с.

Здобувачем запропоновано підхід та методика забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих комп'ютерних системах.

2. Приходько С. І., Трубочанінова К. А., Батаєв О. П. Основи теорії інформації та кодування. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 110 с.

Здобувачем проведено аналіз методів кодування інформації та запропоновано метод часового позиційно-імпульсного кодування для забезпечення БД та ЗІ безпровідних комп'ютерних систем.

Статті, опубліковані в закордонних фахових виданнях:

3. Trubchaninova K., Serkov O., Panchenko N., Kurtsev M. Ultra Wideband Communication Technology in the Transport and Logistics Systems. ICTE in Transportation and Logistics 2019. ICTE ToL 2019. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham. 2020. P. 262-270. DOI: 10.1007/978-3-030-39688-6_33. **(SPRINGER)**.

Здобувачем розроблено аспекти застосування надширококузових сигналів в КС на транспорті.

4. Serkov A.A., Lazurenko B.A., Trubchaninova K.A., Horiushkina A.E. Security Improvement Techniques for mobile applications of Industrial Internet of Things. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. Vol. 20, No. 5, 2020. P. 145-149. URL: [http:// paper.ijcsns.org/07_book/202005/20200519.pdf](http://paper.ijcsns.org/07_book/202005/20200519.pdf) **(SCOPUS)**.

Здобувачем розроблено принципи впровадження надширококузових технологій у мобільних пристроях КС.

5. Trubchaninova K., Panchenko S., Korago I. Minimization method for average packet delay in data transmission networks. ICTE in Transportation and Logistics 2018. (ICTE 2018). Procedia Computer Science. Latvia: Riga Technical University, 2019. No. 149. P. 177-184. DOI: 10.1016/j.procs.2019.01.121. **(SCOPUS)**.

Здобувачем розроблено метод підвищення якості процесу передачі інформації в безпровідній мережі залізничного транспорту.

6. Serkov A., Tkachenko V., Kharchenko V., Pevnev V., Trubchaninova K., Doukas N. Method of Increasing Security of Spatial Intelligence in the Industrial Internet of Things Systems. 24th International Conference in Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC'2020). Plataniias, Chania Crete Island, Greece, July 19-22, 2020. No. 149. P. 177-184. DOI: 10.1016/j.procs.2020.01.121. **(SCOPUS)**.

Здобувачем розроблено модель антени для реалізації надширокопasmового рухомого багатоканального доступу.

7. Trubchaninova K., Serkov A., Kniyazev V., Yakovenko I. Electromagnetic Compatibility of Mobile Telecommunication Systems. 2020 *IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*. 2020. No. 149. P. 1041-1044. DOI: 10.1016/j.procs.2020.01.121. (SCOPUS).

Здобувачем запропоновано критерій забезпечення вимог EMC мобільних пристроїв комп'ютерних систем та метод виявлення сигналів на фоні білого шуму.

Міжнародні публікації в збірниках, що входять до міжнародних науково-метричних баз:

8. Trubchaninova K., Serkov A., Tkachenko V., Kharchenko V., Pevnev V. A method for increasing bandwidth and noise immunity IoT at the influence of natural and intentional electromagnetic interference. *Problems of Telecommunications*. 2020. No. 149. P. 177-184. DOI: 10.1016/j.procs.2020.01.121.

Здобувачем розроблено метод часової позиційно-імпульсної модуляції.

9. Трубчанінова К.А., Серков О.А. Технологія забезпечення вимог електромагнітної сумісності мобільних систем безпроводового зв'язку. *Advanced Information Systems*. 2019. Vol. 3, Num. 3. P. 49-54. DOI:10.20998/2522-9052.2019.3.07.

Здобувачем доведена теорема щодо мінімально необхідної кількості чипів, що кодують інформаційний біт для забезпечення його відновлення.

10. Trubchaninova K., Serkov A, Mezitis M. Method of wireless transmission of digital information on the basis of ultra-wide signals. *Advanced Information Systems*. 2019. Volume 3, Number 4. P. 33-38. DOI:10.20998/2522-9052.2019.4.04.

Здобувачем розроблено функціональні схеми формування та прийому надширокопasmових сигналів.

11. Трубчанінова К.А., Серков О.А., Лазуренко Б.О. Метод оцінки імовірності бітової похибки в системах надширокопasmового зв'язку. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Випуск 6(58). С.111 -114. DOI:10.26906/SUNZ.2019.6.111.

