

## ВІДГУК

офіційного опонента – директора навчально-наукового інституту телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій МОН України, доктора технічних наук, професора Козелкова Сергія Вікторовича на дисертацію Москальця Миколи Вадимовича на тему: «Методи просторово-часового доступу у перспективних системах мобільного зв'язку», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

### Актуальність

Дисертаційна робота Москальця М.В. присвячена розв'язанню важливої для науки і практики науково-прикладної проблеми, яка полягає в розробці сукупності науково-технічних рішень щодо впровадження методів просторово-часового доступу в сучасних і перспективних системах мобільного зв'язку з метою підвищення ефективності доступу абонентів до ресурсів каналу за ймовірностними і часовими показниками.

Тематика дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з положеннями Закону України «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки», Закону України «Про телекомунікації», відповідно з пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки в межах Державної науково-технічної програми «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій», положеннями «Концепції національної програми інформатизації», планами наукової, науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки.

За останнє десятиріччя спостерігається стрімкий розвиток інфокомунікаційної сфери в цілому і технологій мобільного зв'язку зокрема.

Головною рушійною силою цього розвитку є потреба у наданні абонентам доступу до широкого спектру інфокомунікаційних послуг і сервісів незалежно від їх місця знаходження і швидкості їх пересування відповідно до концепції «бути на зв'язку завжди і скрізь». Дані тенденції обумовлюють підвищення вимог до існуючих мереж мобільного зв'язку.

Найважливішими умовами успішного впровадження перспективних систем мобільного зв'язку є необхідність реформування радіочастотного спектра, що використовується на основі процедур його перепланування та вивільнення поряд з використанням методів підвищення спектральної ефективності у вже використовуваних діапазонах частот і в ході освоєння нових. Беручи до уваги обмежені можливості виділення радіочастотного ресурсу для систем мобільного зв'язку важливим резервом для подолання дефіциту фізичного ресурсу залишаються просторово-часові і просторово-поляризаційні фізичні параметри, які здатні забезпечити найбільш повну реалізацію наявних просторового та частотного ресурсів. Багатьма авторами наукової спільноти у світі було відзначено, що саме просторово-часові методи є значним і ємним резервом що дозволяє забезпечувати збільшення

**ХНУРЕ**  
Вхідний № 01/27-544  
"31" 05 2018 р.



зони обслуговування базової станції, підвищення показників ефективності каналів зв'язку і їх завадостійкості, економії радіочастотного спектру, продуктивності мережі в цілому.

Викликана практикою необхідність використання обмеженого фізичного ресурсу великою кількістю абонентів визначає величезний інтерес і актуальність досліджень в області розробки і аналізу методології науково-технічних рішень щодо впровадження методів просторово-часового доступу з метою підвищення ефективності множинного багатостанційного доступу в мобільних системах зв'язку.

Важливо зазначити, що дисертаційна робота виконувалась в рамках державних програм досліджень за бюджетним фінансуванням, проведених в Харківському національному університеті радіоелектроніки, що підтверджує значущість та актуальність роботи.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Для впровадження паралельного множинного багатостанційного доступу в системах мобільного зв'язку автором запропоновано використання методів на базі теорії адаптивних антенних решіток з індивідуальної адаптивної просторово-часової обробки кожного із обслуговуваних викличних сигналів абонентських станцій водночас із заглушенням сторонніх випромінювань. Для реалізації цього рішення автором запропоновані відповідні заходи, методи та алгоритми які забезпечують можливість надання послуги без зміни ведення режиму зв'язку для чого були використані ефективні методи обробки сигналів виклику за мінімальний період часу необхідний для досягнення сталого режиму адаптивної процедури просторово-часового доступу.

