

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

На правах рукопису

Гаркуша Сергій Володимирович

УДК 621.396

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ЛІНІЙ ДОСТУПУ ДО
БАЗОВИХ СТАНЦІЙ ТРАНКІНГОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

Спеціальність: 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків-2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Коляденко Юлія Юріївна,

Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри
телекомунікаційних систем

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор

Горобець Микола Миколайович,

Харківський національний університет, завідувач
кафедри прикладної електродинаміки;

доктор технічних наук, професор

Кривуля Геннадій Федорович,

Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри автоматизації та
проекування обчислювальної техніки

Захист відбудеться “___” червня 2009 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “___” травня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.І. Приходько

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема забезпечення високої завадостійкості систем радіозв'язку є однією з основних у загальному комплексі проблем їх розвитку і вдосконалення. Це насамперед викликано постійним збільшенням кількості користувачів таких мереж. Нині на території України інтенсивно розвивається відомча мережа зв'язку, на основі цифрових транкінгових систем зв'язку. Перспективним у даному напрямку обрано стандарт TETRA. Даний стандарт належить системам професійного зв'язку, і набув широкого розповсюдження у відомчих службах, а також у корпоративному секторі. Виробництво обладнання даного стандарту виконується великою кількістю виробників по всьому світу внаслідок його відкритості.

Слід зазначити, що на території Росії функціонує проект на підтримку даного стандарту під назвою TETRAPUS. При цьому глобальна його реалізація на території Росії планується у зв'язку з проведенням олімпіади в 2014 році.

В Україні прийнята програма, спрямована на розвиток мережі професійного зв'язку з використанням стандарту TETRA. Для його функціонування вже виділено, а також планується до виділення діапазон частот 380-450 МГц. Даний стандарт вже використовується на території України в службах аеропортів, нафтогазової промисловості, на будівельних майданчиках та в інших областях.

Вся зростаюча кількість радіоелектронних засобів (РЕЗ) різного призначення призводить до утворення множинного характеру електромагнітних взаємодій між ними. Водночас, ще більше загострюється проблема електромагнітної сумісності (ЕМС) в межах виділених частотних діапазонів.

Однак в умовах складної електромагнітної обстановки (ЕМО) використання частотно-часових, кодових та енергетичних методів забезпечення завадостійкості в цифрових стандартах транкінгового зв'язку є недостатнім.

Актуальність тематики визначає той факт, що сьогодні всіма авторами показана висока ефективність використання ширококутових сигналів, у тому числі й сигналів із стрибкоподібною зміною частоти (СЗЧ). Враховуючи відкритість стандарту TETRA, виникає можливість удосконалення стандарту без зміни процесу ведення зв'язку. До таких можна віднести метод СЗЧ і просторово-часової обробки сигналу (ПЧОС). Однак забезпечити їх спільне використання досить складно, оскільки при переході на кожен нову частотну позицію потрібен новий амплітудно-фазовий розподіл (АФР). При цьому відома обмежена кількість робіт, присвячених спільному використанню СЗЧ і ПЧОС в адаптивних антенних решітках (ААР). Тому основна увага в роботі приділена розробці методу спільного використання СЗЧ і ПЧОС в стандарті TETRA.

Крім того, використання ПЧОС зводиться не тільки до синтезу ААР. На базі ААР, окрім підвищення завадостійкості, можна добитися і реалізації

інших дуже важливих методів, спрямованих на підвищення ефективності. До таких методів належить просторово-часовий доступ (ПЧД).

Не зважаючи на те, що стандарт відпрацьований багатьма виробниками, необхідно забезпечити шляхи підвищення завадостійкості, а також їх прозорість. Використання вказаних методів передбачає зміну на фізичному рівні за умови, що решта всіх рівнів залишиться незмінними.

Таким чином, нові наукові результати і присвячені розробці вказаних процедур для використання в стандарті TETRA.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дослідження в дисертаційній роботі проводились відповідно до таких нормативних актів: Концепції розвитку зв'язку України до 2010 року, затверджена постановою Кабінету Міністрів України «Про концепцію розвитку зв'язку України» від 9 грудня 1999 року №2238; Концепції Національної програми інформатизації, схваленої Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р. №75/98-ВР; державної науково-технічної програми «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій»; тактико-технічного завдання на науково-дослідні роботи, виконувані Харківським національним університетом радіоелектроніки:

1. НДР №213-1 «Методи дослідження й аналізу електромагнітної сумісності в мобільних системах зв'язку» (ДР №0107U001568), в якій були впроваджені результати дисертаційної роботи з організації ПЧД у транкінгових системах зв'язку, а також результати натурного експерименту, що підтверджують можливість використання ПЧОС для ТСЗ TETRA в умовах міської забудови.

2. НДР «Дослідження шляхів створення інтегрованих інформаційних систем забезпечення управління рухомими об'єктами та їх складових (підсистем спостереження, навігації, зв'язку, збору, обробки та передачі інформації» (ДР №0103U004968), в якій були впроваджені результати дисертаційної роботи, а саме – метод підвищення завадостійкості ліній доступу до базових станцій транкінгових систем зв'язку, реалізованого шляхом використання ААР, а також метод спільного використання ПЧОС і СЗЧ.

3. Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі кафедри Телекомунікаційних систем ХНУРЕ, зокрема в курсах «Супутникові та радіорелейні системи передачі» та «Стільникові системи передачі», а також у методичних вказівках до лабораторних робіт з дисципліни «Стільникові системи передачі».

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення завадостійкості ліній доступу до базових станцій транкінгових систем зв'язку в умовах високої завантаженості частотного ресурсу та в умовах складної електромагнітної обстановки.

Науковою задачею досліджень є розвиток існуючих методів, спрямованих на підвищення завадостійкості ліній доступу до базових станцій і аналіз ефективності цих методів для використання в транкінговій системі

зв'язку (ТСЗ) TETRA, вирішення якої полягає у вирішенні часткових задач, а саме:

1. Аналіз існуючих та обґрунтування шляхів розвитку додаткових методів забезпечення завадостійкості ліній доступу до базових станцій (БС) ТСЗ TETRA.

2. Розвиток методу СЗЧ для застосування в ТСЗ TETRA, який дозволить підвищити завадостійкість ліній доступу і забезпечить прихованість сигналу.