Здобувачем проведено дослідження залежності імовірності похибки від співвідношення сигнал/шум за різною базою сигналу.

12. Трубчанінова К.А. Серков О.А., Лазуренко Б.О. Метод забезпечення завадостійкості рухомого зв'язку при виникненні внутрішньосистемних завад. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Випуск 1(59). С.155 -159. DOI: 10.26906/SUNZ.2020.1.155.

Здобувачем проведено дослідження імовірності похибки від співвідношення сигнал/шум в каналі доступу при різних затримках двійкових інформаційних сигналів.

13. Трубчанінова К.А. Серков О.А., Лазуренко Б.О. Завадостійкість мобільних телекомунікаційних систем. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Випуск 2(60). С.169 -172. DOI: 10.26906/SUNZ.2020.2.169.

Здобувачем розроблено критерій забезпечення завадостійкості мобільних пристроїв комп'ютерних систем.

14. Трубчанінова К.А. Модель антени для випромінювання надширококутних сигналів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Випуск 3(61). С.138 -141. DOI: 10.26906/SUNZ.2020.3.138.

**Статті в наукових фахових виданнях, що входять до переліку,
затвердженого ДАК МОН України:**

15. Трубчанінова К.А. Курцев М.С., Гаврилюк М.О. Метод розрахунку основних характеристик хвилевідно-щілинної антени. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020. № 1 (140). С. 28-33. DOI:10.18664/ikszt.v25i1.198645.

Здобувачем запропоновано метод розрахунку основних характеристик багатоелементної антени.

16. Трубчанінова К.А., Крощенко Д.О. Метод попереднього планування безпроводової локальної мережі стандарту IEEE 802.11. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020. № 2. С. 27-32. DOI:10.18664/ikszt.v25i2.206838.

Здобувачем запропоновано метод планування локальної мережі стандарту IEEE 802.11.

17. Трубчанінова К.А. Ковтун І.В., Рубльов В.О., Соболевська Н.В. Дослідження значення величини середньої затримки пакета даних інформаційних потоків у мережах передачі даних. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. Вип. 5. С. 16-25.

Здобувачем запропоновано метод визначення раціональної довжини пакета для максимізації швидкості передачі повідомлень.

18. Трубчанінова К.А. Дослідження моделі гібридної радіо-оптичної телекомунікаційної системи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 6. С. 20-24.

19. Трубчанінова К.А., Чоботок А.В. Аналіз особливостей вимірювання частоти несучої фазо-модульованих сигналів. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2015. Випуск 158, т. 1. С.104-111.

Здобувачем розроблено метод цифрової обробки прийнятого інформаційного сигналу із застосуванням дискретного перетворення Фур'є та кореляційного прийому.

20. Трубчанінова К.А., Полякова К.В. Дослідження пропускну здатності мережі доступу в залежності від типу абонента. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2013. № 5. С. 52-56.

Здобувачем розроблено метод розрахунку пропускної здатності мережі доступу для різних груп абонентів.

21. Трубочанинова К.А. Свилярьова Н.В. Дослідження значення величини затримки пакету даних інформаційних потоків в мережах передачі даних. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ. 2012. Випуск 133. С.155-162.*

Здобувачем запропоновано метод визначення довжини пакета для збільшення швидкості передачі повідомлень.

22. Трубочанинова К.А. Нарожный В.В., Григорьянц Г.Е., Леншин А.В. Применение современных телекоммуникационных мобильных технологий для повышения контроля за техникой безопасности в информационной системе «человек в пути» железнодорожной отрасли. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ. 2012. Випуск 128. С.192-200.*

Здобувачем обгрунтована доцільність застосування мобільних комп'ютерних технологій на залізничному транспорті.

23. Трубочанинова К.А., Жученко О.С., Орда О.В., Суєта О.В., Оцінка необхідної пропускної здатності зовнішнього каналу мережі доступу. *Зб.наук.пр. УкрДАЗТ. 2011. Випуск. 126. С. 21-26.*

Здобувачем запропоновано метод визначення пропускної здатності зовнішнього каналу мережі доступу.

