

Харківський національний університет радіоелектроніки

Ікрам КАДІР Абдуллах

УДК 621.37.01; 621.391; 621.396.49; 621.372.007

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ СИСТЕМ  
РАДІОДОСТУПУ З ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ОРТОГОНАЛЬНИМИ АНТЕНАМИ

Спеціальність: 05.12.02 - "Телекомунікаційні системи та мережі"

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2013

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність.** Системи радіодоступу з МІМО поляризаційно-ортогональними антенами володіють рядом переваг - менша чутливість до умов багатопроменевої інтерференції, можливість забезпечення кращої якості передачі, можливість підвищення пропускної спроможності, збільшення зони покриття і т.д. Відомими є системи радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами для підвищення пропускної спроможності. У таких системах поляризаційні параметри антен вважаються заданими при збігу вісі антени з напрямком на користувача. При інших напрямках вважається, що поляризаційні параметри антени змінюються несуттєво в межах сектору доступу базової станції чи локальної точки доступу. Часто вважається достатнім пред'явити вимоги лише до розв'язки по поляризації поляризаційно-ортогональних антен лише у напрямку вісі антени. Однак при цьому виявляється, що при відхиленні від вісі антени розв'язка по поляризації може істотно погіршитися, що обмежить пропускну здатність такої системи в цілому. Практика застосування скануючих фазованих антенних решіток показує, що існує необхідність використання керованої поляризації при вирішенні широкого ряду завдань. Очевидно, що допущення про несуттєві спотворення характеристик поляризаційно-ортогональних антен, в тому числі й скануючих, в широкому секторі обслуговування вже будуть некоректними. До того ж, вплив поляризаційних характеристик антен на пропускну спроможність системи радіодоступу вивчено недостатньо. Тому, розробка методів підвищення пропускної спроможності системи радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами шляхом обліку та часткової компенсації спотворень поляризаційних параметрів радіохвиль є актуальною науковою задачею.

Представлений напрямок досліджень узгоджується з державними програмами, що пов'язані з положеннями "Концепції розвитку зв'язку України" та "Концепції конвергенції телефонних мереж та мереж з пакетною комутацією в Україні".

Таким чином, тема дисертаційної роботи, що полягає в підвищенні пропускної здатності систем радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами за рахунок компенсації поляризаційних спотворень антен та покращення розв'язки каналів за поляризацією, є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційні дослідження пов'язані з положеннями "Концепції розвитку зв'язку України" та "Концепції конвергенції телефонних мереж та мереж з пакетною комутацією в Україні". Матеріали дисертації знайшли застосування в науково-дослідних роботах. Зокрема в роботі №1261-1 "Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління" (№ держреєстрації 0111U002627), яка виконувалась кафедрою телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки. У вказаній науково-дослідній роботі дисертант був виконавцем.

*Мета і завдання дослідження.* Метою дисертаційної роботи є підвищення пропускної здатності систем радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами за рахунок компенсації поляризаційних спотворень антен та покращення розв'язки каналів за поляризацією.

*Завданнями досліджень є:*

аналіз поляризаційних характеристик антен методами експерименту і математичного моделювання;

аналіз пропускної здатності систем радіодоступу на основі врахування поляризаційних спотворень антен в секторі обслуговування;

дослідження методу підвищення пропускної здатності системи радіодоступу на основі компенсації поляризаційних спотворень антен в секторі обслуговування на основі математичного моделювання і експерименту;

дослідження методу підвищення пропускної здатності системи радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами на основі компенсації спотворень поляризаційно-ортогональних антен точки доступу і абонента;

розробка пропозицій використання поляризаційно-ортогональних антен для підвищення пропускної здатності системи радіодоступу.

*Об'єктом досліджень* дисертаційної роботи є процес поширення радіосигналів систем радіодоступу та спотворення їх поляризаційних параметрів.

*Предметом досліджень* дисертаційної роботи є методи підвищення пропускної здатності систем радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами.

*Методи досліджень* базуються на основних положеннях радіофізики, теорії електров'язку, системного аналізу, математичної статистики, теорії ймовірностей, теорії оцінювання та управління, методах поляризаційно-часової обробки сигналів, математичного моделювання, імітаційного експерименту. Кількісні оцінки пропускної здатності проводилися за допомогою розрахунків і моделювання на ЕОМ.

**Наукова новизна одержаних результатів** досліджень полягає в наступному.

1. Удосконалена методика аналізу пропускної здатності систем радіодоступу на основі врахування поляризаційних спотворень антен в секторі обслуговування. Новизна полягає в отриманні аналітичних залежностей пропускної здатності від поляризаційних спотворень антен. Це дозволяє проводити дослідження можливості підвищення пропускної здатності системи завдяки врахуванню поляризаційних спотворень типових антен. Методика заснована на результатах експерименту та математичного моделювання поляризаційних характеристик антен [1, 2].

2. Отримав подальший розвиток метод підвищення пропускної здатності систем радіодоступу. Новизна полягає в компенсації поляризаційних спотворень антени точки доступу в секторі обслуговування в напрямку абонента. Метод засновано на інформації про поляризаційні

характеристики антени, відносний напрямок на абонента та на використанні поляризаційно-ортогональних антен з керованою поляризацією. Метод забезпечує підвищення пропускної здатності системи завдяки покращенню відповідності поляризаційних параметрів антен точки доступу та абонента [3, 4].

3. Удосконалено метод підвищення пропускної здатності систем радіодоступу МІМО з поляризаційно-ортогональними антенами. Новизна полягає в компенсації поляризаційних спотворень кожною з поляризаційно-ортогональних антен, як точки доступу, так й абонента. Метод засновано на використанні інформації про поляризаційні характеристики антен, інформації про відносні напрямки точки доступу та абонента, а також на використанні антен з керованою поляризацією. Метод забезпечує підвищення пропускної здатності системи завдяки покращенню розв'язки по поляризації поляризаційно-ортогональних антен двох каналів [5].

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані наукові результати мають практичну значимість, оскільки вони орієнтовані на подальше втілення в реальні системи зв'язку, зокрема, в дисертаційному дослідженні запропоновано:

методику аналізу пропускної здатності систем радіодоступу, що дозволить виявити особливості впливу поляризаційних спотворень антен на пропускну спроможність та вдосконалити систему доступу;

запропоновані методи підвищення пропускної здатності можуть бути використані при модернізації та проектуванні нових систем радіодоступу, про що свідчить відповідний акт про впровадження.

Підтвердженням являються відповідні акти про впровадження, які є в додатку до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Конкретний внесок в статті за тематикою дисертаційних досліджень, які написані в співавторстві, полягає в наступному.

У роботі [1] автору належить аналіз проблем використання поляризаційно-ортогональних антен системи МІМО в бездротових мережах мобільного доступу WiMAX і в локальних бездротових мережах стандарту IEEE 802.11n.

У роботі [2] автору належить аналіз особливостей впливу ступеня поляризації сигналу на поляризаційний коефіцієнт прийому, ймовірність помилки прийому і пропускну здатність системи, а також розробка основних пропозицій щодо використання поляризаційно-ортогональних антен системи МІМО для підвищення пропускної здатності.

У роботі [3] автору належить проведення аналізу ефективності використання поляризаційно-ортогональних антен системи МІМО для підвищення пропускної здатності системи бездротового доступу.