3. Розвиток методу ПЧОС для застосування в ТСЗ TETRA і оцінка ефективності підвищення завадостійкості ліній доступу в умовах динамічної сигнально-завадової обстановки (СЗО).

4. Удосконалення методу спільного використання ПЧОС і СЗЧ в умовах динамічної СЗО і оцінка ефективності підвищення завадостійкості ліній доступу до БС ТСЗ TETRA.

5. Розвиток методу ПЧД для застосування в ТСЗ TETRA, що забезпечує покращення ЕМО в діапазоні частот, що використовуються, і підвищення завадостійкості ліній доступу до БС ТСЗ TETRA, а також оцінка його ефективності.

Об'єкт дослідження: підвищення завадостійкості ліній доступу до БС транкінгових систем зв'язку.

Предмет дослідження: методи підвищення завадостійкості, які базуються на використанні ПЧОС і СЗЧ у цифровій транкінговій системі радіозв'язку.

Методи досліджень. Під час аналізу впливу внутрішньосистемних і міжсистемних завад – методи системного аналізу, математичне й імітаційне моделювання, методи машинного експерименту, теорія ймовірностей, математичної статистики і випадкових процесів; під час вивчення умов поширення радіохвиль і СЗО в лініях ТСЗ – методи електродинаміки і статистичної радіофізики, прийому й обробки сигналів; під час розробки методів забезпечення ЕМС в ТСЗ – теорія і методи оптимізації, лінійне і нелінійне програмування, методи ПЧОС, управління в ААР, теорія оцінок та оптимального управління. В цілому, у роботі були використані елементи математичного аналізу, теорії випадкових процесів, диференціальних рівнянь, методи оптимізації та прийняття рішень, методи машинного експерименту і моделювання, методи натурального моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. **Дістав подальший розвиток** метод стрибкоподібної зміни частоти шляхом його використання у стандарті TETRA, який базується на зміні частоти сигналу в кінці передачі кожного кадру на частоти, з кращим відношенням сигнал/завада, та дозволяє підвищити завадостійкість і скритність сигналу в умовах динамічної сигнально-завадової обстановки.

2. **Дістав подальший розвиток** метод просторово-часової обробки сигналу шляхом його використання в стандарті TETRA, який базується на використанні процедури оцінки вектора вагових коефіцієнтів з метою подавлення завад, що надходять на вхід антенних елементів адаптивних антенних решіток, за умови їх некорельованості з сигналом, та дозволяє

підвищити завадостійкість транкінгової системи зв'язку TETRA в умовах динамічної сигнально-завадової обстановки.

3. **Удосконалено** метод спільного використання просторово-часової обробки сигналу і стрибкоподібної зміни частоти шляхом проведення попередньої оцінки сигнально-завадової обстановки на вході в адаптивну антенну решітку базової станції, вибором частот, що мають найвище відношення сигнал/завада, переналаштування на них сигналу, а також подавлення завад, що надходять на вхід антенних елементів адаптивної антенної решітки, та дозволяє підвищити завадостійкість сигналу і мінімізувати час адаптації системи до поточної сигнально-завадової обстановки.

4. **Дістав подальший розвиток** метод просторово-часового доступу шляхом його використання у стандарті TETRA, який базується на оцінці просторового спектра сигналів, та дозволяє підвищити завадостійкість сигналу шляхом виділення вузького просторового вікна в напрямі на абонента, а також підвищити електромагнітну сумісність у виділеному діапазоні частот.

Практичне значення отриманих результатів досліджень:

1) Розроблені практичні рекомендації щодо реалізації запропонованих методів підвищення завадостійкості ліній доступу до БС ТСЗ TETRA за рахунок використання методу СЗЧ. Показано, що зміну частоти раціонально проводити в кінці передачі кожного кадру сигналу TETRA, а повторне вимірювання СЗО і вибір частот з найкращим відношенням сигнал/завада (ВСЗ) в кінці кожного мультикадру. При цьому ВСЗ на вході антенної решітки (АР) підвищується на 7-8 дБ.

2) Розроблені практичні рекомендації щодо реалізації методу ПЧОС в ТСЗ TETRA на основі запам'ятовування вектора вагових коефіцієнтів (ВВК). Використання даного методу дозволяє підвищити завадостійкість ліній доступу до БС ТСЗ TETRA на 20-25 дБ, за умови використання 16-ти АЕ та ВСЗ на вході в ААР рівного 0 дБ.

3) Удосконалено метод ПЧОС для використання у системах зв'язку із СЗЧ і пристрій для його реалізації. Показано, що використання розробленого методу дозволяє обмежити час оцінки ВВК і тим самим звести до мінімуму перехідні процеси в ААР. Обґрунтовано доцільність використання запропонованого методу в ТСЗ TETRA з метою зменшення рівня завад на вході в ААР, а також підвищення ВСЗ на виході ААР на 25-30 дБ за умови використання 16-ти АЕ та ВСЗ на вході в ААР рівного 0 дБ. Для впровадження такого спільного методу необхідно провести лише модернізацію антенно-фідерного тракту і перепрограмування збудників гетеродинів. В цілому, методи ПЧОС і СЗЧ не призводять до зміни режиму ведення зв'язку в ТСЗ TETRA.

4) Розроблені практичні рекомендації щодо реалізації методу ПЧД з метою підвищення завадостійкості ліній доступу до БС ТСЗ TETRA, а також економії виділеного частотного ресурсу. Показано, що використання запропонованого методу дозволяє провести просторове виділення корисного

сигналу і тим самим обмежити завади, а також забезпечити можливість роботи декількох абонентів на одній частоті в зоні дії БС. Використання запропонованого методу дозволило на 20-25 дБ підвищити завадостійкість ліній доступу до БС ТСЗ TETRA за умови використання 16-ти АЕ та ВСЗ на вході в ААР рівного 0 дБ, а також в десятки разів заощадити частотний ресурс, що виділяється на функціонування однієї БС. Впровадження цього методу вимагає модернізації антенно-фідерного тракту, збільшення кількості прийомо-передавачів і перегляду технології доступу до БС.

Отримані результати були використані під час проведення науково-дослідних робіт, виконуваних за участю здобувача в ХНУРЕ. Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ, зокрема в курсах «Супутникові і радіорелейні системи передачі» та «Стільникові системи передачі», а також у методичних вказівках до лабораторних занять з дисципліни «Стільникові системи передачі».