24. Трубочанинова К.А., Батаев О.П. Синтез структурных схем для обнаружения и оценивания сигналов на фоне стационарных помех с неизвестной интенсивностью. *Зб.наук.пр. УкрДАЗТ. 2010. Випуск. 116. С. 11 – 18.*

Здобувачем розроблено метод визначення та оцінювання сигналів при дії завад невідомої інтенсивності в однопроменевому каналі доступу.

ДП України на корисну модель та ДП України на винахід:

25. Спосіб передачі інформації надширокопasmовими імпульсними сигналами в транспортних засобах: патент на корисну модель UA 140210 U Україна: МПК Н04В 1/12 (2006.01) / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубочанинова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; власник патенту Український державний університет залізничного транспорту. – u 2019 07640; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3. – 5 с.

Здобувачем запропоновано здійснити додаткове каналне кодування інформаційного сигналу цифровим кодом псевдовипадкової ортогональної послідовності.

26. Надширокопasmова антена з мерехтливою поляризацією: патент на корисну модель UA 141130 U Україна: МПК Н01Q 21/06 (2006.01) / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубочанинова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; власник патенту Український державний університет залізничного транспорту. – u 2019 08722; заявл. 30.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6. – 6 с.

Здобувачем розроблено конструкцію антени для реалізації надширокопasmового багатоканального доступу.

27. Спосіб збудження надширокосмугової антени з мерехтливою поляризацією: патент на корисну модель UA 141131 U Україна: МПК H01Q 21/06 (2006.01) / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; власник патенту Український державний університет залізничного транспорту. – и 2019 08723; заявл. 19.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6. – 6 с.

Здобувачем розроблено методику створення у загальному антенному просторі двох ортогонально розташованих антен надширокосмугового біполярного імпульсного сигналу.

28. Спосіб прийому цифрових двійкових сигналів в умовах шуму: патент на корисну модель UA 145319 U Україна: МПК H04B 1/02 (2006.01) / С. В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С., А.Є. Горюшкіна, Б.О. Лазуренко; власник патенту Український державний університет залізничного транспорту. - и 2020 04847; заявл. 29.07.2020; опубл. 25.11.2020, Бюл. № 22. - 5 с.

Здобувачем розроблено алгоритм розпізнавання прийнятого цифрового двійкового сигналу в умовах шуму.

Статті у збірниках за матеріалами конференцій:

29. Трубчанінова К.А., Серков О.А., Лазуренко Б.О. Технологія надширокосмугових сигналів в системах зв'язку рухомих пристроїв. *XIX МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-19)»: тез. доп. X: НТУ «ХП», 2019. С. 74-75.*

Здобувачем розроблено конструкцію уніфікованого антенного блоку в системах доступу рухомих пристроїв.

30. Трубчанінова К.А., Ковтун І.В., Курцев М.С. Моделювання плоскої дводіапазонної антенної решітки для приймання хвиль кругової поляризації. *32 МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 24-25 жовтня 2019 р.): Тез. доп. Харків: УкрДУЗТ, 2019. №4. С. 8.*

Здобувачем запропоновано метод розрахунку дводіапазонної антенної решітки.

31. Трубчанінова К.А., Серков О.А. Електромагнітна сумісність сучасних систем безпроводового зв'язку. *V ВНТК «Практичні аспекти сумісності електромагнітної та блискавкозахисту» (ПАСЕБ-2019): тез. доп. – X: НТУ «ХП», 2019. С. 76-78.*

Здобувачем розроблено метод застосування в системах доступу рухомих пристроїв технології надширокосмугових сигналів та мерехтливої поляризації.

32. Трубчанінова К.А., Серков О.А. Концепція забезпечення електромагнітної сумісності систем безпроводового зв'язку на транспорті. *VII МНТК (13 -15 листопада 2019р., Том 1: секції 1-3, Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла-2019) «Проблеми інформатизації»: Тез. доп. X: НТУ «ХП», 2019. С. 59.*

Здобувачем розроблено технологію забезпечення вимог електромагнітної сумісності на транспорті.

33. Трубочанінова К.А., Серков О.А. Моделі і методи організації надширокопasmового безпроводового зв'язку. III ВНТК «Проблеми інфокомунікацій», (Полтава-Київ-Харків-Мінск, 19 листопада 2019 р.): Тез. доп. Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2019.

Здобувачем розроблена методика організації безпроводової передачі цифрової інформації на ґрунті надширокопasmових сигналів.