У роботі [4] автор розробив методику аналізу пропускної здатності системи радіодоступу на основі врахування поляризаційних спотворень антен.

У роботі [5] автору належить оцінка пропускну́ї здатності системи радіодоступу системи МІМО методом математичного моделювання.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень доповідались та обговорювались на 5 конференціях [6-10], причому, три з них є міжнародними.

**Публікації.** Основні результати роботи, опубліковані в п'яти наукових статтях, в п'яти тезах конференцій, в одному звіту про НДР.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи, висновки, додаток. Загальний обсяг дисертації 146 сторінок, 96 ілюстрації, 3 таблиці, 123 використаних джерел, 1 сторінка додатку.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано ціль і питання досліджень, а також дана коротка характеристика дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено огляд особливостей використання поляризаційно-ортогональних антен систем радіодоступу. Розглянуто особливості таких систем радіодоступу, як локальної системи (LAN) стандартів Wi-Fi та міської (MAN) стандарту WiMAX. Проведено огляд основних характеристик поляризаційно-ортогональних антен та особливостей застосування систем МІМО з поляризаційно-ортогональними антенами.

В результаті проведеного огляду зроблено наступні висновки: сучасні стандарти IEEE 802.11 і IEEE 802.16 припускають можливість використання як фазованих антенних решіток точки доступу, так і малогабаритних антен користувача; системи МІМО можуть бути побудовані на основі використання поляризаційно-ортогональних антен; використання систем МІМО в радіозв'язку дозволяє збільшити швидкість передачі даних багатьма методами, в тому числі і за допомогою поляризаційно-ортогональних антен, коли втрати енергії прийнятого сигналу можуть зменшитися; використання поляризаційно-ортогональних антен системи МІМО може забезпечити підвищення пропускну́ї спроможності й радіусу покриття в цілому, однак платою за позитивний ефект є ускладнення алгоритмів обробки та вимог до конструкції антен; дослідження можливості обліку та компенсації поляризаційних спотворень радіохвиль системи радіодоступу в межах діаграми спрямованості антен або сектору доступу для зменшення поляризаційних втрат є недостатніми, оскільки розв'язка по поляризації антен на практиці нормується тільки уздовж вісі антени. В кінці розділу сформульовано постановку завдань досліджень.

Другий розділ містить аналіз поляризаційних характеристик типових антен системи радіозв'язку, результати експериментальних досліджень та математичного моделювання, а також удосконалену методикау аналізу пропускну́ї здатності систем радіодоступу на основі врахування поляризаційних спотворень антен в секторі обслуговування.

У загальному випадку вважаємо, що взаємні положення антени точки доступу та абонента можуть бути довільними в межах сектору обслуговування (Рис. 1).

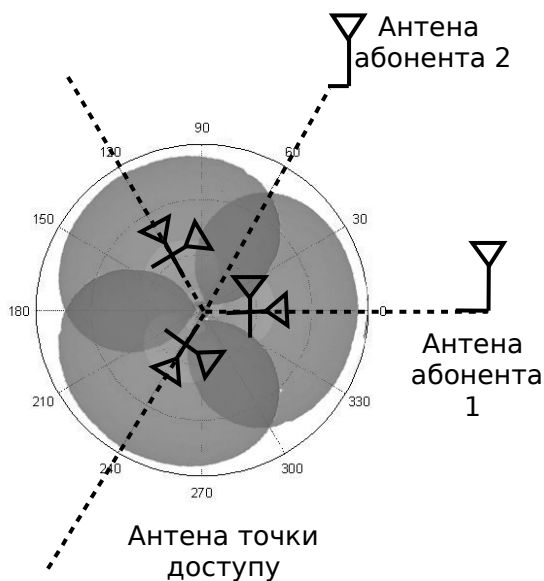


Рис. 1. Взаємні положення антен точки доступу та абонентів

Наприклад, абонент 1 знаходиться у напрямку максимуму діаграми спрямованості антени точки доступу в горизонтальній площині, а абонент 2 - на межі сектору. Тому слід вважати, що поляризаційні спотворення у другому випадку будуть більшими.

Поляризаційні спотворення антени є відхиленням її поляризаційних параметрів від заданих. Поляризаційними параметрами антени, як і сигналів, вважають параметри еліпса поляризації, такі як кут еліптичності  $\alpha$  та кут орієнтації  $\beta$ . Сукупність залежності поляризаційних параметрів антени від просторових кутів складають поляризаційні характеристики антени. Розузгодження поляризаційних параметрів сигналу та антени призводить до поляризаційних втрат. Поляризаційні втрати характеризуються поляризаційним коефіцієнтом прийому

$$\gamma_{\text{п}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{смакс}}}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{с}}$  - потужність прийнятого сигналу, що надходить на вхід приймача;  $P_{\text{смакс}}$  - максимальна потужність прийнятого сигналу при точному узгодженні поляризаційних характеристик падаючої хвилі і приймальної антени.

Зв'язок  $\gamma_{\text{п}}$  з поляризаційними параметрами антени та сигналу (радіохвилі) можна розрахувати за допомогою наступної формули

$$\gamma_{\text{п}} = \frac{1}{2} \left[ 1 \pm \frac{4k_c k_a}{(1+k_c^2)(1+k_a^2)} + \frac{(1-k_c^2)(1-k_a^2)}{(1+k_c^2)(1+k_a^2)} \cos 2\beta \right], \quad (2)$$

де  $k_c$  та  $k_a$  – коефіцієнти еліптичності сигналу та антени;  $\beta = \beta_c - \beta_a$  – кут між великою піввіссю поляризаційного еліпса антени та сигналу.

Двовимірна функція поляризаційного прийому в залежності від кутів еліптичності сигналу  $\alpha_c$  та антени  $\alpha_a$  наведена на рис. 2.

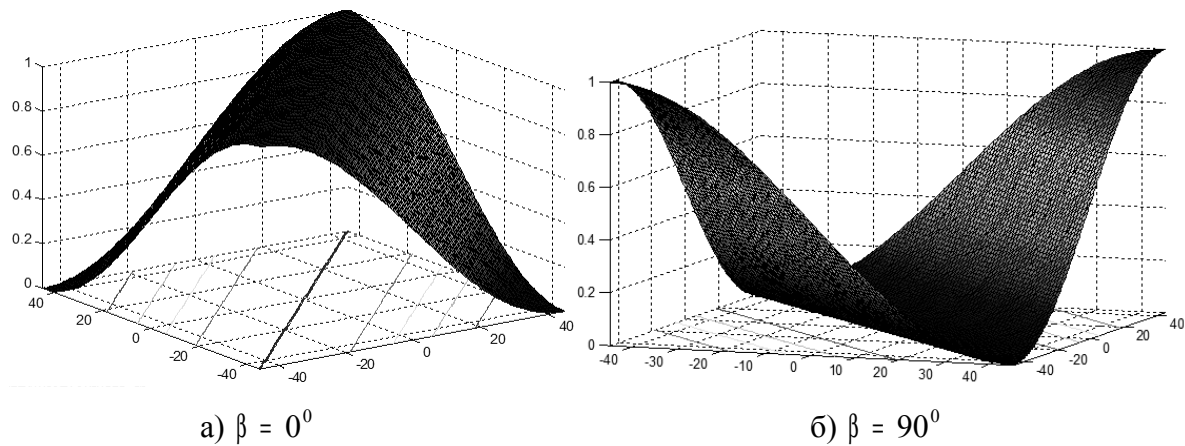


Рис. 2. Функція поляризаційного прийому (вісь  $\alpha_a$  - вліво; вісь  $\alpha_c$  - вправо)

