

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 26.861.01  
доктору технічних наук, професору  
ТОЛУБКУ В.Б

Державний університет  
телекомунікацій  
03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7

## ВІДГУК

офіційного опонента завідувача кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного авіаційного університету, доктора технічних наук, доцента Одарченка Романа Сергійовича на дисертаційну роботу Плюща Олександра Григоровича на тему «Моделі та методи обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних широкосмугових сигналів», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**Актуальність теми дисертації.** При виборі показників ефективності певної мережі мобільного зв'язку потрібно виходити з її цільового призначення. Зазвичай при розробці комерційних мереж загального використання в якості цих показників вибираються пропускна здатність, ємність, швидкість передачі даних, якість послуг та, особливо для мереж п'ятого покоління, латентність або затримка. Але існують і мережі мобільного зв'язку з іншим цільовим призначенням, для яких зазначені характеристики не є визначальними. Вузкоспеціалізовані мережі мобільного зв'язку, такі як корпоративні або спеціальні, виходячи з їх цільового призначення розробляються з урахуванням таких критичних показників як захист інформації від перехоплення, висока завадозахищеність та скритність передачі інформації. Враховуючи зазначене не є дивним, що технічні рішення та технології на яких базуються вузкоспеціалізовані мережі мобільного зв'язку суттєво відрізняються від тих, що застосовуються в публічних комерційних мережах. З іншого боку в відкритих літературних джерелах представлено недостатньо інформації про технології, моделі та методи що можуть скласти основу вузкоспеціалізованих мереж мобільного зв'язку.

Можливо стверджувати, що така добре опрацьована технології як OFDMA, що є основою радіоінтерфейсу мереж мобільного зв'язку 4G та 5G, не є вдалим вибором для мереж спеціального зв'язку. Як би це не вважалося нелогічним, застосування широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру, від яких відмовилися при переході від третього до четвертого покоління мобільного зв'язку, як було показано автором, є більш підходящою технологією для побудови спеціальних мереж мобільного зв'язку для



забезпечення потрібних характеристик захисту інформації від перехоплення, завадозахищеності та скритності. В мережах мобільного зв'язку 3G, технології з прямим розширенням спектру, відомі як CDMA, використовуються тільки для забезпечення багатоабонентського доступу, хоча псевдовипадкові кодові послідовності синтезовані з примітивних поліномів певного порядку мають і ряд інших важливих властивостей. В той же час, виходячи з наявних відкритих джерел дослідженню застосування псевдовипадкових кодових послідовностей синтезованих з примітивних поліномів певного порядку для забезпечення захисту інформації від перехоплення та скритності її передачі не приділялося достатньої уваги.

Аналогічна ситуація склалася і з застосуванням адаптивних антенних решіток (AAR) в мережах мобільного зв'язку. При переході до мереж мобільного зв'язку 4G та 5G розробники відмовилися від використання адаптивних решіток на користь технології MIMO (Multiple Input Multiple Output) – знов для забезпечення потрібної ємності мережі та швидкості передачі. В той же час відомо, що AAR дозволяють значно підвищити завадозахищеність та скритність передачі інформації в мобільних мережах. При цьому існує дуже мало досліджень сумісного використання AAR та широкосмугових сигналів для підвищення ефективності спеціальних мобільних мереж. Хоча, як свідчить аналіз, сумісне використання цих технологій може значно підвищити їх ефективність за принципом синергії.

Наведене вище дозволяє стверджувати, що розробка моделей та методів обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних широкосмугових сигналів з метою підвищення їх стійкості до середовища розповсюдження, завадозахищеності та скритності передачі інформації є безсумнівно актуальною.

### **Загальна характеристика роботи**

**Вступ** включає в себе загальну характеристику роботи, обґрунтовану актуальність теми дисертації, сформульовану мету та задачі дослідження. В ньому визначено об'єкт, предмет дослідження, пояснено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами досліджень Державного університету телекомунікацій. Вступ містить наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, публікації, особистий внесок здобувача, відомості про апробацію та практичне впровадження результатів.

**В першому розділі** дисертаційної роботи розглянуто характеристики розповсюдження сигналів в мобільному радіоканалі. Виявлено швидкі завмирання викликані багатопробневим розповсюдженням як основну проблему щодо стабільності та якості зв'язку. Досліджені різні методи захисту інформації від перехоплення та прослуховування в телекомунікаційних каналах. Показано що комбіноване застосування адаптивних антенних решіток та широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру дозволяє протидіяти швидким завмиранням та забезпечувати захист інформації. Сформульовано науково-прикладну проблема що вирішується в роботі і визначено, що саме мається на увазі під підвищенням ефективності мереж

мобільного зв'язку – забезпечення стійкості до багатопроменевого розповсюдження, завадозахищеності, скритності передачі інформації та захисту її від перехоплення.

