

**О. В. СТАЛЬЧЕНКО**  
**М. В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ**  
**В. П. КУЦОЛАБСЬКИЙ**  
**О. О. НИЖНИК**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ РАДІОСИСТЕМ НА ОСНОВІ МІМО ТЕХНОЛОГІЇ**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Здійснено короткий опис основних тенденцій і способів підвищення завадостійкості систем радіозв'язку в багатопроменевих середовищах. Найбільш перспективним розвитком напрямку є відображення системи МІМО у вигляді просторових підканалів, отриманих з використанням сингулярного розкладання матриці коефіцієнтів передачі і коефіцієнтів кореляції.*

**Ключові слова:** рознесення антен, МІМО, теорія рознесення прийому і передачі.

### **Abstract**

*A brief description of the main trends and ways of increasing the noise immunity of radio communication systems in multi-radiation environments is carried out. The most promising development is the imaginary MIMO system in the form of spatial subchannels, obtained with the use of synchronous disclosure of the matrix of transmission coefficients and correlation coefficients.*

**Keywords:** diversity antennas, MIMO, the theory of diversity of reception and transmission.

### **Вступ**

В даний час відбувається інтенсивний розвиток систем бездротового зв'язку. Підвищення швидкості передачі даних і зменшення ймовірності помилок є одним з пріоритетних напрямків. Швидкість передачі даних можна підвищити за рахунок розширення смуги частот і за рахунок збільшення потужності передавача. Стандарти сучасних систем радіозв'язку накладають суттєві обмеження на випромінювання потужності вимогами біологічного захисту і обмежуються виділеною смугою частот.

У багатопроменевих системах рознесення антен є ефективним способом боротьби з завмираннями. Одним з перших способів було рознесення антен тільки на прийомі - система SIMO (Single Input Multiple Output). Він дозволяє збільшити стійкість системи без застосування технік просторового кодування. Пізніше з розробкою в області просторово-часових ґратчастих та блокових кодів стала застосовуватися техніка рознесення тільки на передачі, яку називають також технологією MISO (Multiple Input Single Output), а також одночасно на прийомі і передачі - технологія МІМО (Multiple Input Multiple Output). Найбільш відомими роботами в цій області є праці таких зарубіжних авторів, як: С.М. Аламоуті (SM Alamouti), В. Тарох (V.Tarokh), Т.Браун (T.Brawn), Г.Тсоулос (G. Tsoulos), а також російських вчених: Шлома А.М., Слюсар В., Бакулін М В. Г., Крейнделін В.Б., Фінк Л.М., Андронов І.С., Фалько А.І, Носов В.І. [1-5]

В літературі недостатньо висвітлюється стійкість і пропускна здатність системи МІМО з урахуванням кореляційних залежностей між паралельними каналами. Також присутні поодинокі роботи в оцінці завадостійкості в разі подання системи у вигляді паралельних просторових підканалів. На відміну від існуючих досліджень по теорії рознесення передачі і прийому, дана робота дозволяє застосовувати отримані методики для дослідження характеристик завадостійкості і пропускної здатності технологій МІМО і MISO з довільним числом передавальних і приймальних антен, з урахуванням множинної кореляції рознесених сигналів, неоднорідності рознесених каналів на основі сингулярного розкладання загальної каналної і кореляційної матриць та інформації про характеристики паралельних власних підканалів.

Метою роботи є дослідження методів оцінки завадостійкості і пропускну здатності систем MIMO і MISO як в разі відсутності знання про стан рознесених каналів на передавальній стороні, так і в разі наявності зворотного зв'язку при передачі інформації по паралельним просторовим підканалам.

## Основна частина

Між складовими коефіцієнтів передачі каналів рознесення прийому майже завжди існує деяка залежність. Ця залежність характеризується для каналів прийому коефіцієнтами взаємної кореляції. Просторова кореляція в MIMO і MISO системах останнім часом викликає великий інтерес, і часто досліджуються в літературі [1-3]. В [4] з використанням класичної теорії рознесення прийому [5] розроблена методика оцінки завадостійкості системи MISO при кореляції сигналів в антенах з умовою рівності значень амплітудних і фазових спотворень сигналу для кожного каналу. В реальних умовах багатопроменевого поширення коефіцієнти передачі кожного каналу будуть різні [1, 3]. При цьому відсутня методика оцінки завадостійкості системи MISO для реального змінення коефіцієнтів передачі рознесення каналів.

В [2] показано моделі розрахунку завадостійкості системи MIMO для випадку відсутності кореляції сигналів. При цьому практично немає досліджень оцінки завадостійкості MIMO з урахуванням аналізу кореляційних матриць. У класичній теорії рознесення прийому [3] наводяться методики розрахунку завадостійкості систем з рознесенням прийому шляхом пошуку власних чисел просторово кореляційних матриць. Важливим є те що, спираючись на класичну теорію рознесення прийому, створити метод оцінки завадостійкості системи MIMO з урахуванням сучасних математичних кореляційних моделей.