Замітимо, що за умови  $k_c = k_a$  або  $\alpha_c = \alpha_a$  та  $\beta = 0^{\circ}$  (рис. 2а) маємо повне спів-падання поляризаційних параметрів сигналу та антени, коли  $\gamma_{\text{п}} = 1$ , що свідчить про відсутність поляризаційних втрат. А коли  $\alpha_c = -\alpha_a$  та  $\beta = 90^{\circ}$  (рис. 2б) маємо максимальні розугодження поляризаційних параметрів, при цьому  $\gamma_{\text{п}} = 0$ . За таких умов маємо максимальні поляризаційні втрати. Розрахунки показують, що поляризаційні втрати досягають величини до  $\gamma_{\text{п}} = 10$  дБ за суттєвих поляризаційних розбіжностей, коли різниці за кутами еліптичності та орієнтації поляризаційних еліпсів сигналу та антени сягають величини  $85^{\circ}$ .

Для практики антен каналів радіозв'язку важливими є дослідження поляризаційних втрат при прийманні на антену лінійної поляризації, коли  $\alpha_a = 0$  та  $\beta_a = 0^{\circ}$ , а поляризаційні втрати пов'язані зі спотвореннями передавальної антени та особливостями розповсюдження радіохвиль. Двовимірна функція поляризаційного коефіцієнту прийому сигналу антенною лінійної поляризації представлена на рис. 3, причому, показано вісь  $\beta_c$  - вліво, а вісь  $\alpha_c$  - вправо. За умови спів-падіння поляризаційних параметрів сигналу та антени  $\alpha_c = \alpha_a = 0$  та  $\beta_c = \beta_a = 0^{\circ}$  маємо  $\gamma_{\text{п}} = 1$ , а

коли  $\alpha_c = \pm 45^\circ$  поляризаційний коефіцієнт прийому буде  $\gamma_n = 0,5$ . Якщо ж поляризаційні відмінності сигналу та антени лінійної поляризації не перевищують  $\alpha_a - \alpha_c = \pm 25^\circ$  за кутами еліптичності та  $\beta_a - \beta_c = \pm 50^\circ$  за кутами орієнтації, максимальні поляризаційні втрати не перевищують  $\gamma_n = 4$  дБ (Рис.4).

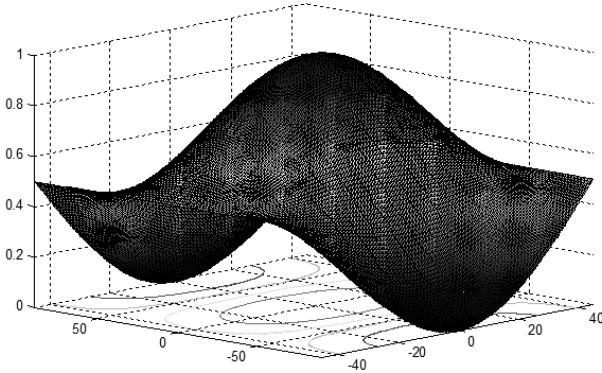


Рис. 3. Поляризаційний коефіцієнт прийому

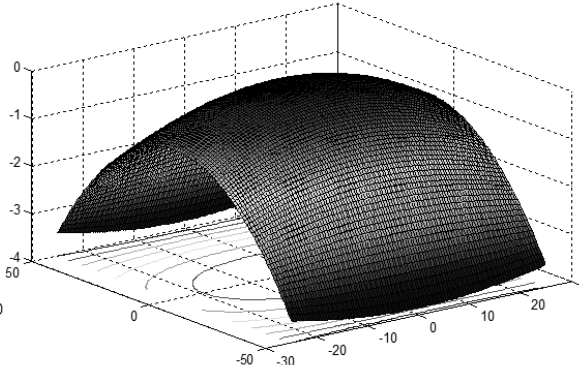


Рис. 4. Відносний поляризаційний коефіцієнт прийому

Основою дослідження поляризаційних характеристик типових антен каналу радіодоступу є використання математичної моделі антени як системи випромінювачів та експеримент. Принцип побудови моделі заснований на застосуванні розрахункових формул загальної й статистичної теорії антен. Поле в дальній зоні антени вздовж напрямку кутів  $\theta$  та  $\varphi$  відносно нормалі представлено у вигляді комплексної векторної діаграми спрямованості

$$\vec{E}_a(\theta, \varphi, t) = \sum_{i=1}^I b_i \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{m,n} e^{jF_{m,n}} e^{j(w_i t + \varphi_0)} e^{jk_i d_{m,n} \sin(\gamma(\theta, \varphi))} \cdot \vec{p}_{m,n}(\theta, \varphi), \quad (3)$$

де  $\theta$  та  $\varphi$  – кути в сферичній системі координат;  $A_{m,n}$  та  $F_{m,n}$  – амплітудний та фазовий розподіли;  $w_i$  та  $k_i$  – поточна частота та хвилеве число;  $b_i$  – коефіцієнти частотного розкладу сигналу;  $d_{m,n}$  – відстань між центральним елементом і поточним в площині розкриття;  $\gamma(\theta, \varphi)$  – кут між поточним напрямком і нормаллю;  $\vec{p}_{m,n}(\theta, \varphi)$  – поляризаційний вектор елемента.

Комплексна векторна нормована діаграма спрямованості (ДН) антени представлена так

$$\vec{F}_a(\theta, \varphi) = \begin{pmatrix} \vec{F}_a^{\text{очн}}(\theta, \varphi) \\ \vec{F}_a^{\text{крос}}(\theta, \varphi) \end{pmatrix}, \quad (4)$$



де  $\dot{F}_a^{\text{осн}}(\theta, \varphi)$  та  $\dot{F}_a^{\text{крос}}(\theta, \varphi)$  – ДН антени на основній та кросовій поляризації.

Результати моделювання поляризаційних параметрів антени при відхиленні максимуму ДН на кути  $\varphi_{\text{макс}} = 37^\circ$  та  $\theta_{\text{макс}} = 24^\circ$  (рис. 5-6) свідчать про спотворення поляризаційних параметрів випромінюваного поля.

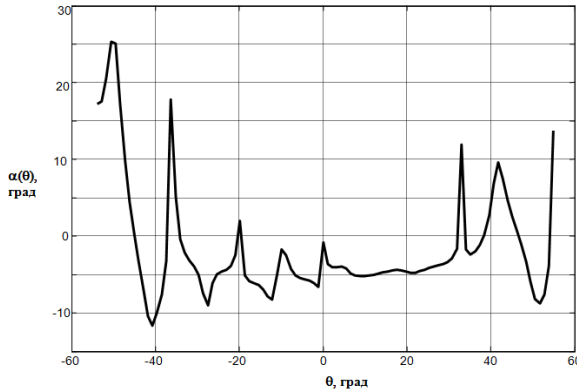


Рис. 5. Кут еліптичності

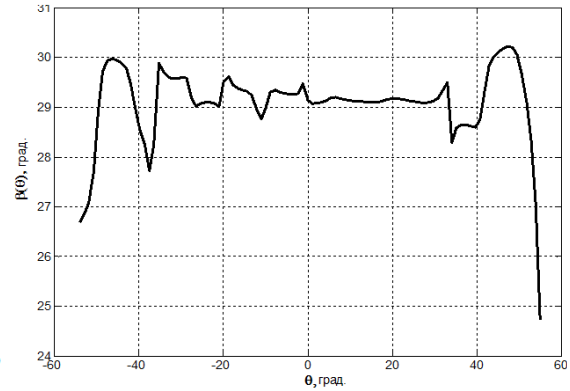


Рис. 6. Кут орієнтації

При цьому кут еліптичності може змінюватися від мінус 12 град до 26 град, а кут орієнтації поляризаційного еліпса від значення 24,8 град до 30,4 град. Максимальні поляризаційні втрати при прийомі на ідеальну антену лінійної вертикальної поляризації будуть складати величину -1,87 дБ.