**Другий розділ стосується** досліджень методів обробки сигналів в адаптивних антенних решітках для мобільних мереж. Синтезовано метод налаштування адаптивної антенної решітки, що не вимагає формування опорного сигналу решітки. Для прояснення аспектів практичної реалізації методу, досліджено його характеристики в телекомунікаційному середовищі при застосуванні схем ЦАРП та жорсткого обмежувача. Проаналізовано вплив власних чисел та власних векторів кореляційної матриці антенної решітки на її адаптаційні властивості при застосуванні градієнтних алгоритмів найшвидшого спуску. Виходячи з аналізу, поліпшено метод адаптації антенних решіток та розроблено метод оцінки характеристик її налаштування без проведення затратного імітаційного моделювання. Вивчено коректність методу при дослідженні перехідних процесів в ААР.

**В третьому розділі** досліджується застосування псевдовипадкових кодових послідовностей для підвищення завадозахищеності та скритності передачі інформації. Проаналізовані автокореляційні характеристики псевдовипадкових кодових послідовностей різного розміру та наголошено на доцільності використання цих послідовностей для підвищення завадозахищеності та скритності передачі корисного сигналу. Запропоновано використовувати двосторонній обмежувач сигналів на вході узгодженого фільтру при використанні широкопasmової потужної завади. Створено метод побудови телекомунікаційного каналу в якому комплексно використовуються псевдовипадкові кодові послідовності синтезовані з примітивних поліномів різного ступеня. Виконані дослідження властивостей побудованого каналу.

**Четвертий розділ присвячений** створенню концепції побудови мережі мобільного зв'язку, в основі якої пропонується закласти принципи синергії, універсальності, безперервного розвитку системи, загального блага та інші. Із застосуванням побудованої концепції, отримано метод обробки сигналів в мережах мобільного зв'язку з багатопозиційними широкопasmовими сигналами. Наголошено, що отриманий метод передбачає використання розроблених в роботі моделей та методів обробки інформації в мобільних мережах з багатопозиційними широкопasmовими сигналами.

**В п'ятому розділі** розглядається розробка та тестування моделей для проведення комп'ютерного експерименту з метою перевірки моделей та методів обробки інформації в мобільних мережах з багатопозиційними широкопasmовими сигналами. Проведена перевірка комп'ютерних моделей в стандартних ситуаціях з простим фізичним поясненням щодо їх відповідності закладеним умовам.

**Висновки** дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну роботи та практичну значимість проведених досліджень.

Публікації в фахових наукових журналах та доповіді на науково-практичних міжнародних конференціях достатньо висвітлюють результати дисертаційної роботи.

**Метою дисертаційної роботи** є підвищення ефективності обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних ширококутових сигналів для забезпечення потрібної заводо захищеності, скритності передачі інформації та протидії багатопроменевому розповсюдженню сигналів.

**Об'єкт дослідження** – процеси функціонування мобільних мереж на основі багатопозиційних ширококутових сигналів.

**Предмет дослідження** – моделі та методи обробки інформації в мобільних мережах з багатопозиційними ширококутовими сигналами.

**Методи досліджень.** Для досягнення поставлених у дисертаційній роботі завдань використовувалися підходи та методи математичного аналізу і синтезу складних технічних систем, застосовувалися сучасні і класичні методи математичного і функціонального аналізу, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії інформації, сигналів, систем та зв'язку, методи комп'ютерного моделювання.

### **Наукова новизна дисертаційної роботи**

Наукова новизна результатів отриманих в дисертаційній роботі полягає в наступному:

1. Розроблено метод обробки сигналів в адаптивних антенних решітках для мобільних мереж, наукова новизна якого полягає в тому, що він не потребує наявності опорного сигналу решітки. Це дозволяє суттєво спростити технічну реалізацію таким систем.

2. Удосконалено метод адаптації антенних решіток, який на відміну від існуючих враховує раптові зміни в заводовому середовищі, що значно покращує перехідні характеристики решітки і надає вигоду у відношенні сигнал/завада.

3. Розроблена модель оцінки характеристик налаштування адаптивних антенних решіток, наукова новизна якої полягає в тому, що вона комплексно враховує розподіл власних чисел кореляційної матриці решітки, квадрати направляючих косинусів оптимального вагового вектору на власні вектори кореляційної матриці антенної решітки та слід цієї кореляційної матриці і це дозволяє не проводити затратне імітаційне комп'ютерне моделювання при дослідженні та проектуванні телекомунікаційних систем.