Особистий внесок здобувача у спільних публікаціях. У роботі [1] авторові належить аналіз ефективності використання ПЧД в ТСЗ, а також розробка схеми ПЧОС для його забезпечення, в роботі [2] автором проведено аналіз підвищення завадостійкості доступу за рахунок використання просторового ресурсу в задачах радіодоступу.

Апробація результатів дисертації: основні результати досліджень доповідалися та були схвалені на шести науково-технічних конференціях і форумах: Міжнародній науково-технічній конференції «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» ІКТМ-2006 (Харків, 2006) [6]; Першій міжнародній конференції «Глобальні інформаційні системи. Проблеми та тенденції розвитку» (Туапсе, 2006) [5]; 11-му міжнародному молодіжному форумі „Радіоелектроніка і молодь у ХХІ ст.” (Харків, 2007) [7]; Науково-технічній конференції «Проблеми телекомунікацій» (Київ, 2007) [8]; Науково-практичній конференції «Перспективні технологічні та ринкові напрями розвитку телекомунікаційних послуг у новітніх безпроводових системах зв'язку» (Одеса, 2007) [9]; 13-му міжнародному молодіжному форумі „Радіоелектроніка і молодь у ХХІ ст.” (Харків, 2009) [10].

Публікації: за темою дисертації подано 10 наукових праць, опублікованих у наукових журналах, з них: 4 – у спеціалізованих виданнях, включених до переліку ВАК України. Результати доповідалися на наукових семінарах кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ, на 2-х Міжнародних конференціях [5,6] і 2-х Міжнародних форумах [7,10], а також на 2-х загальноукраїнських конференціях [8,9]. Всі виступи за темою дисертації. Подана заявка на винахід №а 2008 13027.

Структура і обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, 5-ти розділів, висновку з роботи і списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 171 сторінку, із них: 158 сторінок основного тексту, 46 рисунків, 11 таблиць, 116 джерел бібліографічного огляду.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність наукової задачі і досліджень, які були проведені у дисертаційній роботі, сформульовані мета і задача роботи, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію на конференціях і публікацію результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі розглянуті тенденції розвитку мереж професійного мобільного зв'язку (ПМЗ) на території України, з використанням стандартів транкінгового зв'язку. Проведено аналіз сучасних методів забезпечення завадостійкості в стандартах транкінгового зв'язку. Наведено обґрунтування необхідності впровадження нових методів з метою підвищення завадостійкості ліній доступу до БС цих систем.

Огляд законодавчих актів України показав, що розвиток мережі ПМЗ необхідно проводити шляхом впровадження технологій професійного радіозв'язку, які забезпечують взаємодію з існуючими технологіями різних операторів зв'язку на території України, а також технологіями, що використовуються в країнах Європи та світу.

Показано, що із професійних систем зв'язку, таких як конвенційні, стільникові та транкінгові, саме цифрові ТСЗ дозволяють задовольнити всі вимоги, що висувуються перед мережею ПМЗ на території України. Внаслідок аналізу стандартів цифрових ТСЗ встановлено, що стандарт TETRA найбільшою мірою задовольняє вимоги українського ринку ПМЗ та обраний як основний стандарт ПМЗ у багатьох країнах світу.

Отже, було проведено аналіз ЕМС в діапазоні частот 380-450 МГц, частина якого вже виділена, а частина запланована до виділення для функціонування стандартів цифрових ТСЗ. Аналіз ЕМС показав, що в даному діапазоні частот функціонує, а також запланована до функціонування значна кількість різних радіотехнологій, що призводить до достатньо складної ЕМО.

Встановлено, що існуючі методи забезпечення завадостійкості в ТСЗ TETRA, такі як завадостійке кодування і диференційна квадратурна фазова модуляція із зсувом символів $\pi/4$ (DQPSK- $\pi/4$), не дозволяє забезпечити достатній рівень завадостійкості ліній доступу до БС. Це призведе до погіршення якості зв'язку, зменшення зони обслуговування та відмови в обслуговуванні.

Прийнято рішення про необхідність розробки додаткових заходів, спрямованих на підвищення завадостійкості ліній доступу до БС в ТСЗ TETRA, забезпечення ЕМС, підвищення надійності зв'язку, забезпечення доступу до мережі та підвищення якості роботи мережі. Показано, що досягнення поставленого результату планується проводити шляхом вирішення ряду задач, зокрема:

- використання методів і алгоритмів ПЧОС та ААР у ТСЗ;
- використання СЗЧ та вибір каналу з найкращим ВСЗ;
- розробка заходів, спрямованих на спільне використання ПЧОС та СЗЧ у ТСЗ;

- розробка рекомендацій щодо забезпечення функціонування ПЧД у ТСЗ.

У другому розділі показано, що основними методами підвищення завадостійкості ліній доступу до БС у ТСЗ є просторові, часові та частотні, а саме ПЧОС та СЗЧ. Проведено аналіз ефективності підвищення завадостійкості ліній доступу даними методами, розроблено рекомендації з їх використання в ТСЗ TETRA.

Розроблено методологічний підхід, що використовується для синтезу задач підвищення завадостійкості ТСЗ. Під час використання даного методологічного підходу методи підвищення завадостійкості ТСЗ розділені на два класи функцій створюваної системи:

- основні $\{O\Phi_i\}$ – вимагають зміни характеристик стандарту;
- додаткові $\{D\Phi_j\}$ – передбачають лише додаткові множини характеристик створюваної системи.

Прийнято рішення про розробку методів, які дозволяють розширити множини $\{D\Phi_j\}$, що визначаються у множині $\{O\Phi_i\}$. Внаслідок цього композиція рішень з підвищення завадостійкості ТСЗ TETRA, наведена у вигляді методів, які базуються на підвищенні ВСЗ на виході ААР, підвищенні ВСЗ шляхом виділення просторового вікна в напрямку на абонента, економії частотного ресурсу, підвищенні ЕМС у виділеному діапазоні частот.

Вирішення поставлених задач проводиться шляхом використання апарата нечіткої логіки, оскільки процедура прийняття рішень виконується в умовах невизначеності. Невизначеність виявляється у браку інформації про ефективність використання $\{D\Phi_j\}$, а саме – у відсутності свідчень про результати використання того або іншого методу в ТСЗ TETRA.