Експериментальні дослідження поляризаційних параметрів типових антен ґрунтовані на використанні лабораторного устаткування, що складається з генератора, передавальної антени, досліджувальної антени на поворотному столі та вимірювача. Були досліджені наступні типи антен: відкритий кінець прямокутного хвилеводу; прямокутний пірамідальний рупор; Н - секторіальний та Е - секторіальний рупори; пірамідальні рупори з фазо-зсувною секцією та з поляризаційною решіткою в розкритті. У всіх випадках досліджувалися амплітудна діаграма, залежності коефіцієнта еліптичності та кута орієнтації поляризаційного еліпса від кута опромінення антени. Було розраховано також коефіцієнт розв'язки по поляризації.

Результати досліджень антен показують, що поляризаційні втрати загалом можуть сягати величини  $\gamma_{\text{п}} = 4,6$  дБ у зв'язку з поляризаційними спотвореннями антен каналу радіодоступу.

Вектор напруженості електричного поля поблизу передавальної антени буде

$$\dot{E}_{\text{изл}}(t) = H_{\alpha}^{\text{T*}} \cdot H_{\beta}^{\text{T}} \cdot (S(t) \cdot \vec{p}_1^0)^{\text{T}}, \quad (5)$$

де  $H_{\alpha} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -j\sin(\alpha) \\ -j\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}$  - матриця еліптичності;  $H_{\beta} = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) \end{pmatrix}$  - матриця

орієнтації;  $p_1^0 = (1 \ 0)^T$  - початковий орт лінійного поляризаційного базису.

Внаслідок особливостей поширення радіохвиль, вектор напруженості прийнятого сигналу у приймальної антени покажемо у вигляді

$$\dot{E}_{\text{пр}}(t) = \dot{E}_{\text{изл}}(t - \tau_0) \cdot \dot{K}_{r0}(t) + \sum_{i=1}^n \dot{R}_i(t - \tau_i) \cdot \dot{K}_{ri}(t - \tau_i) \cdot \dot{E}_{\text{изл}}(t - \tau_i), \quad (6)$$

де  $n$  - загальна кількість відбиття при поширенні радіохвиль;  $\dot{K}_{r0}(t)$  і  $\dot{K}_{ri}(t - \tau_i)$  - множники загасання прямої та відбитих радіохвиль;  $\tau_0$  і  $\tau_i$  - множники запізнювання прямої та відбитих радіохвиль;  $\dot{R}_i(t - \tau_i)$  - матриця коефіцієнтів відбиттів.

Поляризаційні параметри приймальної антени опишемо за допомогою поляризаційного вектора при заданих кутах еліптичності та орієнтації поляризаційної діаграми приймальної антени відповідно

$$\dot{p}_a = H_a^{T*} \cdot H_\beta^T \cdot p_1^0. \quad (7)$$

Сигнал на виході приймальної антени буде

$$\dot{U}_{\text{пр}}(t) = \dot{p}_a^{T*} \cdot \dot{E}_{\text{пр}}(t) \cdot K_a + \dot{U}_{\text{ш}}(t) = \dot{U}_c(t) + \dot{U}_{\text{ш}}(t). \quad (8)$$

де  $K_a$  - коефіцієнт, що враховує втрати і перетворюючу роль прийомної антени (ефективна довжина для вібраторів);  $\dot{U}_{\text{ш}}(t)$  - тепловий шум приймального каналу.

Якщо потенційне значення відношення потужності сигналу до потужності шуму, або просто відношення сигнал/шум має значення

$$h^2 = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}}, \quad (9)$$

то реальне залежить від коефіцієнта поляризаційного прийому

$$h_{\text{вых}}^2 = h^2 \cdot K_{\text{пр}}, \quad (10)$$

який визначається так

$$K_{\text{пр}} = \cos^2 \delta. \quad (11)$$

де  $\delta$  - кут між поляризаційними векторами сигналу та антени, який являє собою, по суті, неузгодженість по поляризації між сигналом і антеною і знаходиться у відповідності з виразом

$$\delta = \arccos(\dot{E}_{\text{пр}}^T \cdot \dot{p}_a^*) . \quad (12)$$

Тому, реальне відношення потужності сигналу до потужності шуму на виході розглянутого каналу передачі можна представити у вигляді

$$h_{\text{ВЫХ}}^2 = 10 \cdot \log\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right) - K_{\text{потерь}} . \quad (13)$$

Коефіцієнт поляризаційного прийому каналу та відношення сигнал/шум будуть

$$K_{\text{кан}} = \frac{1 + m \cdot (2 \cos^2 \delta - 1)}{2} , \quad h_{\text{ВЫХ}}^2 = h^2 \cdot K_{\text{кан}} , \quad (14)$$

де  $m$  - індекс або ступень поляризації електромагнітної хвилі.

Визначимо пропускну спроможність прийомного каналу в загальному вигляді

$$C = \Delta F \cdot \log_2 \left( 1 + h^2 \cdot \frac{1 + m \cdot (2 \cos^2 \delta - 1)}{2} \right) , \quad (15)$$

де  $\Delta F$  - ширина смуги пропускання каналу.

Ймовірність помилок передачі інформації такого каналу буде

$$P_{\text{ош}} = 1 - F \left( \sqrt{k \cdot h^2 \cdot \frac{1 + m \cdot (2 \cos^2 \delta - 1)}{2}} \right) . \quad (16)$$

де  $k$  - коефіцієнт, пов'язаний з видом модуляції;  $F(x)$  - функція Лапласа.

Розглянемо залежності пропускну спроможність приймального каналу від неузгодженості по поляризації при фіксованих значеннях ступеня поляризації хвилі (рис. 7) та ймовірність помилок при цьому (рис.8). Значення енергетичного параметра  $h^2 = 20$  дБ та ширина смуги пропускання каналу  $\Delta F = 10$  МГц. Пропускна здатність сильно залежить від кута неузгодженості при ступеня поляризації  $m \geq 0,8$ . Для типових антен при ступені поляризації  $m \geq 0,95$  пропускна

здатність каналу може зменшитися майже в 4 рази, а при ступені поляризації  $m = 0,5$  тільки на 30%. Ймовірність помилок передачі при різному індексі поляризації (рис.8) свідчить, що збільшення кута неузгодженості за поляризацією більше  $\delta = 10^0$  призводить до значного зростання помилок, а при  $m \leq 0,8$  помилки стають неприйнятними.