34. Трубочанінова К.А., Серков О.А., Лазуренко Б.О. Метод виявлення сигналів на фоні гаусівського шуму. III ВНТК «Проблеми інфокомунікацій», (Полтава-Київ-Харків-Мінск, 19 листопада 2019 р.): Тез. доп. Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2019.

Здобувачем проведено дослідження підходів до застосування кореляційного методу виявлення інформаційних сигналів із суміші сигналу та шуму.

35. Трубочанінова К.А., Серков О.А., Поліщук О.Ю. Моделі і методи оцінки завадостійкості систем рухомого зв'язку. Труды XXVIII МНПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD – 2020) 28 - 30 жовтня 2020, м. Харків. – X., НТУ "ХПІ".- Ч. IV.- 2020. С. 220.

Здобувачем запропоновано метод максимальної правдоподібності для оцінювання каналу доступу.

36. Trubchaninova K. Methods for wireless transmission of digital information based on ultra-wideband signals. IV Міжнародної науково-практичної конференції "ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ" (Івано-Франківськ, 1-3 квітня, 2020): Тез. доп. Івано-Франківськ, 2020. С.87-88.

Здобувачем розроблена технологія безпроводної передачі інформації надширокопasmовими сигналами.

37. Трубочанінова К.А. Електромагнітна сумісність мобільних інфокомунікаційних систем. V МНПК «Інформаційні технології в освіті, науці й техніці» (Черкаси, 21-23 травня 2020 р.): Тез. доп. Черкаси С.81-82.

Здобувачем розроблені рекомендації щодо забезпечення достовірності розрізнення та вилучення двійкових цифрових сигналів.

38. Trubchaninova K., Serkov A., Kniyazev V., Yakovenko I. Electromagnetic Compatibility of Mobile Telecommunication Systems. 2020 IEEE 10th International Conference on «Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UMBUSIS – 2020) » (22-27 червня 2020 р.): Тез. доп. Харків, 2020. P.1041-1044. (SCOPUS)

Здобувачем запропоновано метод розрізнення двійкових сигналів на фоні шуму.

39. Trubchaninova K., Serkov A., Tkachenko V., Kharchenko V., Pevnev V. Method for increasing bandwidth and noise immunity IIoT at the influence of natural and intentional electromagnetic interference. 2020 International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T 2020). Kharkiv, October 6-9, 2020. (SCOPUS).

Здобувачем запропоновано модель антенного блоку для здійснення мерехтливої поляризації у рухомих КС.

40. Трубчанінова К.А. Антенна система для реалізації технології мобільного надширококуткового зв'язку. *IX Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» 2020: Тез. доп. Київ: «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, 2020. С. 61-63. (WEB OF SCIENCE).*

Здобувачем запропоновано антенну систему для реалізації технології мобільного надширококуткового зв'язку.

41. Трубчанінова К.А. Моделі, методи і технологія забезпечення електромагнітної сумісності мобільних телекомунікаційних систем. *XX МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-20)»: Тез. доп. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С. 220.*

Здобувачем запропоновано метод мерехтливої поляризації та антенна система.

42. Трубчанінова К.А., Серков О.А., Панченко С.В. Метод передачі бінарної інформації в транспортних засобах. *XX МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-20)»: Тез. доп. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С. 75.*

Здобувачем розроблено метод ідентифікації прийнятого бінарного сигналу на фоні шуму.

43. Трубчанінова К.А. Критерій забезпечення вимог ЕМС мобільних телекомунікаційних систем. *33 МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»: Тез. доп. Харків: УкрДУЗТ, 2020. №3 (додаток). С. 14-15.*

АНОТАЦІЇ

Трубчанінова К.А. Методи, моделі та технологія багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих комп'ютерних системах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Міністерство освіти і науки України, Харків, 2020.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми – забезпечення багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС на основі розробки технології та відповідного математичного апарата - математичних моделей і методів.