Нечітка множина реалізацій створюваної ТСЗ на основі альтернативних варіантів, наведена у вигляді:

$$HM_A = \{\beta_{HM}(a_1)/a_1, \beta_{HM}(a_2)/a_2, \dots, \beta_{HM}(a_n)/a_n\}, \quad (1)$$

де HM_A – нечітка множина;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – властивість, що реалізується шляхом використання різних варіантів методів (a_i);

$\beta_{HM}(a_i)$ – ступінь належності методу $a_i \in A$ нечіткій множині.

Внаслідок цього перелік варіантів методів, що реалізуються, визначається за допомогою системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{HM}_{\text{ПЧОС}} = \left\{ \beta_{\text{HM}}(\text{ПЧОС}_1) / \text{ПЧОС}_1, \beta_{\text{HM}}(\text{ПЧОС}_2) / \text{ПЧОС}_2, \dots, \right. \\ \left. \dots, \beta_{\text{HM}}(\text{ПЧОС}_n) / \text{ПЧОС}_n \right\}; \\ \text{HM}_{\text{ААР}} = \left\{ \beta_{\text{HM}}(\text{ААР}_1) / \text{ААР}_1, \beta_{\text{HM}}(\text{ААР}_2) / \text{ААР}_2, \dots, \beta_{\text{HM}}(\text{ААР}_n) / \text{ААР}_n \right\}; \\ \text{HM}_{\text{СЗЧ}} = \left\{ \beta_{\text{HM}}(\text{СЗЧ}_1) / \text{СЗЧ}_1, \beta_{\text{HM}}(\text{СЗЧ}_2) / \text{СЗЧ}_2, \dots, \beta_{\text{HM}}(\text{СЗЧ}_n) / \text{СЗЧ}_n \right\}; \\ \text{HM}_{\text{ПЧД}} = \left\{ \beta_{\text{HM}}(\text{ПЧД}_1) / \text{ПЧД}_1, \beta_{\text{HM}}(\text{ПЧД}_2) / \text{ПЧД}_2, \dots, \beta_{\text{HM}}(\text{ПЧД}_n) / \text{ПЧД}_n \right\}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Результатом використання методологічного підходу з синтезу задач підвищення завадостійкості ТСЗ TETRA, є формування шкали важливості того чи іншого методу, наведеної у вигляді:

$$V = (v_{\text{ПЧОС}}, v_{\text{ААР}}, v_{\text{СЗЧ}}, v_{\text{ПЧД}}). \quad (3)$$

Прийнято рішення про використання методів ПЧОС, СЗЧ та ПЧД, з метою підвищення завадостійкості ТСЗ TETRA.

Показано, що ефективним способом радикального підвищення ВСЗ для ТСЗ є адаптивні методи, які базуються на комплексній ПЧОС, що реалізують стратегію управління базисом спостереження кожної абонентської станції. Задача ПЧОС – це комплекс задач, що містить синтез ААР і методи оцінки просторового спектра. Задача полягала в тому, щоб коректно їх застосувати для підвищення ВСЗ і знайти найбільш ефективні рішення в конкретних умовах функціонування ТСЗ.

Проаналізована можливість використання ААР. Проведено порівняння різних алгоритмів, синтезованих за критеріями мінімуму середньоквадратичного відхилення (МСКВ), максимуму відношення сигнал/завада (МВСЗ), мінімуму вихідної потужності (МВП). Як показали дослідження, при нестационарній СЗО алгоритми, які синтезовано за критеріями МСКВ, МВСЗ, МВП, мають приблизно однакову швидкість збіжності та ефективність придушення завад. Однак використання алгоритму, синтезованого за критерієм МВСЗ, дозволяє проводити адаптацію системи до СЗО в умовах відсутності сигналу.

Проведено аналіз якості використання методу ПЧОС у ТСЗ TETRA. Показано, що використання алгоритму, синтезованого за критерієм МВСЗ, дозволяє підвищити ВСЗ на виході ААР до 20...25 дБ і більше, за умови, що ВСЗ на вході в ААР складає 0 дБ. Показано, що збільшення кількості антенних елементів (АЕ) в ААР призводить до підвищення ефективності використання ПЧОС, а саме збільшується ВСЗ. Однак при цьому також зростає крок обробки, що призводить до зменшення швидкості обробки відносно довжини часового інтервалу ТСЗ TETRA, який складає 14,57 мс.

Прийнято рішення про використання додаткових способів ПЧОС, які дозволяють проводити запам'ятовування ВВК. Це дало можливість проведення адаптації до СЗО лише на початковому етапі встановлення

з'єднання. При цьому ефективність використання алгоритмів ААР не зменшується і ВСЗ залишається на тому самому рівні.

За допомогою імітаційного моделювання проведено аналіз ефективності використання ПЧОС у ТСЗ TETRA при нестационарній СЗО. Нестационарність СЗО під час моделювання полягала у зміні кута надходження сигналу, при переході на наступний часовий інтервал.

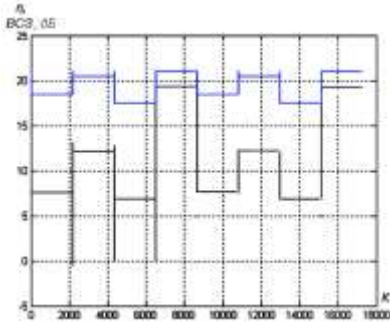


Рис. 1. Залежність ВСЗ на виході ААР, з запам'ятовуванням ВВК, від кількості кроків обробки для алгоритму МВСЗ при кількості АЕ $N = 4$

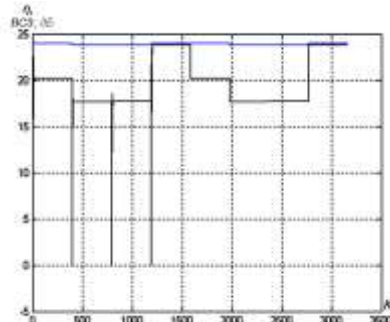


Рис. 2. Залежність ВСЗ на виході ААР, з запам'ятовуванням ВВК, від кількості кроків обробки для алгоритму МВСЗ при кількості АЕ $N = 8$