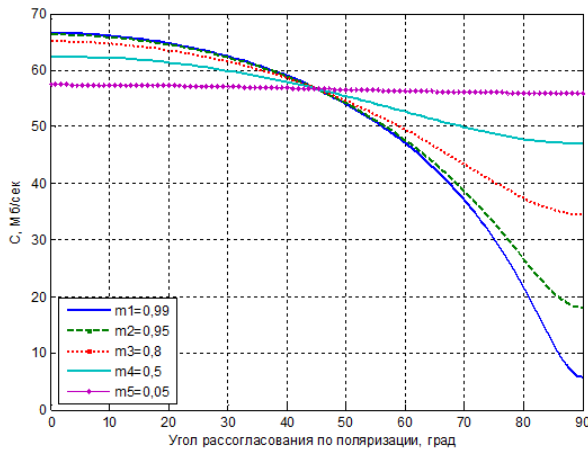


Рис. 7. Пропускна здатність

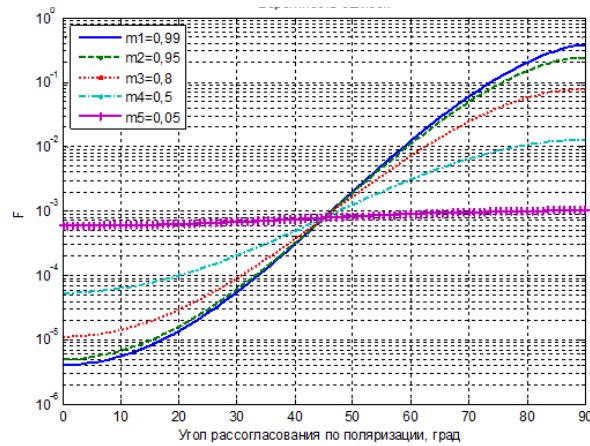


Рис. 8. Ймовірність помилок

На основі проведених досліджень можна відмітити складові методики аналізу пропускну здатності каналу радіодоступу, що включає: проведення досліджень поляризаційних характеристик приймальних та передавальних антен в секторі роботи системи радіодоступу; вивчення поляризаційних втрат завдяки неузгодженості поляризаційних параметрів сигналів та антен; дослідження пропускну здатності за допустимих помилок передачі каналу та наявності поляризаційних втрат; розробка пропозицій щодо зменшення впливу поляризаційних спотворень антен та сигналів на пропускну здатність каналу.

Отже, розроблена методика аналізу пропускну здатності каналу радіодоступу на основі обліку поляризаційних спотворень дозволяє досліджувати вплив неузгодженості по поляризації та ступеню поляризації радіохвиль на пропускну спроможність прийомного каналу системи і досліджувати можливості підвищення пропускну спроможності за рахунок використання компенсації поляризаційних спотворень антен при випромінюванні та прийманні, що являє собою істотну практичну значимість.

**Третій розділ** присвячено розробці методу підвищення пропускну здатності систем радіодоступу на основі компенсації поляризаційних спотворень антен.

Метод засновано на апріорному знанні поляризаційних характеристик антен і поточного відносного напрямку до споживача інформації, а також на використанні антен з керованою поляризацією. При цьому мова йде про використання насамперед передавальних антен з керованою поляризацією. Застосування прийомних антен з керованою або адаптивною поляризацією є достатньо добре відомим. З іншого боку, відомими є передавальні і приймальні адаптивні антени по поляризації,

що виконують оптимальне підстроювання поляризаційних параметрів при прийомі радіохвиль, в тому числі і при прийомі радіохвиль на фоні активних перешкод.

Вважаємо, що поляризаційні характеристики реальних передавальних антен є априорі відомими. Ці характеристики можуть бути визначені в технічних характеристиках виготовлювачем, або в результаті тестування. Вони можуть бути представлені у вигляді табличних значень двовимірних залежностей кутів орієнтації поляризаційного еліпса і кутів еліптичності від просторових кутів  $(\theta_i, \varphi_j)$  сферичної системи координат антени. Наприклад, у вигляді двох двовимірних матриць, матриці кутів орієнтації поляризаційного еліпса і матриці кутів еліптичності.

Матриця кутів орієнтації поляризаційного еліпса антени може бути представлена так

$$\beta_{i,j}(\theta_i, \varphi_j), \quad i = 1, \dots, N_{\theta}^{\beta}, \quad j = 1, \dots, N_{\varphi}^{\beta}, \quad (17)$$

де  $\theta_i$  – дискретний кут поточного напрямку на спостерігача щодо нормалі антени в горизонтальній площині;  $\varphi_j$  – дискретний кут поточного напрямку у вертикальній площині;  $N_{\theta}^{\beta}$  – кількість дискрет кутів в горизонтальній площині;  $N_{\varphi}^{\beta}$  – кількість дискрет кутів у вертикальній площині.

Матриця кутів еліптичності поляризаційного еліпса антени може бути представлена аналогічно

$$\alpha_{i,j}(\theta_i, \varphi_j), \quad i = 1, \dots, N_{\theta}^{\alpha}, \quad j = 1, \dots, N_{\varphi}^{\alpha}, \quad (18)$$

де  $N_{\theta}^{\alpha}$  – кількість дискрет кутів в горизонтальній площині;  $N_{\varphi}^{\alpha}$  – кількість дискрет кутів у вертикальній площині.

Необхідна кількість дискрет визначається необхідною точністю знаходження кутів орієнтації і еліптичності. Кути напрямки на споживача інформації щодо антени можуть бути виміряні за результатами обміну інформацією з використанням будь-яких алгоритмів пеленгації, наприклад, сумарно-різницевої обробки, якщо це дозволяє конструкція антени. Відносний напрямок може бути обчислено також і в результаті використання послуги локації, або визначення місця розташування за допомоги GPS.

В результаті, в необхідному напрямі споживача інформації може бути використана компенсація поляризаційних спотворень у відповідності з виразом

$$\dot{E}_{\text{compt}}(\theta, \varphi, t) = \left( H_{\alpha}^{T*}(\theta, \varphi) H_{\beta}^T(\theta, \varphi) \right)^{-1} \cdot \dot{E}_t(\theta, \varphi, t). \quad (19)$$

Тобто, в напрямку користувача інформації сигнал буде випромінюватися на заданій поляризації, в даному випадку, на лінійній вертикальній поляризації.

Визначимо пропускну спроможність і вірогідність помилок типового двоканального приймального каналу з використанням вібраторних антен. При цьому враховуються типові втрати реального каналу, наприклад, за рахунок впливу неузгодженості по поляризації та ступеня поляризації радіохвиль. Смуга частот - 20МГц. Кодування - просте бінарне фазове. Імовірність помилок оцінювалася статистичним методом за допомогою розробленої математичної моделі та програми функціонування каналу МІМО з поляризаційно-ортогональними антенами й з урахуванням поляризаційних спотворень сигналу при випромінюванні, розповсюдженні і при прийомі. Кількість модельованих біт інформації -  $10^6$ , кількість тестів - 25. Для порівняння визначимо пропускну здатність (рис. 9) і ймовірність помилок (рис. 10) пропонованого каналу з компенсацією поляризаційних спотворень і реального каналу з поляризаційними втратами, в якості прикладу, 3дБ.

Зауважимо, що якщо пропускна здатність реального каналу з поляризаційними втратами 3дБ і при відношенні сигнал/шум 10дБ досягає величини 55МБ/сек при ймовірності помилок  $F \leq 3 \cdot 10^{-4}$ , то для пропонованого каналу з компенсацією поляризаційних спотворень пропускна спроможність вже може бути збільшена до 140МБ/сек при меншій ймовірності помилок  $F \leq 6 \cdot 10^{-5}$ .

