

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.861.01  
Державного університету телекомунікацій,  
доктору технічних наук, професору Толубку В.Б.  
03110, м. Київ, вул. Солом'янська,7

Відгук

офіційного опонента, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Самкова Олександра Всеволодовича на дисертацію Плюща Олександра Григоровича «Моделі та методи обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних широкосмугових сигналів», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

#### **Актуальність теми дисертації**

Інформація є одним з найбільш цінних продуктів людської діяльності. Саме виходячи з цього, люди постійно шукають нові засоби створювання та поширення інформації. У питаннях поширення інформації фахівці зосереджують свої зусилля на пошуку нових технологій та методів її передачі.

У галузі індустрії телекомунікацій загалом та в мережах мобільного зв'язку зокрема за останні кілька років спостерігалися різкі інноваційні зміни, які стали можливими та набули поширення за рахунок впровадження технологій мобільного зв'язку четвертого та п'ятого поколінь, які стали відомими в світі як 4G та 5G. Головними напрямками вдосконалення цих мереж мобільного зв'язку є збільшення пропускної здатності, ємності, швидкості передачі інформації та покращення якості послуг. Але водночас слід відмітити, що захисту інформації від перехоплення та підвищенню завадозахищеності мереж приділялася недостатньої уваги. Особливо гостро такі проблеми постають у телекомунікаційних каналах управління безпілотними літальними апаратами.

Поміж усіх практичних засобів поліпшення зазначених характеристик бездротових телекомунікаційних каналів найбільш привабливим є використання широкосмугових сигналів. Розширення спектру сигналу зазвичай виконують через застосування різних кодових послідовностей, особливо тих, що відомі як псевдовипадкові. Взаємно- та автокореляційні властивості зазначених псевдовипадкових кодових послідовностей відіграють вирішальну роль в їхньому застосуванні в широкосмугових телекомунікаційних мережах. Гарні кореляційні характеристики демонструють ті псевдовипадкові кодові послідовності, які синтезуються з примітивних поліномів певного порядку. Вони складають основу систем мобільного зв'язку третього покоління, створених за технологією CDMA. Але в цих телекомунікаційних системах вони використовуються виключно для організації багатоабонентського доступу, тоді

Original IIT No. 5111  
08.04.21

як вивченню застосування зазначених кодових послідовностей для покращення заводо захищеності та скритності передачі інформації в мобільних мережах не приділено достатньої уваги.

Водночас адаптивні антенні решітки (ААР) знаходять все більш широке використання в телекомунікаційних мережах. Головною ціллю використання ААР є підвищення заводо захищеності, збільшення пропускної здатності та поліпшення якості передачі інформації. Існує велика кількість градієнтних алгоритмів налаштування ААР у телекомунікаціях, але майже всі вони потребують формування опорного сигналу. Тому гостро постає проблема синтезу алгоритмів налаштування ААР які не потребують присутності опорного сигналу, або винайдення спроби поєднання технології адаптивної фільтрації в антенних решітках з іншими технологіями, що дало б змогу легко отримувати опорні сигнали для налаштування ААР. Як відомо з літературних джерел, саме технології прямого розширення спектру за допомогою псевдовипадкових кодових послідовностей можуть бути використані для отримання опорних сигналів для налаштування ААР.

Слід зауважити, що під час побудови сучасних мереж мобільного зв'язку використовуються недостатньо опрацьовані концепції, що не дає змогу повною мірою реалізувати можливості існуючих технологій, особливо щодо їх поєднання за принципом синергії.

Виходячи з наведеного, проблема розробки моделей та методів обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних широкосмугових сигналів з метою підвищення їх стійкості до середовища розповсюдження, заводо захищеності та скритності передачі інформації є надзвичайно актуальною та потребує свого вирішення.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Автор добре розуміє специфіку науково прикладної проблеми та коректно формулює її постановку.