Автор вказує на те, що просторово-часовий доступ в безпроводових системах може бути реалізований на існуючій технічній та технологічній базі паралельно та незалежно від інших використовуваних методів, що є результатом залучення додаткового ресурсного набору просторово-часових параметрів. Ефективність запропонованих методів обґрунтована незмінністю основних алгоритмів функціонування мобільної мережі, що дає підставу для їх впровадження не тільки в перспективні, але і в існуючі системи мобільного зв'язку не змінюючи інфраструктуру мережевого обладнання.

Втілення запропонованих методів просторово-часового доступу забезпечує як надійність самого доступу, але що особливо важливе – збільшення продуктивності доступу за рахунок повторного використання частот, поліпшення сигнально-завадової обстановки, що в цілому підвищить якість надання послуг мобільного зв'язку.

Автором обґрунтовується, що існуюче рішення задачі виявлення в сучасних технологіях мобільного зв'язку (LTE), прийом яких здійснюється в загальному спектрі по широкому променю діаграми спрямованості антени не задовольняє вимогам по часу виявлення при впровадженні методів



просторово-часового доступу. В результаті всебічного аналізу методів виявлення сигналів у безпроводових системах зв'язку з метою пришвидшеного виявлення сигналів запиту абонентських станцій для систем мобільного зв'язку автором запропоновано метод виявлення на основі енергетичного виявляча, заснованого на використанні Q-функцій Маркума, якій в силу своєї простоти і універсальності застосовується в каналах із завмираннями для виявлення детермінованих сигналів відомої структури, сумісно з процедурою оптимального прийому  $k$  сигналів з  $m$  переданих, що дало змогу для скорочення початкової стадії процедури виявлення.

При розробці науково-технічних рішень щодо впровадження просторово-часового доступу спільно з виявленням викличних сигналів абонентських станцій автором вирішуються задачі визначення числа станцій, що здійснюють запит, визначення напрямку приходу викличного сигналу і задачі адаптивної просторової обробки сигналів, що в сукупності інтерпретується власне як задача просторово-часового доступу.

В роботі, на основі аналізу складності, недоліків та переваг різних методів визначення напрямку приходу сигналів абонентських станцій автором обґрунтовані умови вибору методу на основі отриманих оцінок якості методів при різній сигнально-завадовій обстановки і конфігурації антенної решітки, що дозволяє в реальному масштабі часу отримати дані, щодо напрямку приходу сукупності багатьох сигналів абонентських станцій, які здійснили запит і в подальшому використовувати ці дані в алгоритмах адаптивної просторово-часової обробки.

На основі проведеного аналізу методів просторово-часової обробки сигналів в антенних решітках і процедур, що враховують різні обмеження, автор показав, що більш конструктивним для використання в задачах просторово-часового доступу є рекурсивні процедури реалізації просторово-часової обробки сигналів. Це дозволило здійснювати корекцію вектора вагових коефіцієнтів у реальному масштабі часу, що особливо важливо для зв'язку з рухомими абонентами.

Автор провів аналіз ефективності рекурсивних процедур і показав, що саму задачу просторово-часового доступу необхідно завершити до моменту надання послуг абонентській станції за 2-5 сек. для чого пропонується використання процедури Калмана-Б'юси, яка орієнтована на більш динамічну сигнально-завадову обстановку час збіжності якої складає від 7 до 10 кроків дискретизації.

Проведений автором докладний аналіз якості просторово-часового доступу за показниками завадозахисту при прийомі сигналу виклику абонентської станції від рівнів придушення інших випромінювань показав що ці рівні теоретично можуть досягати значних величин 40-60 дБ, а якість обробки зростає пропорційно числу антенних елементів. Однак при будь-якому числі антенних елементів характерно зниження всіх коефіцієнтів ефективності з наближенням напрямку приходу завади до сигналу, що можна інтерпретувати як «засліплення» антенної решітки.