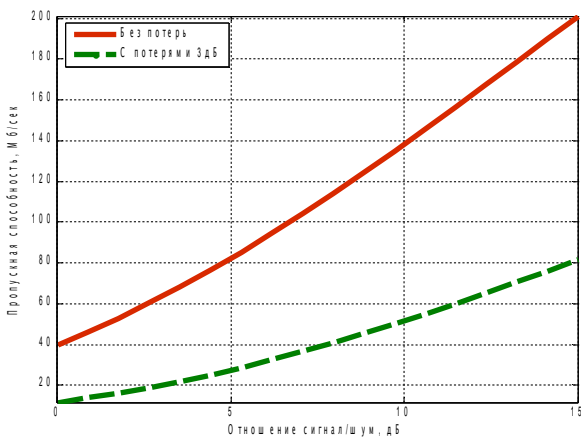


Рис. 9. Пропускна здатність каналів

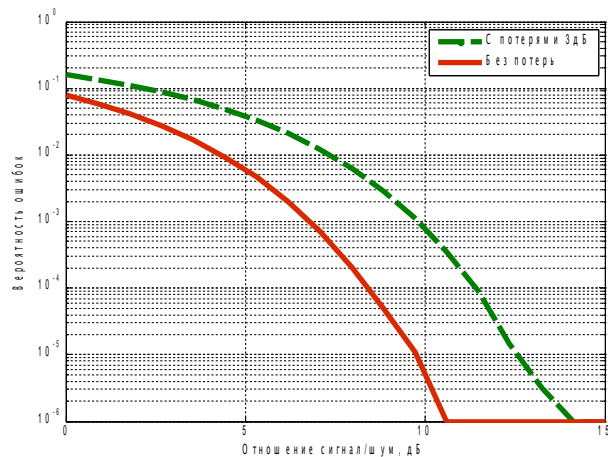


Рис. 10. Ймовірність помилок каналів

Результати дослідження свідчать про можливість збільшення пропускної здатності при меншій ймовірності помилок завдяки розробленим пропозиціям, що являє собою практичну значимість.

**Четвертий розділ** містить розробку методу підвищення пропускної спроможності системи МІМО з поляризаційно-ортогональними антенами на основі компенсації поляризаційних спотворень антен.

Вектор напруженості електричного поля поблизу передавальної антени може бути

представлений у вигляді вектора поляризації випромінюваного сигналу

$$\vec{\dot{E}}_t(\theta, \varphi, t) = \begin{pmatrix} \dot{E}_{t1}(\theta, \varphi, t) \\ \dot{E}_{t2}(\theta, \varphi, t) \end{pmatrix} = \sqrt{P_s} \cdot \dot{F}_a(\theta, \varphi) \cdot \vec{S}(t), \quad (20)$$

де  $P_s$  - потужність сигналу;  $\dot{F}_a(\theta, \varphi)$  - матриця діаграм спрямованості;  $S(t)$  - вектор сигналу.

Матриця діаграм спрямованості буде

$$\dot{F}_a(\theta, \varphi) = \begin{pmatrix} \vec{\dot{F}}_{a1}(\theta, \varphi) & \vec{\dot{F}}_{a2}(\theta, \varphi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{F}_{a1}^{\text{main}}(\theta, \varphi) & \dot{F}_{a2}^{\text{cross}}(\theta, \varphi) \\ \dot{F}_{a1}^{\text{cross}}(\theta, \varphi) & \dot{F}_{a2}^{\text{main}}(\theta, \varphi) \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Вектор прийнято сигналу буде представлено так

$$\dot{E}_r(\theta, \varphi, t) = \left( \dot{E}_{r1}(\theta, \varphi, t) \quad \dot{E}_{r2}(\theta, \varphi, t) \right)^T. \quad (22)$$

Відношення сигнал/шум в каналі буде

$$h_{r1}^2 = \frac{P_{s1} \cdot (1 - r_{\text{pol}}^2)}{P_{n1} + P_{s2} \cdot r_{\text{pol}}^2} \cdot K_{r1}, \quad (23)$$

де  $K_r$  - поляризаційний коефіцієнт приймання;  $r_{\text{pol}}$  - розв'язка по поляризації антени.

Випромінюваний сигнал характеризується певними спотвореннями параметрів поляризації - кутів еліптичності та орієнтації поляризаційного еліпса. Тому, вектор неспотвореного електричного поля поблизу антени може бути представлений у вигляді

$$\dot{E}_{\text{compt}}(\theta, \varphi, t) = \left( H_{\alpha}^{T*}(\theta, \varphi) H_{\beta}^T(\theta, \varphi) \right)^{-1} \cdot \dot{E}_t(\theta, \varphi, t). \quad (24)$$

Відомо, що при повному поляризаційному прийомі потужність прийнятого сигналу буде максимальною і втрати мінімальні. Однак, приймальна антена також характеризується певними неузгодженості поляризаційних параметрів. На додаток, важливим є вплив ступеня поляризації хвиль.

Поляризаційний коефіцієнт прийому як функція двох змінних - ступеня поляризації й кута неузгодженості по поляризації сигналу і антени показано на рис.11. При великій величині ступеня поляризації спостерігається зростання поляризаційного коефіцієнта прийому. При малих значеннях неузгодженості по поляризації спостерігаються незначні зміни поляризаційного коефіцієнта прийому.

Завдяки запропонованому методу компенсації поляризаційних спотворень антен кут неузгодженості по поляризації прагне до нульового значення.

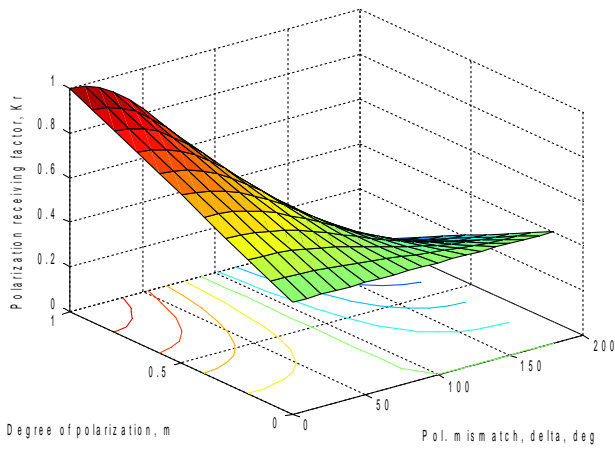


Рис. 11. Поляризаційний коефіцієнт прийому

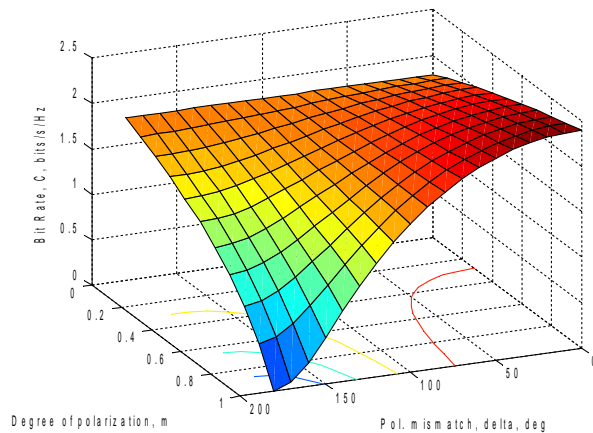


Рис. 12. Пропускна здатність

Зауважимо, що пропускна здатність сильно залежить від кута неузгодженості при ступені поляризації  $m \geq 0,8$ . Для типових антен при ступені поляризації  $m \geq 0,95$  пропускна здатність може зменшитися в 4 рази, коли при ступеня поляризації  $m = 0,5$  тільки на 30%. Так, при неузгодженості по поляризації сигналу і антени більше  $\delta = 10$  градусів і при  $m \leq 0,8$  показники якості каналу, такі як пропускна здатність і вірогідність помилок, істотно погіршуються. На практиці, для поліпшення пропускної спроможності при допустимих помилках передачі пропонується використання поляризаційно-ортогональних антен з адаптивним керуванням поляризаційними параметрами.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень вирішена наукова задача розробки методів підвищення пропускної спроможності системи радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами шляхом обліку та часткової компенсації спотворень поляризаційних параметрів радіохвиль. Основними результатами роботи можна вважати наступні.