4. Розроблено метод дослідження властивостей псевдовипадкових кодових послідовностей, наукова новизна якого полягає в тому, що він використовує імітаційне комп'ютерне моделювання суміші корисного сигналу, власних шумів та завади що маскує для перевірки автокореляційних властивостей цих послідовностей. Це надає спроможність дослідити застосування псевдовипадкових кодових послідовностей синтезованих з примітивних поліномів восьмого, дев'ятого та десятого порядків для розширення спектру бітової послідовності з метою приховування корисного сигналу в адитивній суміші власних шумів та завади що маскує.

5. Розроблено метод двостороннього обмежування сигналів на вході стискаючого фільтра ширококутових сигналів, наукова новизна якого полягає

в тому, що він використовується для обмеження псевдовипадкових кодових послідовностей отриманих з примітивних поліномів. Це дозволяє усунути проблеми обмеження динамічного діапазону приймального пристрою при дії потужної ширококугової завади.

6. Розроблено метод створення телекомунікаційного каналу, наукова новизна якого полягає в тому, що він комплексно використовує чотири різні псевдовипадкові кодові послідовності по 256 чипів для розширення спектру бітів корисної інформації та 10 різних псевдовипадкових послідовностей тривалістю 32768 чипів з 128 циклічними зсувами кожна для позначення меж кадру та додаткового скремблювання інформації. Цей метод дозволяє при утворенні 5120 різних триплетів «коротка псевдовипадкова послідовність-тривала псевдовипадкова послідовність-циклічний зсув тривалої псевдовипадкової послідовності» за рахунок переходу від одного триплету до іншого від кадру до кадру значно підвищити захист інформації від перехоплення.

7. Розроблено концепцію побудови системи мобільного зв'язку, наукова новизна якої полягає в тому, що вона застосовує нові принципи побудови такої системи: синергії, універсальності, безперервного розвитку системи та розроблені методи обробки багатопозиційних ширококугових сигналів. Це дозволяє підвищити ефективність мереж мобільного зв'язку що розробляються.

8. Розроблено метод обробки сигналів в мережах мобільного зв'язку з багатопозиційними ширококуговими сигналами, наукова новизна якого полягає в тому, що він застосовує принцип синергії та розроблені методи і моделі. Це дозволяє одночасно забезпечити в системі спеціального мобільного зв'язку прихованість передачі інформації, її захищеність від перехоплення та стійкість до багатопроменевого розповсюдження.

9. Розроблені комп'ютерні експериментальні моделі, наукова новизна яких полягає в тому, що вони ґрунтуються на моделях та методах обробки інформації в мобільних мережах з багатопозиційними ширококуговими сигналами. Це дозволяє перевіряти характеристики нових моделей та методів без виготовлення коштовних натурних зразків.

Підтвердженням наукової новизни отриманих результатів та висновків сформульованих в дисертації виступає відсутність подібних підходів та методів у відкритих джерелах.

Виходячи з наведеного, виконані наукові дослідження і опрацьовані результати призвели до вирішення актуальної наукової проблеми розробки моделей та методів обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних ширококугових сигналів з їх комплексним використанням для підвищення ефективності обробки інформації в таких мережах за принципом синергії.

### **Практичне значення отриманих в роботі результатів**

Розроблена концепція побудови мережі мобільного зв'язку дозволяє на основі нових принципів розробляти перспективні мережі мобільного зв'язку з

застосуванням розроблених моделей та методів обробки інформації в багатопозиційних широкопasmових системах, що значно підвищує їх ефективність.

Отриманий метод обробки сигналів в мережах мобільного зв'язку з багатопозиційними широкопasmовими сигналами дозволяє одночасно забезпечити високу прихованість передачі інформації, її захищеність від перехоплення та стійкість до багатопроменевого розповсюдження в системі спеціального мобільного зв'язку.

Розроблені комп'ютерні експериментальні моделі дозволяють проводити перевірку вже існуючих та нових моделей і методів обробки багатопозиційних широкопasmових сигналів для проведення нових перспективних досліджень.

Розроблений метод створення телекомунікаційного каналу в якому комплексно використовуються чотири різні псевдовипадкові кодові послідовності по 256 чипів для розширення спектру бітів корисної інформації та 10 різних псевдовипадкових послідовностей тривалістю 32768 чипів з 128 циклічними зсувами кожна для позначення меж кадру та додаткового скремблювання інформації дозволяє побудувати завадозахищений та скритний канал для мереж спеціального мобільного зв'язку та телекомунікаційних каналів управління автономними літальними апаратами.

Розроблений метод налаштування адаптивних антенних решіток дозволяє отримати вихідне відношення корисний сигнал/завада, яке відповідає потенційно досяжному в антенній решітці.