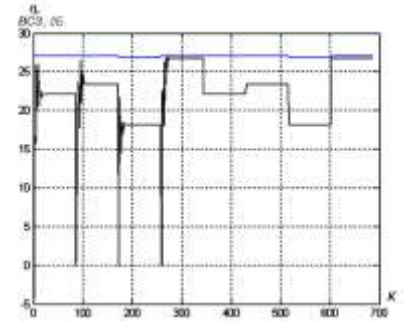


Рис. 3. Залежність ВСЗ на виході ААР, з запам'ятовуванням ВВК, від кількості кроків обробки для алгоритму МВСЗ при кількості АЕ $N = 16$

На рис.1, 2 і 3 наведено графіки ВСЗ на виході ААР в процесі адаптації з запам'ятовуванням ВВК для алгоритму МВСЗ при кількості антенних елементів $N = 4$, $N = 8$ і $N = 16$. Моделювання здійснювалось для випадку, коли на вхід ААР надходять сигнали під різними кутами відносно нормалі АР, від 4-х абонентів, рознесених у просторі. З даних графіків видно, що швидкість збіжності збільшується при збільшенні кількості АЕ і складає від 5-ти до 20-ти кроків. Досягши свого максимального значення, ВСЗ знаходиться в межах розлаштування ВВК, який є параметром, що управляє в процесі адаптації та утримує необхідне значення. Використання запам'ятовування ВВК дозволяє розпочати роботу системи з оціненого значення ВВК і не проводити повторний процес адаптації, спрямований на досягнення цього значення.

Запропоновано використання способу розширення спектра сигналу, в основу якого покладена СЗЧ, з метою забезпечення функціонування ТСЗ в умовах наявності різнорідних завад, прихованості сигналу, багатопроменевого поширення радіохвиль, а також зменшення потужності передавача без зменшення якості зв'язку. Використання СЗЧ дозволяє розширити смугу сигналу. Це забезпечує прихованість сигналу від перехоплення станціями радіотехнічної розвідки, що є важливою вимогою для мереж ПМЗ.

Показано, що зміну частоти планується проводити на основі псевдовипад-кового коду шляхом забезпечення синхронізації передавача та приймача. При цьому найбільш раціонально використовувати зміну набору

частот в кінці кожного мультикадру ТСЗ TETRA, тобто кожні 1,02 с. Службову інформацію про зміну частоти запропоновано передавати в стандартному пакеті безперервного каналу для напряму зверху вниз – NDB. Більш ефективне подавлення завади в ТСЗ можливо забезпечити шляхом використання СЗЧ з попередньою оцінкою СЗО на вході в ААР, та вибором частот, на яких рівень завад мінімальний.

За допомогою імітаційного моделювання проведено аналіз ефективності використання СЗЧ в ТСЗ TETRA при нестационарній СЗО. Нестационарність СЗО при моделюванні полягала в зміні потужності завади на вході в ААР. Результати аналізу подано на рис. 4 і 5.

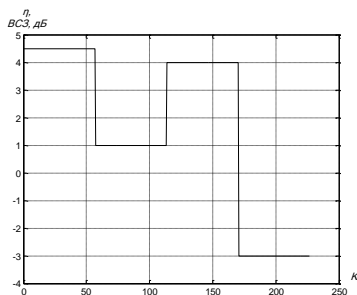


Рис. 4. Залежність ВСЗ від кількості кроків обробки на різних частотних позиціях

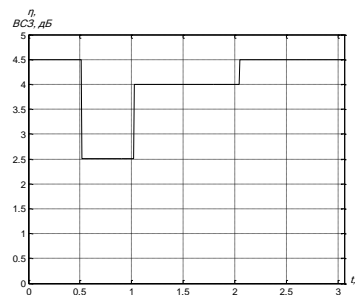


Рис. 5. Залежність ВСЗ від часу прийому сигналу з використанням СЗЧ та вибором частоти з найкращою СЗО

З рис. 5 видно, що вимірювання СЗО на вході в ААР дозволяє підвищити ВСЗ на виході ААР порівняно з результатами, які наведено на рис. 4, і відмовитись від використання частотних позицій з потужними завадами. Внаслідок цього забезпечується підвищення завадостійкості ліній доступу до БС ТСЗ.

У третьому розділі розроблено метод підвищення завадостійкості ліній доступу до БС в ТСЗ на основі спільного використання ПЧОС і СЗЧ в умовах динамічної СЗО.

Проведено вибір способу спільного використання СЗЧ і ПЧОС з трьох основних способів:

- послідовним виконанням операцій «ПЧОС – СЗЧ»;
- послідовним виконанням операцій «СЗЧ – ПЧОС»;
- паралельним виконанням операцій «ПЧОС || СЗЧ».

Як основний було обрано другий спосіб «СЗЧ – ПЧОС», що забезпечує ПЧОС в достатньо вузькій смузі частот. При цьому перший спосіб «ПЧОС – СЗЧ» потребує формування значної кількості нулів діаграми спрямованості (ДС), для зменшення кількості заважаючих сигналів, а третій спосіб потребує значних обчислювальних потужностей. Недоліком другого способу є необхідність зменшення тривалості перехідних процесів.

За допомогою імітаційного моделювання проведено аналіз ефективності підвищення завадостійкості ТСЗ шляхом спільного використання методів ПЧОС з запам'ятовуванням ВВК та СЗЧ шляхом попереднього вибору частоти з найкращою СЗО. Для імітаційного моделювання була використана лінійна еквідистантна ААР з кількістю АЕ $N=16$, а також сигнал ТСЗ TETRA з характеристиками: для передачі сигналу використовується чотири частотні позиції: $f_{c1} = 405$ МГц, $f_{c2} = 400$ МГц, $f_{c3} = 390$ МГц, $f_{c4} = 395$ МГц. При цьому, на кожній з частотних позицій ВСЗ складає: $\eta_{n1} = 0$ дБ, $\eta_{n2} = -1,5$ дБ, $\eta_{n3} = -3$ дБ, $\eta_{n4} = -2$ дБ. Протягом часу передачі першого кадру сигналу, на частоті $f_{c2} = 400$ МГц, значення ВСЗ на вході ААР збільшується і складає $\eta_{n2} = 6$ дБ. При цьому кут надходження сигналу від першого абонента

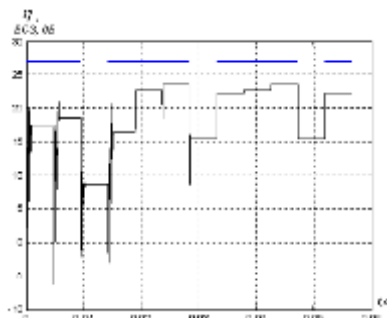


Рис. 6. ВБСЗ на виході ААР ТСЗ TETRA під час використання ПЧОС з запам'ятовуванням ВВК і СЗЧ

$\theta_{c1} = 15^\circ$, від другого абонента $\theta_{c2} = 120^\circ$, від третього абонента $\theta_{c3} = 45^\circ$ і від четвертого $\theta_{c4} = 260^\circ$. Кут надходження завади при цьому складає $\theta_j = 30^\circ$. Результати моделювання наведено на рис.6.