Найчастіше в роботах при розрахунку параметрів систем з рознесенням прийому і (або) передачі використовується коефіцієнт кореляції при просторовому рознесенні антен. При цьому не обговорюються або не робляться можливі відмінності між кореляцією при горизонтальному і вертикальному рознесенні антен. В роботі [1] було показано, що в умовах міської забудови розподіл променів в горизонтальній і у вертикальній площинах різні. Промені, що приходять на антенну решітку в горизонтальній площині, мають рівномірний кутовий розподіл, а в вертикальній площині - кутовий розподіл гауссового виду. Тому є важливим отримати формулу коефіцієнта кореляції для випадку вертикального розміщення антен для реального кутового розсіювання потужності.

Система MIMO нерозривно пов'язана з просторово-часовим блокувальним кодуванням (STBC). Роботи в цьому напрямку широко представлені в [2-5]. Найбільш перспективним напрямком є відображення системи MIMO у вигляді просторових підканалів, отриманих з використанням сингулярного розкладання матриці коефіцієнтів передачі [1, 4]. Дані підканали називаються власними, так як використовують в якості вагових векторів просторової обробки власних векторів матриці коефіцієнтів передачі. Ці підканали є паралельними, так як передають незалежні потоки даних просторово тимчасового блокувального коду.

Проведений аналіз наукових досліджень, присвячених багатопроменевим середовищам, виявлених тенденцій і підходів до вирішення завдань сучасного радіозв'язку, дозволяють вважати актуальним подальше дослідження техніки рознесення передачі і приймання. При цьому існує обмежена кількість методів і підходів до оцінки завадостійкості прийому. Так в [4] була запропонована методика знаходження ймовірності бітової помилки для не кореляційних підканалів на основі функції щільності розподілу ймовірності сингулярних чисел каналної матриці. Важливим є вести подальші дослідження в цій області і розробити методику знаходження ймовірності бітової помилки для кореляційних підканалів.

При передачі даних по паралельних підканалах системи MIMO Шенновська пропускну здатність досліджена в літературі [1, 3, 5] досить широко. Однак не розглянуто підхід в знаходженні пропускну здатності технології MIMO M-го порядку в каналах з замираннями при урахуванні множинної кореляції.

## Висновки

Розглянуто техніку відображення системи MIMO у вигляді просторових підканалів за допомогою сингулярного розкладання каналної матриці. Розглянуто принципи оцінки завадостійкості системи радіозв'язку з точки зору класичної теорії рознесення прийому. Обґрунтовано актуальність дослідження в області завадостійкості системи MIMO.

На основі проведеного огляду наукових робіт поставлена задача дослідження актуальних питань сучасних телекомунікаційних систем.

В даний час відбувається інтенсивний розвиток систем бездротового зв'язку. Підвищення швидкості передачі даних і зменшення ймовірності помилок є одним з пріоритетних напрямків.

У багатопробієвих системах рознесення антен є ефективним способом боротьби з завмираннями. Одним з перших способів було рознесення антен тільки на прийомі - система SIMO. Він дозволяє збільшити стійкість системи без застосування технік просторового кодування. Пізніше з розробкою в області просторово-часових ґратчастих та блокових кодів стала застосовуватися техніка рознесення тільки на передачу, яку називають також технологією MISO, а також одночасно на прийомі і передачі - технологія MIMO.

Між складовими коефіцієнтів передачі рознесення каналів майже завжди існує деяка залежність, яка характеризується коефіцієнтами взаємної кореляції. При цьому необхідно розглядати множинну кореляцію сигналів: просторову в горизонтальній і вертикальній площинах; поляризаційну; кодову.

Найбільш перспективним розвитком напрямку є уявлення системи MIMO у вигляді просторових підканалів, отриманих з використанням сингулярного розкладання матриці коефіцієнтів передачі. Ці підканали є паралельними, так як передають незалежні потоки даних просторового часового блочного коду.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. В.И. Носов, А.С. Янцен. Оценка спектральной эффективности и помехоустойчивости технологии MIMO при различном распределении мощности по параллельным подканалам // Телекоммуникации, 2017 г. –№ 2, - С.
2. Янцен А. С., Носов В.И. Оценка помехоустойчивости и пропускной способности технологии MIMO с учетом корреляции сигналов в антеннах. // Вестник СибГУТИ. – 2016, № 2, С. 63 - 67.
3. Stutzman, W.L. Thiele, G.A. Antenna Theory and Design, 3rd Edition. New York: Wiley, 2013, p. 307.
4. Янцен А.С., Носов В.И. оценка помехоустойчивости технологии MIMO с учетом корреляции сигналов в антеннах / Topical areas of fundamental and applied research VII, 19-20 october 2015 , North Charleston, USA vol. 1, p. 147 – 151.
5. Nosov V.I., Yantsen A.S. Definition of MIMO technology noise immunity by correlated channels // IEEE, XIII international scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 39281 proceedings APEIE – 2016, Volume 1, Part 2. – P. 45 – 48.

**Васильківський Микола Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Стальченко Олександр Володимирович** – канд. тех. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Куцолабський Віталій Павлович** – студент групи ТКР-16б, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Нижник Олександр Олександрович** - студент групи ТКТ -17мс, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Vasylykivskyi Mikola V.** – Ph.D., Senior lecturer of the Chair of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Stalchenko Alexandr Vol.** – Ph.D., Senior lecturer of the Chair of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Kucolabskij Vitalij P.** – student group TKR-16b Department of Infocommunication Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Nizhnik Alexandr Al.** – student group TKT-17ms Department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.