Удосконалений метод адаптації антенних решіток в якому пропонується примусове обнуління вагових коефіцієнтів при різкій зміні завадової ситуації дозволяє отримати в певних ситуаціях вигрaш до 8дБ у відношенні корисний сигнал/завада.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами та темами досліджень**

Робота виконана в рамках річних планів наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності Державного університету телекомунікацій. Дослідження проведено в межах науково-дослідних робіт: «Створення сучасної системи радіозв'язку» - шифр «Сакура», замовник – товариство «Автор»; «Розробка функціональних модулів радіочастотних трактів системи мультимедійного радіодоступу на основі діелектричних інтегральних схем діапазону частот 160-180 ГГц».

Впровадження результатів досліджень підтверджуються відповідними актами реалізації від компаній «Автор» та «Дейта Експрес». Результати дисертаційної роботи також використовуються в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій. Питання, розглянуті та розроблені в дисертаційній роботі, відповідають основним завданням та напрямам створення сучасної телекомунікаційної та інформаційної інфраструктури України.

## **Підтвердження повноти викладення результатів дисертації в наукових фахових виданнях**

Наукова новизна є беззаперечною та достатньою для дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Основні положення та зміст дисертації висвітлені в 29 наукових працях, серед яких 6 є одноосібними. З 21 статті, 18 вийшли у фахових виданнях, що входять до переліку затвердженого МОН України та 3 у фахових виданнях віднесених до міжнародної наукометричної бази Scopus. Представлено 8 доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, з них 6 зареєстровані в наукометричній базі Scopus.

## **Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій**

Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків підтверджується ретельним багатостороннім системним аналізом процесів що існують в телекомунікаційних системах та мережах мобільного зв'язку.

При проведенні досліджень використовувалися відомі підходи та методи математичного аналізу і синтезу складних технічних систем, застосовувалися сучасні і класичні методи математичного і функціонального аналізу, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії інформації, сигналів, систем та зв'язку, методи комп'ютерного моделювання. Коректне використання методів досліджень, математичного апарату підтверджується результатами аналітичних доведень через математичні перетворення та комп'ютерне моделювання.

Важливим є той факт, що всі зроблені висновки підтверджуються результатами комп'ютерного моделювання, а самі імітаційні комп'ютерні моделі є добре налаштованими та відкаліброваними.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в галузі телекомунікацій.

## **Зуваження до дисертаційної роботи**

1. В першому розділі непропорційно багато місця приділено аналізу повільних завмирань сигналу, які, як випливає з аналізу, не є важливим фактором, що впливає на стан радіоканалу.

2. В другому розділі не наведено пояснення, чому антенні решітки мають відстань між елементами у півтривалості хвилі. Доцільніше було би також провести дослідження ефективності використання інших відстаней. Можливо, це би надало змогу отримати кращі результати ефективності.

3. Проведений порівняльний аналіз в третьому розділі характеристик псевдовипадкових кодових послідовностей виглядає дещо спрощеним, що знижує певним чином його цінність. Дослідження статистичних характеристик виявлення бітів корисного сигналу було б більш інформативним.

4. В третьому розділі належним чином не описано принципи формування зсувів псевдовипадкової кодової послідовності за допомогою

масок, та не показано яким чином маски можуть швидко змінюватися від кадру до кадру.

5. Метод обробки сигналів в мережах мобільного зв'язку з застосуванням принципу синергії отриманий в четвертому розділі не є достатньо деталізованим, що безумовно знижує можливість його практичної реалізації без додаткових досліджень.

6. У п'ятому розділі не наведено формули для розрахунку характеристик ААР в стаціонарному режимі. Одного посилання на джерело не є достатнім для відповідного сприйняття роботи та перевірки проведених розрахунків.

Вказані недоліки хоча і знижують якість роботи, але не є визначальними при загальній позитивній оцінці дисертаційної роботи, оскільки робота має завершеність, а одержані наукові результати можуть бути впроваджені на практиці.

**Загальні висновки.** В своїй дисертаційній роботі Плющ О.Г. розглянув важливі для розвитку мереж мобільного зв'язку питання. Робота є завершеною науковою працею, в якій отримані нові наукові положення та науково обгрунтовані результати, які разом розв'язують актуальну науково-прикладну проблему розробки моделей та методів обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних широкосмугових сигналів з метою підвищення їх стійкості до середовища розповсюдження, завадозахищеності та скритності передачі інформації.

Проведене наукове дослідження, що міститься в дисертаційній роботі і підкріплене апробацією та відповідними публікаціями, відповідає п.9, 10 та 12 вимог «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор Плющ Олександр Григорович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент, завідувач кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного авіаційного університету доктор технічних наук, доцент

Р.С. Одарченко

«05» квітня 2021 року

Підписано: Одарченко Р.С.  
за свідчую  
Підпис секретаря  
Національного авіаційного університету  
*Лисенко*