З графіка на рис. 6 видно, що спільне використання ПЧОС і СЗЧ дозволяє підвищити завадостійкість ТСЗ TETRA шляхом збільшення ВБСЗ на виході ААР на 20-25 дБ. Однак, запам'ятовування ВВК не дозволяє проводити його повторну оцінку, що призводить до негативних наслідків. Як

видно з рис. 6, збільшення ВБСЗ в момент передачі другого і третього кадру виконується за рахунок переходу на іншу частотну позицію з найкращою СЗО, але при цьому не проводиться повторна адаптація.

Прийнято рішення про необхідність забезпечення можливості повторної оцінки ВВК при зміні СЗО на вході в ААР. Вибрано спосіб попередньої оцінки ВВК, який разом з алгоритмом ПЧОС, синтезованим за критерієм МВСЗ, дозволяє проводити оцінку ВВК до початку прийому сигналу.

Розроблено метод, що дозволяє провести попередню оцінку ВВК, підвищити завадостійкість ТСЗ, а також скасувати перехідні процеси в моменти зміни СЗО на вході в ААР. Суть даного методу полягає у використанні двох каналів адаптації в схемі ПЧОС, що дозволяє по чергово використовувати їх для прийому сигналу і проведення попередньої оцінки ВВК, для наступного інтервалу прийому сигналу.

За допомогою імітаційного моделювання проведено аналіз ефективності підвищення завадостійкості ТСЗ шляхом спільного використання методів ПЧОС, з попередньою оцінкою ВВК та СЗЧ, з попереднім вибором частоти з найкращою СЗО (рис. 7). Для імітаційного моделювання були використані ті самі умови прийому сигналу, що і в попередньому випадку.

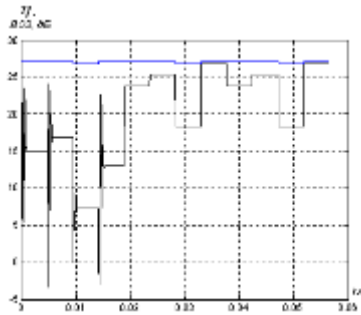


Рис. 7. СЗЧ на виході ААР ТСЗ ТЕТРА при використанні ПЧОС з попередньою оцінкою ВВК і СЗЧ

Як видно з графіка на рис. 7, попередня оцінка ВВК дозволяє підвищити завадостійкість ТСЗ ТЕТРА за рахунок збільшення СЗЧ на 25-30 дБ і виключення процесу оцінки ВВК на початку прийому часового інтервалу корисного сигналу. Це передусім викликано тим, що оцінка ВВК виконується завчасно, а також тим, що система виконує адаптацію до динамічної СЗО в реальний момент часу.

Встановлено, що використання лінійної еквідистантної ААР з кількістю АЕ $N=16$ є неефективним за рахунок значних габаритів, що призводить до збільшення економічних витрат під час побудови антенної системи. Прийнято рішення про використання кільцевої ААР. Показано, що використання кільцевої ААР призведе до зменшення габаритів антенної системи, а також ніяк не вплине на ефективність прийому сигналу. Сигнали, що приймаються кільцевою ААР, відрізняються від сигналів на вході лінійної еквідистантної ААР лише різницею фаз.

У четвертому розділі розроблено практичні пропозиції щодо організації ПЧД у ТСЗ. Задача завадостійкості, яка при цьому вирішується, дозволяє економити радіочастотний ресурс, розширювати зростаючу кількість користувачів в умовах значного частотного завантаження.

Використано алгоритм, а також удосконалено схему організації ПЧД для доступу до БС ТСЗ з використанням багатопроменевої антени (БПА). Показано, що організація зв'язку з БС за допомогою ПЧД здійснюється в три етапи: організація заявки на зв'язок з абонентським терміналом, визначення напрямку надходження сигналу від абонента, надання абоненту зв'язку по вузькому променю, що формується та виділяється БПА відповідно до заявки.

На першому етапі під час організації зв'язку БС приймає заявку за допомогою ширококутового сигналу, що забезпечує високу надійність.

На другому етапі передбачається включення рекурсивної процедури оцінки просторового спектра, за допомогою якої вирішується задача визначення напрямку прийому сигналу. При цьому на другому етапі можна виділити три основні компоненти:

- 1) виділення просторового вікна за допомогою управляючого вектора:

$$\vec{V}(\theta_c) = [\exp(\sin(\theta_c / 180) \cdot \pi), \exp(j \sin(\theta_c / 180) \cdot \pi), \dots, \exp(j(n-1) * (\sin(\theta_c / 180) \cdot \pi)), \dots, \exp(j(N-1) * (\sin(\theta_c / 180) \cdot \pi))], \quad (4)$$

де n – номер антенного елемента $n = \overline{0, N-1}$; N – кількість антенних елементів; θ_c – кут (напрямок просторового вікна);

- 2) подавлення сигналів, що надходять зі всіх невиділених напрямів. Дана процедура реалізована з використанням алгоритму Аппельбаума, для подавлення сигналів поза виділеним вікном та має такий вигляд:

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) - 2\mu(k)[\vec{X}(k)\vec{W}^T(k)\vec{X}(k) - \vec{V}(\theta_c)], \quad (5)$$

де $\mu(k)$ – кроковий коефіцієнт; $\vec{X}(k)$ – вектор сигналів;

3) рекурсивне визначення відмітки відповідності амплітуди і просторової фази у виділеному вікні

$$P(k+1, \theta_c) = P(k, \theta_c) + \vec{W}(\theta_c)^T \vec{X}(k) \cdot \vec{X}(k)^T \vec{W}(\theta_c). \quad (6)$$