Під час проведення досліджень використовувалися відомі підходи та методи математичного аналізу й синтезу складних технічних систем, застосовувалися сучасні й класичні методи, методи математичного і функціонального аналізу, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії інформації, сигналів, систем та зв'язку, методи комп'ютерного моделювання.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері. Необхідно відмітити, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані в роботі, є науково обґрунтовані та всебічно перевірені шляхом математичного моделювання.

### **Достовірність отриманих результатів**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, результатів, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, досягається ретельним багатостороннім аналізом існуючих процесів у сфері телекомунікацій взагалі та в об'єкті досліджень зокрема.

Коректне використання методів досліджень та математичного апарату підтверджується результатами аналітичних висновків за допомогою математичних перетворень, даними комп'ютерного моделювання, а також практичними результатами, які відображено в актах впровадження.

### **Наукова новизна та важливість результатів**

У ході виконання дисертаційної роботи отримано нові наукові положення та результати:

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 дає змогу суттєво спростити технічну реалізацію таких систем;

2. Удосконалено метод адаптації антенних решіток, який, на відміну від існуючих, ураховує раптові зміни в завадовому середовищі, що значно покращує перехідні характеристики решітки і має переваги у відношенні сигналу/завади;

3. Розроблено 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, що дає змогу не проводити затратне імітаційне комп'ютерне моделювання в процесі дослідження та проектування 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 широкосмугових сигналів, наукова новизна якого полягає в тому, що він використовується для обмеження псевдовипадкових кодових послідовностей, отриманих із примітивних поліномів. Це дає змогу усунути проблеми обмеження динамічного діапазону приймального пристрою, в разі дії потужної широкосмугової 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 дає змогу при утворенні 5120 різних триплетів «коротка псевдовипадкова послідовність-

тривала псевдовипадкова послідовність-циклічний зсув тривалої псевдовипадкової послідовності» завдяки 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 розроблено методи обробки багатопозиційних ширококутових сигналів. Це дає змогу підвищити ефективність мереж мобільного зв'язку, що розробляються;

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

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

Отримані моделі та методи формують сукупність підходів до підвищення ефективності мобільних мереж за допомогою їх комплексного використання, що визначено предметом дисертаційних досліджень.

Наукова новизна положень висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується відсутністю аналогічних підходів у відкритих джерелах.

**Аргументування та критичне оцінювання** запропонованих автором рішень порівняно з відомими рішеннями.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних ширококутових сигналів для забезпечення потрібної завадозахищеності, 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.

Для досягнення мети вирішувалися такі наукові задачі:

1. Проведення аналізу характеристик розповсюдження сигналів у мобільному радіоканалі та дослідження факторів, що відповідають за замирання сигналів.

2. Розгляд різних методів захисту інформації від перехоплення та прослуховування в телекомунікаційному каналі та оцінка їхньої достатності для задоволення вимог;

3. Обґрунтування доцільності комплексного використання певних технологій для побудови систем мобільного зв'язку, стійких до змін у середовищі розповсюдження сигналів та таких, що здійснюють ефективний захист інформації;

4. Синтез нових методів обробки сигналів у адаптивних антенних решітках, які є більш зручними для використання в мобільних мережах;

5. Дослідження факторів, що впливають на ефективність перехідних процесів у адаптивних антенних решітках та розробка рекомендацій щодо підвищення їхньої ефективності;

6. Розроблення універсального показника збігання перехідних процесів у адаптивних антенних решітках;

7. Аналіз використання псевдовипадкових кодових послідовностей для забезпечення скритності та захищеності інформації в мобільних мережах та розробка методу їхнього комплексного використання;

8. Розробка концепції побудови мобільних мереж на основі моделей та методів обробки сигналів у багатопозиційних телекомунікаційних системах із широкосмуговими сигналами;

9. Проведення імітаційного комп'ютерного моделювання для підтвердження достовірності отриманих результатів та ефективності розроблених моделей та методів.