Ефективність методів просторово-часового доступу безпосередньо визначається якістю алгоритмів просторово-часової обробки за критеріями мінімуму середньоквадратичного відхилення (МСКВ), максимального відношення сигнал/завада (МВСЗ) і ін.. Автором запропонована методика аналізу реалізаційних обмежень при використанні процедури просторово-часового доступу, що враховує помилки початкових даних щодо сигнально-завадової обстановки, взаємний вплив між антенними елементами, характеристики алгоритмів обробки сигналів (МСКВ, МВСЗ та ін.), багатопроменевість, широкосмуговість і просторову когерентність сигналів та завад.

Ряд з цих дестабілізуючих чинників слід враховувати при аналізі, вплив інших вдається мінімізувати за рахунок різних компенсаційних методів. Для компенсації втрат багатопроменевості автором у роботі запропоновано використання процедури ітеративної еквалізації і оцінки багатопроменевого каналу у частотній області, що при прийомі OFDM сигналів підвищує відношення регулярної та флуктуаційної компонент та збільшує інтервал кореляції.

Проведено аналіз граничних значень коефіцієнта просторової кореляції. Показані умови впливу коефіцієнта просторової кореляції на швидкість збіжності процесу адаптації алгоритмів управління антенної решітки. Автором показано, що збільшення швидкості збіжності процесу адаптації алгоритмів управління адаптивної антенної решітки на основі даних про напрямки приходу сигналів на початковій стадії забезпечує необхідну якість алгоритму просторово-часового доступу, незважаючи на наявність втрат, викликаних вказаними обмеженнями.

В роботі автор відзначає, що при поляризаційно-часової обробки сигналів абонентських станцій можуть бути використані алгоритми, аналогічні просторово-часової обробки, а спільне їх використання приводить до зростання можливостей просторово-часового доступу.

На основі проведеного аналізу ефективності процедур просторово-часового доступу і обробки сигналів показано, що при близьких по азимуту прийому сигналів абонентських станцій або при збігу цих азимутів виникає ефект "засліплення" антенної решітки. Подолання даного ефекту автором запропоновано метод комплексного використання просторово-часового і ймовірнісного конкурентного доступу. Показано, що в межах однієї смуги просторових частот можна використати  $N$  частотно-часових сигналів що в потенціалі можна одержати  $N_{чч} \times N_{пч}$  каналів доступу при цьому ймовірність колізій зменшується в  $N$  разів, де  $N$ -число незалежних променів антенної решітки і дозволяє зменшити часові втрати, пов'язані з кратністю вирішення колізій.

Високу ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в роботі показано завдяки послідовній викладці результатів досліджень у кожному розділі. Обґрунтованість отриманих автором наукових результатів також базується на тому, що вони не суперечать



сучасним фізичним уявленням про процеси в системах мобільного зв'язку та даним ретельного аналізу використаної наукової і науково-технічної літератури.

**Достовірність отриманих результатів** підтверджується коректним використанням відомих і перевірених методів: електродинаміки, аналізу та синтезу антен, оптимізації, математичної статистики, а також теорій: систем, ймовірності, випадкових процесів і моделей конкурентних видів множинного абонентського доступу та математичного моделювання й наявністю результатів імітаційного моделювання для підтвердження отриманих теоретичних результатів про ефективність впровадження методів просторово-часового доступу у системи мобільного зв'язку.

### **Наукове значення.**

Дисертація має важливе наукове значення, яке полягає в тому, що за рахунок розробки методології науково-технічних рішень, щодо впровадження методів просторово-часового множинного доступу з адаптивною обробкою сигналів для систем мобільного зв'язку особливо в умовах динамічної зміни сигнально-завадової обстановки підвищується ефективність множинного доступу за часовими та ймовірнісними показниками.

Інваріантність запропонованих автором методів щодо існуючих технічних рішень в системах мобільного зв'язку дає можливість для вирішення низки загальносистемних задач, що спрямовані на підвищення продуктивності мережі, заощадженні радіочасотного ресурсу та забезпеченні більш високої завадозахищеності радіоканалів.