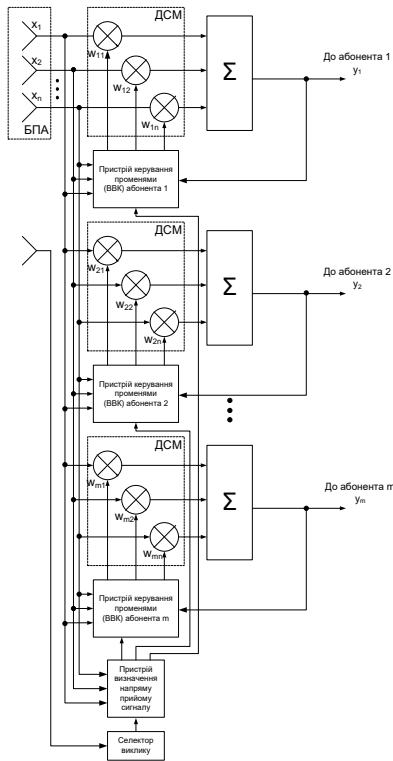


Рис. 8. Схема організації ПЧД в ТСЗ

До початку третьої фази перехідні процеси другої фази мають бути завершені. При цьому залишається відмітка про сигнал, що потрапляє в захисне вікно. Розроблено структурну схему організації ПЧД N -елементною ААР для забезпечення зв'язку з m абонентами в ТСЗ, яка наведена на рис. 8. Згідно з даною схемою, у пристрої управління ВБК генерується опорний сигнал відповідно до інформації про напрямок надходження сигналу від абонента і формується ВБК. Далі зважений сигнал надходить на суматор і приймач. Таким чином, для кожного абонента формується свій вузький просторовий промінь БПА.

Для оцінки ефективності застосування ПЧД проведено машинний експеримент. Отримано залежності ширини просторового променя від кількості антенних елементів, а саме 10, 30, 50, 100, 200. Встановлено, що

збільшення кількості АЕ дозволяє зменшити ширину просторового променя. Внаслідок цього БС отримує можливість формування більшої кількості просторових променів і тим самим забезпечує підвищення завадостійкості під час прийому сигналів. Також при цьому виконується економія частотного ресурсу за рахунок використання однієї і тієї самої частоти у різних напрямках, що дозволяє забезпечити покращення умов ЕМС. Однак збільшення кількості АЕ призводить до збільшення габаритів антенної системи. Встановлено, що використання 16-ти АЕ дозволяє виконувати просторове розпізнавання сигналів, які приймаються на одній частоті та мають різницю кута надходження на вхід ААР не менше 10° .

Отже, організація ПЧД дає можливість значно скоротити необхідний частотний ресурс ТСЗ, підвищити завадостійкість, а також зменшити потужності передавачів мобільних станцій.

У п'ятому розділі дано практичні рекомендації щодо використання ТСЗ TETRA на території України.

Показано, що проведення багатокритеріальної оцінки якості інфраструктури мережі можливе за рахунок використання методу внутрішньосистемної оптимізації. Використання цього методу також дозволяє забезпечити практичну реалізацію оптимальних шляхів побудови системи ПМЗ, що проектується.

Показано, що первинне завдання багатокритеріальної оптимізації може бути вирішене з позиції логіки, у вигляді впровадження методів ПЧОС, СЗЧ, ААР, ПЧД. Використання цих методів забезпечує підвищення якості ТСЗ TETRA, що полягає у підвищенні завадостійкості ліній доступу до БС, прохованості сигналу, економії частотного ресурсу та енергетики лінії зв'язку.

Показано організацію бізнес-процеса для прийняття рішення з оцінки зони обслуговування БС з використанням методики Хата. Проведено імітаційне моделювання з метою визначення рівня загасання сигналу ТСЗ TETRA, в залежності від відстані його поширення у вільних умовах, а також в умовах міської та сільської забудови. При цьому було прийнято, що висота підйому мобільної станції складає 1,5 м, частота передачі сигналу 380 МГц, а висота антени БС змінювалась і приймала значення 30 м, 50 м, 100 м. Внаслідок цього встановлено, що дальність зв'язку в найбільш розповсюджених умовах, коли висота підйому антени БС складає близько 30 м, у вільному просторі склала 60 км, в умовах сільської забудови – 32 км, а в умовах міської забудови – 9,5 км.

Встановлено, що під час використання ПЧД в ТСЗ TETRA ефективним є спосіб повторного використання частот на основі трихсекторних комірок, для більш ефективної економії частотного ресурсу, або способу розробленого фірмою Motorola, для умов з високою щільністю абонентів. Використання даних способів спільно з ПЧД дозволяє зберегти площу обслуговування однієї БС максимальною, без впровадження додаткових частотних та енергетичних ресурсів.

Проведено натурний експеримент, який показав, що ААР та ПЧОС можуть бути використані в ТСЗ TETRA в міських умовах. Внаслідок відсутності обладнання стандарту TETRA для експерименту було використано обладнання технології 802.11n: маршрутизатор моделі D-Link DIR-655, а також приймачі AR-5000 і AR-3000. Експеримент проводився у навчальній аудиторії ХНУРЕ, в якій розміщено навчальне обладнання, меблі, комп'ютери. Внаслідок експерименту були отримані взаємкореляційні характеристики сигналу на виході двох приймачів. Використані результати в інтерпретації для ТСЗ TETRA обґрунтовані за допомогою методу електродинамічної подібності.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В роботі вирішена актуальна науково-практична задача, яка полягає у підвищенні завадостійкості ліній доступу до базових станцій транкінгових систем зв'язку на 25-30 дБ, в умовах високої завантаженості частотного ресурсу і в умовах складної електромагнітної обстановки. Під час вирішення наукової задачі отримані такі результати:

1. Встановлено, що на території України в мережах транкінгових систем зв'язку, не зважаючи на наявність певних заходів щодо забезпечення завадостійкості, електромагнітна обстановка, яка формується при використанні мереж різних відомчих служб, є досить критичною. Це створює певні труднощі під час побудови мережі професійного мобільного зв'язку, оскільки однією з основних її вимог є надійність та якість, і тому потребує додаткових заходів з підвищення завадостійкості ліній доступу та вирішенню задач електромагнітної сумісності.