### **Практична значимість та важливість для галузі**

Робота виконана в рамках річних планів наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності Державного університету телекомунікацій на 2016-2020 роки. 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».

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

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації** вимогам, затвердженим МОН України.

Дисертаційна робота складається з п'яти розділів, у яких логічно на високому науково-технічному рівні викладено рішення поставленої проблеми дослідження.

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет дослідження, розкрито зв'язок роботи з науковими

програмами, планами, темами досліджень Державного університету телекомунікацій, показано наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію та практичне впровадження результатів, публікації та структуру роботи.

У **першому розділі** роботи проведено аналіз характеристик розповсюдження сигналів у мобільному радіоканалі. Досліджено фактори, що відповідають за повільні та швидкі завмирання та показано, що найбільшу загрозу для радіосигналу створюють швидкі завмирання, обумовлені багатопроблемним розповсюдженням. Приділено увагу таким характеристикам швидких завмирань, як інтервал когерентності та профіль затримки потужності. Розглянуто різні методи захисту інформації від перехоплення та прослуховування в телекомунікаційних каналах.

Проведено аналіз методів протидії швидким завмиранням та захисту інформації і зазначено, що комплексне вирішення цих проблем можливо найкращим чином за комбінованого застосування адаптивних антенних решіток та ширококутових сигналів з прямим розширенням спектру. У розділі уточнено та сформульовано науково-прикладну проблему дослідження, яка полягає в необхідності розробки моделей та методів обробки інформації в мобільних мережах на основі багатопозиційних ширококутових сигналів з їхнім комплексним використанням для підвищення ефективності обробки інформації в таких мережах за принципом синергії. Наголошено, що підвищення ефективності полягає в одночасному забезпеченні стійкості до багатопроблемного розповсюдження, завадозахищеності, скритності передачі інформації та захисту її від перехоплення.

**Другий розділ присвячено** дослідженню методів обробки сигналів у адаптивних антенних решітках для мобільних мереж. Синтезовано метод налаштування адаптивної антенної решітки, який не потребує наявності опорного сигналу решітки. Перевірено працездатність методу та досліджено його характеристики в реальному телекомунікаційному середовищі за використання схем ШАРП та жорсткого обмежувача. Вивчено вплив власних чисел та власних векторів кореляційної матриці антенної решітки на перехідні процеси в градієнтних алгоритмах найкорішого спуску. З урахуванням наведеного удосконалено метод адаптації антенних решіток, в якому пропонується примусове обнуління вагових коефіцієнтів за різкої зміни завадової ситуації. Розроблено універсальний інтегральний показник оцінки характеристик налаштування адаптивних антенних решіток. Доведено, що цей показник коректно передбачає поведінку перехідних процесів у адаптивних антенних решітках з градієнтними алгоритмами адаптації.

У **третьому розділі** проведено дослідження використання псевдовипадкових кодових послідовностей для підвищення завадозахищеності та скритності передачі інформації. Перевірено автокореляційні властивості псевдовипадкових кодових послідовностей, синтезованих з примітивних поліномів восьмого, дев'ятого та десятого порядків. Зроблено висновок про доцільність використання таких послідовностей для приховування корисного

сигналу для втасмничення самого факту передачі інформації. Досліджено можливість застосування двостороннього обмежувача сигналів на вході стискаючого фільтра в разі використання наведених вище псевдовипадкових кодових послідовностей для усунення проблеми обмеження динамічного діапазону приймального пристрою при дії потужної широкосмугової завади. Розроблено 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. Досліджено характеристики розробленого каналу.