**Практична значимість** дисертаційного дослідження полягає в тому, що отримані в роботі результати вдало поєднуються з вже існуючими технологіями мобільного зв'язку, підвищують надійність самого доступу, забезпечать збільшення продуктивності доступу за рахунок повторного використання частот, поліпшать сигнально-завадову обстановку, що в цілому підвищить якість надання послуг мобільним абонентам без зміни ведення режиму зв'язку, подальше широке використання, підвищення якісних показників мобільних систем в цілому.

### **Повнота викладення здобувачем основних результатів.**

Матеріали дисертаційної роботи викладено в 49 публікаціях, зокрема, у 27 статтях, з них 12 статей у міжнародних виданнях, 22 тезах доповідей на наукових, науково-практичних конференціях, державного і міжнародного рівнів 5 з яких проходили під егідою IEEE і викладені у базі IEEE Xplore, 5 у базі Scopus.

Отже, слід вважати викладення здобувачем основних результатів повним.



## Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату.

Обсяг дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт технічних галузей знань. Дисертаційну роботу написано грамотно, на доброму стилістичному рівні. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Дисертація оформлена акуратно.

**Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи**, написаний грамотно та з використанням сучасної наукової термінології. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату в цілому відповідає вимогам до оформлення дисертації та автореферату МОН України

**Дисертація має ряд недоліків та зауважень, до числа яких слід віднести:**

1. За змістовними ознаками розділи 2 і 3 доцільно було б поєднати.
2. Не достатньо обґрунтованим в роботі є аналіз децентралізованих методів доступу за технологіями пірингових мереж в аспекті впровадження методів просторово-часового доступу.
3. При розробці науково-технічних рішень просторово-часового доступу і адаптивної індивідуальної просторово-часової обробки викличних сигналів автор дисертації не вказує на основі яких методів здійснюється управління антенною решіткою.
4. При розробці методики урахування реалізаційних обмежень при синтезі процедури просторово-часового доступу не враховується нелінійні динамічні характеристики роботи антенної решітки.
5. Достатньо детально розглянуті переваги та недоліки методу множинного випадкового доступу з подвійною експоненціальною відстрочкою ВЕВ, але немає порівняльної характеристики з іншими методами доступу.
6. В роботі не проведено аналіз ефективності рекурсивних алгоритмів адаптивних антенних решіток при стрибкоподібній зміні частоти, що використовується в системах мобільного зв'язку.
7. При розробці просторово-часового доступу автор не проводить порівняльний аналіз даного методу доступу з вже існуючими методами, такими як кодовий, часовий, частотний.

Вказані вище зауваження носять методичний та технічний характер і не зменшують наукову та практичну цінність результатів роботи.

**Висновки та загальна оцінка роботи.** У цілому, дисертаційна робота Москальця Микола Вадимовича на тему «Методи просторово-часового доступу у перспективних системах мобільного зв'язку» є завершеною науковою роботою, в якій поставлена та вирішена актуальна для науки і практики науково-прикладна проблема, яка полягає у в підвищенні ефективності множинного доступу у системах мобільного зв'язку за рахунок розробки методології системних науково-технічних рішень, щодо впровадження методів просторово-часового доступу при забезпеченні заданої якості надання послуг і незмінності основних алгоритмів функціонування мобільної мережі.

За змістом, обсягом, апробаціями, публікаціями та іншими показниками дисертація відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України згідно «Порядку присудження наукових ступенів», які пред'являються до докторських дисертацій.

Автор роботи Москалець М.В. заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи і мережі.

Офіційний опонент  
директор навчально-наукового інституту телекомунікацій  
та інформатизації Державного університету телекомунікацій  
МОН України,  
доктор технічних наук, професор



С.В. Козелков

Підпис Козелкова Сергія Вікторовича засвідчую

Учений секретар

Державного університету телекомунікацій



« 12 » 05 2018 р.

О.В. Попов