В результаті аналізу стану проблеми встановлено, що на даний момент усі існуючі моделі, методи та технології не призводять до вирішення проблеми, що обумовило необхідність удосконалення відповідного класичного математичного інструментарію для підвищення заводо захищеності, швидкості та обсягу інформації, що циркулює в безпроводній мережі КС. Обґрунтовано застосування

надширокосмугових (НШС) сигналів, в основу якого покладено принцип передачі інформаційного біту серією надкоротких імпульсів постійної амплітуди. Отримано систему моделей і методів, які створюють технологію багатоканального доступу та захисту інформації в рухомих КС, що на відміну від відомих, дає можливість здійснювати багатоканальний доступ та захист інформації в широкій смузі частот, коли рівень інформаційного сигналу дорівнює чи нижче рівня шуму. В результаті досліджень була розроблена *модель* надширокосмугової антени з мерехтливою поляризацією, що дозволило забезпечити усталений рівень інформаційного сигналу; *метод* кодування інформації НШС імпульсними сигналами із застосуванням часової позиційно-імпульсної модуляції, який базується на зсуві у часі кодуючого імпульсу щодо його основного положення у послідовності та *метод* створення незалежних завадостійких каналів зв'язку шляхом ортогонального кодування, що дозволяє підвищити стійкість до впливу внутрішньосистемних, природних чи навмисних завад. Запропонований *метод* кореляційного прийому дозволяє шляхом кореляції прийнятого та опорного сигналів збільшити співвідношення сигнал/завада на вході приймача, що дає змогу підвищити захищеність, достовірність прийому, розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу. Результати дослідження організації багатоканального доступу та захисту інформації у рухомих КС підтвердили правильність теоретичних положень дисертації та високу ефективність розроблених моделей, методів та технології.

Ключові слова: багатоканальний доступ; захист інформації; комп'ютерна система; надширокосмуговий сигнал; мерехтлива поляризація; часова позиційно-імпульсна модуляція; кореляційний прийом; когерентність; спектральна обробка сигналу.

Trubchaninova K.A. Methods, models and technology of multi-channel access and protection of information in mobile computer systems. – Manuscript.

Dissertation for the Doctor of Technical Sciences degree in the speciality 05.13.05. – computer systems and components. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and technical problem of providing multichannel access and protection of information in mobile computer systems on the basis of technology development and the corresponding mathematical apparatus - mathematical models and methods.

As a result of the analysis of the problem, it is established that at present all existing models, methods and technologies do not solve the problem, which necessitated the improvement of appropriate classical mathematical tools to increase noise immunity, speed and volume of information circulating in a wireless network of computer systems. . The use of ultra-wideband signals is substantiated, which is based

on the principle of information bit transmission by a series of ultrashort pulses of constant amplitude. A system of models and methods is created that create technology of multi-channel access and protection of information in mobile computer systems, which, unlike the known ones, allows multichannel access and protection of information in a wide frequency band when the information signal level is equal to or below the noise level. As a result of research, a model of ultra-wideband antenna with flickering polarization was developed, which allowed to provide a steady level of information signal; a method of encoding information of ultra-wideband signals by pulse signals using time position-pulse modulation, which is based on the time shift of the coding pulse relative to its main position in the sequence and a method of creating independent noise-tolerant communication channels by orthogonal coding, which increases resistance to internal natural or intentional interference. The proposed method of correlation reception allows by correlating the received and reference signals to increase the signal-to-noise ratio at the receiver input, which allows to increase security, reliability of reception, recognition and extraction of information signal from a mixture of Gaussian white noise and useful signal. The results of the study of the organization of multi-channel access and protection of information in mobile computer systems confirmed the correctness of the theoretical provisions of the dissertation and the high efficiency of the developed models, methods and technologies.

Keywords: multichannel access; information protection; computer system; ultra-wideband signal; flickering polarization; temporal position-pulse modulation; correlation reception; coherence; spectral signal processing.



ТРУБЧАНІНОВА КАРИНА АРТУРІВНА

УДК 621.391.82

**МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ТЕХНОЛОГІЯ БАГАТОКАНАЛЬНОГО
ДОСТУПУ ТА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В РУХОМИХ КОМП'ЮТЕРНИХ
СИСТЕМАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 15.12.2020 р.
Формат паперу 60x84 1/16. Друк різнограф.
Папір офсетний. Обсяг 1.8 ум. друк. арк. Наклад 140 прим.
Зам. № 20. від 25.01.2021 р. Ціна договірна.

Надруковано у копії-центрі «PandaPrint»
(ФО-П Панарін В.С., ЄДРПОУ 3332303034)
61050, м. Харків, м. Фейєрбаха, 11-б