1. Дослідження неузгодженості по поляризації радіосигналів і антен свідчать про те, що відмінності по кутах еліптичності та орієнтації більше  $85^\circ$  ведуть до втрат потужності прийнятого сигналу більше 10 дБ.

2. Узгодженості поляризаційних параметрів радіосигналу при прийомі на антену лінійної поляризації по кутах еліптичності  $\pm 25^\circ$  і по кутах орієнтації еліпса поляризації  $\pm 50^\circ$  ведуть до втрат потужності прийнятого сигналу не більше  $\gamma_{\text{п}} = 4$  дБ.

3. Дослідження поляризаційних характеристик фазованих антенних решіток свідчать про те,



що при відхиленні максимуму випромінювання антени від нормалі на кути  $\varphi_{\text{макс}} = 37^\circ$  і  $\theta_{\text{макс}} = 24^\circ$  спостерігаються суттєві спотворення поляризаційних параметрів випромінюваного поля. При цьому максимальні втрати при прийомі на ідеальну антену лінійної вертикальної поляризації будуть складати величину -1,87 дБ.

4. Результати експериментальних досліджень поляризаційних характеристик типових антен систем радіозв'язку свідчать про наявність поляризаційних спотворень і втрат в межах діаграми спрямованості антени. Знання поляризаційних характеристик антен дозволить зменшити вплив спотворень на якість системи радіозв'язку.

5. При істотному розходженні поляризаційних параметрів сигналу і приймальної антени і при ступеня поляризації 0,8, що характерно для роботи стаціонарних приймальних неузгоджених по поляризації систем в приміщеннях офісних будівель, поляризаційний коефіцієнт прийому становить величину до 6дБ.

6. Частково поляризовані хвилі при ступені поляризації  $m \leq 0,05$  характеризуються втратами при прийомі близько 3дБ і інваріантністю до кута неузгодженості. Так, для типових антен з розв'язкою по поляризації 10 ... 15дБ і ступеня поляризації  $m \geq 0,95$ , що характерно для стаціонарних систем, втрати можуть становити величину до 16дБ, в той час, коли для мобільних систем при ступені поляризації  $m = 0,5$  - до 6дБ.

7. При значенні відношення сигнал / шум  $h^2 = 20$  дБ і ширини смуги пропускання системи  $\Delta F = 10$  МГц пропускна здатність сильно залежить від кута неузгодженості при ступені поляризації  $m \geq 0,8$ . Для типових антен при  $m \geq 0,95$  пропускна здатність системи може зменшитися майже в 4 рази, а при  $m = 0,5$  тільки на 30%.

8. Ймовірність помилок передачі залежить від ступеня поляризації. Збільшення кута неузгодженості більше  $10^\circ$  призводить до значного зростання помилок, а при  $m \leq 0,8$  помилки стають неприйнятними.

9. Розв'язка по поляризації експериментальної поляризаційно-ортогональної антени точки доступу уздовж осі антени дорівнює -24,7 дБ, в той час коли при відхиленні променя від вісі на кути  $\varphi = 25^\circ$  і  $\theta = 30^\circ$  вже буде -17,7 дБ.

10. Результати досліджень пропускної спроможності системи при використанні компенсації поляризаційних спотворень антени свідчать про наступне. Якщо пропускна здатність реальної системи з поляризаційними втратами 3дБ і при відношенні сигнал/шум 10дБ досягає величини 55Мб/сек при ймовірності помилок  $F \leq 3 \cdot 10^{-4}$ , то для пропонованої системи пропускна спроможність вже може бути збільшена до 140Мб/сек при меншій ймовірності помилок  $F \leq 6 \cdot 10^{-5}$ .

11. Результати досліджень основних параметрів системи МІМО з поляризаційно-

ортогональними антенами методом математичного моделювання свідчать про позитивний ефект. Якщо при відношенні сигнал/шум  $h = 10$  дБ ймовірність помилок близька  $F = 0,8 \cdot 10^{-3}$  при втратах в 3дБ, то при компенсації поляризаційних спотворень ймовірність вже буде  $F = 0,8 \cdot 10^{-5}$ . Якщо швидкість передачі системи близька до 15Мб/сек при втратах 3дБ, то використання запропонованої методики компенсації поляризаційних втрат дозволить підвищити пропускну спроможність системи до 20Мб/сек при відношенні сигнал/шум 10дБ.

12. Розроблена методика розрахунку амплітудних і фазових співвідношень може бути використана для підстроювання поляризаційних параметрів антени.

13. Основні пропозиції використання поляризаційно-ортогональних антен в системі МІМО для підвищення пропускну спроможності включають необхідність використання інформації про поляризаційних характеристиках антени і компенсації поляризаційних спотворень антени.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мартынчук А.А., А. Икрам Кадир. Проблемы использования поляризационно-ортогональных антенн системы МІМО // Радиотехніка. – Х.: ХНУРЕ, 2009. – Вип. №159. – С.148-152.

2. Мартынчук А.А., А. Икрам Кадир, Назмутдинов А.А. Влияние степени поляризации на пропускную способность МІМО систем с поляризационно – ортогональными системами приема // Радиотехніка. – Х.: ХНУРЕ, 2010. – Вип. №163. – С.129-135.

3. Мартынчук А.А., А. Икрам Кадир. Analysis features parameters of polarization-orthogonal antennae for МІМО system // Радиотехника – Х.: ХНУРЕ, 2012. –Вип. №168. С. 36-39.

4. Мартынчук А.А., А. Икрам Кадир. Методика аналізу пропускну здатності каналу радіодоступу на основі обліку поляризаційних спотворень антен // Вісник ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – №4(63).

5. Martynchuk A.A. Increasing radio channel capacity method of МІМО system using orthogonal-polarization antenna technique / А.А. Martynchuk, Ikram Kadir, G.N. Zubritsky // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2012. – Вип. 3 (23). – С. 241-247.

6. Икрам Кадир. Study of basic parameters of МІМО with orthogonal antenna polarization method of mathematical modeling // XXXVI наук.-практ. міжвуз. конф., присвячена Дню науки. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – Т.І. – С.64-65.

7. Мартынчук А.А., А. Икрам Кадир. Возможность та ефективність використання поляризаційно-ортогональных антен системы МІМО // 18-а наук.-практ.конф. "Проблеми створення, розвитку та застосування інформаційних систем спеціального призначення". –

Житомир: ЖВІ НАУ, 2011. – С.115.