У **четвертому розділі** проведено дослідження динаміки розвитку поколінь мобільного зв'язку та виявлено проблеми з існуванням певної концепції побудови системи мобільного зв'язку та з її досконалістю і коректністю реалізації. Розроблено концепцію побудови системи мобільного зв'язку, яка усуває недоліки, присутні підчас розробки існуючих мереж мобільного зв'язку. Відмінністю концепції від існуючих є застосування нових принципів побудови такої системи, таких як принципи синергії, універсальності, безперервного розвитку системи, загального блага та інші. Використовуючи синтезовану концепцію та закладені в неї принципи, отримано метод обробки сигналів у мережах мобільного зв'язку з багатопозиційними широкосмуговими сигналами. Зазначено, що в цьому методі передбачається використовувати розроблені в роботі моделі та методи обробки сигналів у адаптивних антенних решітках та розширення спектру за допомогою досліджених псевдовипадкових кодових послідовностей.

**П'ятий розділ** присвячено розробці комп'ютерних експериментальних моделей, які дають змогу проводити перевірку вже існуючих та нових методів та алгоритмів обробки багатопозиційних широкосмугових сигналів. Проведено тестування цих моделей у простих ситуаціях із наочним фізичним тлумаченням, яке продемонструвало їхню ефективність та адекватність закладеним умовам.

**Висновки** дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність розробок.

**Оцінка мови та стилю викладання** дисертації та автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано формулювати думки. Усі розділи роботи мають єдність та завершеність. Змістове наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації повністю співпадають із метою та науковими завданнями, сформульованими у вступі. У цілому дисертаційна робота сприймається як закінчена наукова праця, що містить наукові результати.

**Підтвердження повноти викладу результатів дисертації в наукових фахових виданнях.** Наукова новизна є безсумнівною та достатньою для дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Основні положення та зміст дисертації оприлюднено в 29 наукових працях, серед яких 6 одноосібних. Із 21 статті 18 вийшли у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого ДАК МОН України та 3 - у фахових виданнях, віднесених до міжнародних наукометричних баз (Scopus). Зроблено 8 доповідей на міжнародних наукових конференціях, з яких 6 обліковано в наукометричній базі Scopus.

### **Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації**

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації та дає повне уявлення про отримані автором основні результати досліджень, їх новизну та практичну значимість.

### **Недоліки:**

1. У вступі та першому розділі роботи згадується термін «спеціальні мережі мобільного зв'язку», але жодного разу за текстом не наведено пояснення або розкриття цього терміну.

2. У другому розділі було б бажано навести порівняльний аналіз різних критеріїв оптимізації обробки сигналів у адаптивних антенних решітках та показати їхній взаємний зв'язок.

3. У третьому розділі не обґрунтовано вибір рівня жорсткого обмеження підчас перевірки узгодження динамічних діапазонів вхідної суміші сигналів та приймального пристрою.

4. Наведена в четвертому розділі концепція побудови мобільних мереж розкрита достатньо стисло - було б бажано її розширити.

5. У п'ятому розділі було б доцільно навести формули для обрахування характеристик адаптивної антенної решітки в сталому режимі, а не обмежуватися простим посиланням на літературні джерела.

6. При удосконаленні методу адаптації антенних решіток, який, на відміну від існуючих, враховує раптові зміни в завадовому середовищі, потрібно було б більш детальніше описати, за яким само критерієм приймається рішення про обнуління вагових коефіцієнтів решітки.

7. Дисертація має певні неточності та недоліки редакторського характеру. В авторефераті присутні деякі граматичні та синтаксичні помилки, не надано пояснення деяким скороченням на рисунках та в тексті, хоча в роботі вони наведені.

Приведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку та цінність дисертаційної роботи, так як вона має завершеність, а положення, висновки та рекомендації є науково обґрунтованими.

### **Висновок**



Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дає змогу стверджувати, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, являє собою логічно завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані результати, які в сукупності є вирішенням науково-прикладної проблеми, відповідає паспорту спеціальності та вимогам 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» до докторських дисертацій, а здобувач Плющ Олександр Григорович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
заступник директора Інституту електродинаміки  
Національної академії наук України



  
О.В. Самков