8. Мартынчук А.А., А. Икрам Кадир. Increase of bit rate MIMO systems on basis of the use polarization properties of signals // VI-я Международная научно-практическая конференция «Наука и социальные проблемы общества: информатизация и информационные технологии». Сборник научных трудов. – Харьков: ХНУРЕ, 2011. – С.379-380.

9. Мартынчук А.А., А. Икрам Кадир. Analysis features parameters of polarization-orthogonal antennae for MIMO system // 4-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2011. Сборник научных трудов. Том. II. Международная конференция «Телекоммуникационные системы и технологии». – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЕ. 2011. – С.253-256.

10. Martynchuk A.A., Ikram Kadir, Zubritsky G.N. Characteristic investigation of orthogonal-polarized antennae on the radio channel capacity // Досвід розробки та застосування приладотехнологічних САПР в мікроелектроніці: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції CADSM 2013. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013 – 480 с. С.242-246.

## АНОТАЦІЯ

**Икрам Кадір Абдуллах. Методи підвищення пропускної здатності систем радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами.** – Рукопись. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – "Телекомунікаційні системи та мережі". Харківський національний університет радіоелектроніки, - Харків, 2013.

Дисертацію присвячено підвищенню пропускної здатності систем радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами за рахунок компенсації поляризаційних спотворень антен та покращення розв'язки каналів за поляризацією.

Було проведено аналіз поляризаційних характеристик антен методами експерименту і математичного моделювання, проведено аналіз пропускної здатності систем радіодоступу на основі врахування поляризаційних спотворень антен в секторі обслуговування, досліджено метод підвищення пропускної здатності системи радіодоступу на основі компенсації поляризаційних спотворень антен в секторі обслуговування на основі математичного моделювання і експерименту, досліджено метод підвищення пропускної здатності системи радіодоступу з поляризаційно-ортогональними антенами на основі компенсації спотворень поляризаційно-ортогональних антен точки доступу і абонента та розроблено пропозиції щодо використання поляризаційно-ортогональних антен для підвищення пропускної здатності системи радіодоступу.

Результати досліджень використання компенсації поляризаційних спотворень антени свідчать про можливість підвищення пропускної здатності системи радіодоступу.

**Ключові слова:** пропускна здатність системи радіодоступу, поляризаційно-ортогональні антени, поляризаційні спотворення, МІМО з поляризаційно-ортогональними антеннами.

## АННОТАЦІЯ

**Икрам Кадир Абдуллах. Методы повышения пропускной способности систем радиодоступа с поляризационно-ортогональными антеннами.** - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - "Телекоммуникационные системы и сети". Харьковский национальный университет радиоэлектроники, - Харьков, 2013.

Диссертация посвящена повышению пропускной способности систем радиодоступа с поляризационно-ортогональными антеннами за счет компенсации поляризационных искажений антенн и улучшения развязки каналов по поляризации.

Был проведен анализ поляризационных характеристик антенн методами эксперимента и математического моделирования, проведен анализ пропускной способности систем радиодоступа на основе учета поляризационных искажений антенн в секторе обслуживания, исследован метод повышения пропускной способности системы радиодоступа на основе компенсации поляризационных искажений антенн в секторе обслуживания на основе математического моделирования и эксперимента, исследован метод повышения пропускной способности системы радиодоступа с поляризационно-ортогональными антеннами на основе компенсации искажений поляризационно-ортогональных антенн точки доступа и абонента и были разработаны предложения по использованию поляризационно-ортогональных антенн для повышения пропускной способности системы радиодоступа.

Усовершенствована методика анализа пропускной способности систем радиодоступа на основе учета поляризационных искажений антенн в секторе обслуживания. Новизна заключается в получении аналитических зависимостей пропускной способности от поляризационных искажений антенн. Это позволяет проводить исследования возможности повышения пропускной способности системы благодаря учету поляризационных искажений типовых антенн. Методика основана на результатах эксперимента и математического моделирования поляризационных характеристик антенн.

Получил дальнейшее развитие метод повышения пропускной способности систем радиодоступа. Новизна заключается в компенсации поляризационных искажений антенны в секторе обслуживания в направлении абонента. Метод основан на информации о поляризационных характеристиках антенны, относительное направление на абонента и на использовании поляризационно-ортогональных антенн с управляемой поляризацией. Метод обеспечивает

повышение пропускной способности системы благодаря улучшению соответствия поляризационных параметров антенн точки доступа абонента.

Усовершенствован метод повышения пропускной способности систем радиодоступа ММО с поляризационно-ортогональными антеннами. Новизна заключается в компенсации поляризационных искажений каждой из поляризационно-ортогональных антенн, как точки доступа, так и абонента. Метод основан на использовании информации о поляризационных характеристиках антенн, информации об относительных направлениях точки доступа и абонента, а также на использовании антенн с управляемой поляризацией. Метод обеспечивает повышение пропускной способности системы благодаря улучшению развязки по поляризации поляризационно-ортогональных антенн двух каналов.

Результаты исследований использования компенсации поляризационных искажений антенны свидетельствуют о возможности повышения пропускной способности системы радиодоступа.

**Ключевые слова:** пропускная способность системы радиодоступа, поляризационно-ортогональные антенны, поляризационные искажения, ММО с поляризационно-ортогональными антеннами.

#### ABSTRACT

**Ikram Kadir Abdullah. Methods to improve the capacity of radio systems with orthogonal polarization antennas.** - Manuscript. Dissertation for the degree of Ph.D., specialty 05.12.02 - "Telecommunication systems and networks." Kharkiv National University of Radio Electronics - Kharkov, 2013.

The thesis is devoted to improving throughput radio systems with orthogonal polarization antennas for compensating polarization distortions antennas and improvement solutions for polarization channels.

It analyzed the polarization characteristics of antennas experimental methods and mathematical modelling, the analysis of bandwidth radio systems based on consideration of polarization distortions in the service sector antennas are investigated method of increasing the capacity of radio-based compensation of distortion polarization antennas in the service sector on the basis of mathematical modelling and experimental , investigated the method of increasing bandwidth radio systems with orthogonal polarization antennas based on distortion compensation orthogonal polarization antenna access point and subscriber and developed proposals for the use of orthogonal polarization antennas to improve the capacity of radio.

Studies using distortion compensation polarization antenna indicate the possibility of increasing the capacity of radio.

**Keywords:** bandwidth radio systems, polarization-orthogonal antenna, polarization distortion, MIMO with orthogonal polarization antennas.

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки

**Науковий керівник** кандидат технічних наук доцент  
Мартинчук Олександр Олександрович,  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
доцент кафедри телекомунікаційних систем

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук професор Обод Іван Іванович,  
Національний технічний університет "Харківський  
політехнічний інститут", професор кафедри системи  
інформації.

Кандидат технічних наук доцент Макаров Сергій  
Анатолійович, Харківський університет Повітряних Сил  
імені Івана Кожедуба, Міністерство оборони України,  
Начальник науково-дослідного відділу проблем розвитку та  
науково-технічного супроводження засобів зв'язку і  
радіотехнічного забезпечення

Захист відбудеться „\_\_\_” червня 2013 р. о \_\_\_ годині на засіданні вченої ради в Харківському національному університеті радіоелектроніки, 61166, Україна, Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автореферат розісланий „\_\_\_” травня 2013 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Є.В. Дуравкін