2. Зважаючи на те, що частотно-часовий ресурс у виділеному діапазоні близький до вичерпання, вибір додаткових методів, що забезпечують необхідну завадостійкість, слід проводити серед просторово-часових методів, заснованих на використанні просторово-часової обробки сигналів в адаптивних антенних решітках, стрибкоподібної зміни частоти та просторово-часового доступу, що дасть змогу підвищити завадостійкість ліній доступу до базових станцій транкінгових систем зв'язку. Показано, що використання методів просторово-часової обробки сигналів дає змогу підвищити завадостійкість транкінгової системи зв'язку TETRA на десятки дБ, а використання просторово-часового доступу дає змогу підвищити завадостійкість доступу до базових станцій, а також значно полегшить електромагнітну обстановку в зоні дії базової станції.

3. Показано, що використання 16-елементних ААР при типових співвідношеннях сигнал/завада, дозволяє підвищити відношення сигнал/завада на її виході на 22 дБ, а використання 4-х і 8-и антенних елементів на 14 і 20 дБ відповідно. Доопрацьовано відомий алгоритм МВСЗ з метою зменшення часу адаптації ААР до поточної сигнально-завадової обстановки. Запропоновано використання методу запам'ятовування ВВК.

4. Показано, що додатковими заходами, спрямованими на підвищення завадостійкості ліній доступу, є використання методів стрибкоподібної зміни частоти, що потребує деяких змін у перебудові приймально-передавальних трактів і може бути безпосередньо використано при відповідному перепрограмуванні збуджувача-гетеродина. Показано, що для забезпечення сталого режиму функціонування системи зі стрибкоподібною зміною частоти (необхідної швидкодії, прихованості сигналу) слід проводити зміну частоти в кінці кожного кадру. Така зміна частот може забезпечити додатковий рівень завадостійкості шляхом підвищення ВСЗ на 7...8 дБ.

5. Показано, що зміна частот при спільному використанні зі просторово-часовою обробкою сигналу потребує відповідної модернізації цих методів. Розроблено метод спільного використання просторово-часової обробки сигналу і стрибкоподібної зміни частоти, який проводить попередню оцінку вектора вагового коефіцієнта шляхом використання в процесорі просторово-часової обробки сигналу ключів перемикання між каналами оцінки ВВК. Запропоновано використання в якості антени – конструкції у вигляді системи кільцевої антенної решітки, що дозволяє зменшити габарити антенної системи порівняно з лінійними.

6. Запропоновано новий динамічний алгоритм просторово-часового доступу до базової станції в транкінговій системі зв'язку TETRA, що дозволяє заощадити частотний ресурс шляхом використання в кожному просторовому напрямі однієї і тієї самої частоти сигналу. Організація просторово-часового доступу дає змогу одночасно підвищити завадостійкість прийому сигналів, за рахунок використання окремих вузьких променів замість ізотропної діаграми. При цьому використання просторово-часового доступу не вимагає переробки алгоритмів мережних елементів і режимів їх функціонування, обмежуючись лише модернізацією антенної системи.

7. Проведені експериментальні натурні випробування спрямовані на аналіз механізму багатопроменевості, що впливає на ефективність просторово-часової обробки сигналу. Експеримент виконаний в діапазоні частот систем Wi-Fi. Інтерпретація результатів для системи TETRA дається з використанням методу електродинамічної подібності. Показано, що інтервал просторової кореляції приймального сигналу в 5-7 разів перевищує розміри антенної решітки. Це дозволяє вважати розподіл поля по апертурі антенної решітки близьким до лінійно-розподіленого, тобто фронт хвилі в межах апертури практично плоский.

8. Запропоновано методику проектування мережі професійного мобільного зв'язку на базі транкінгової системи зв'язку TETRA на базі методу багатокритеріальної оптимізації та оцінки якості інфраструктури цієї мережі. Приклад використання методики здійснено на основі порівняння існуючих типових мереж з гіпотетичною мережею, яка використовує запропоновані в роботі методи заощадження радіочастотного спектра та просторово-часового доступу. Запропоновані методи дозволяють в десять разів підвищити ефективність використання радіочастотного спектра, в порівнянні з існуючими мережами транкінгового зв'язку.

9. Показано, що для напруженої сигнально-завадової обстановки, яка складається в типових умовах повного завантаження транкінгової системи зв'язку TETRA, коли рівень сигналу відносно суми всіх завад зменшується до величини 5...10 дБ, дальність дії базової станції зменшується з 60 км на відкритій місцевості до 15...20 км, у сільській місцевості з 32 до 8...10 км, а в умовах міської забудови з 9,5 до 0,5...1,5 км. Водночас використання адаптивних антенних решіток спільно зі стрибкоподібною зміною частоти практично повністю відновлює зону обслуговування.

10. Встановлено, що використання просторово-часового доступу в транкінговій системі зв'язку TETRA, дозволяє перейти від побудови кластерів, що складаються з 19-ти комірок, до трисекторних комірок, для більш ефективної економії частотного ресурсу і методу повторного використання частот розробленого фірмою Motorola, для ділянок мережі з високою щільністю абонентів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гаркуша С. В. Пространственно-временной доступ как метод экономии частотного ресурса в транкинговых системах связи / Гаркуша С. В.,

- Поповский В. В. // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2007. – Вып.148. – С.198-204.
2. Гаркуша С. В. Активное использование пространственно-поляризационного ресурса в задачах радиодоступа / С. В. Гаркуша, В. В. Поповский // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2007. – Вып.151. – С.204-209.
3. Гаркуша С. В. Повышение помехозащищенности системы радиосвязи со скачкообразным изменением частоты путем использования предварительной настройки вектора весовых коэффициентов / С. В. Гаркуша // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Вып. 6/3(36). – С. 4-7.
4. Гаркуша С.В. Пространственно-временная обработка сигнала в цифровой системе радиосвязи / С. В. Гаркуша // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2008. – Вып.155. – С. 240-245.
5. Гаркуша С. В. Сравнительный анализ стандартов цифровой транкинговой радиосвязи: зб. матеріалів 1-ої міжнародної конференції [«Глобальні інформаційні системи. Проблеми та тенденції розвитку»] / Х. : ХНУРЕ, 2006. С. 309-310.
6. Гаркуша С. В. Анализ эффективности алгоритмов адаптивных антенных решеток в линиях сотовой связи: зб. праць Міжнародної науково-технічної конф. [«Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні – 2006»] / Х. : Національний аерокосмічний університет „Харківський авіаційний інститут”, 2006. С. 269.
7. Гаркуша С. В. Пространственно-временной доступ как метод экономии частотного ресурса в транкинговых системах связи: зб. матеріалів 11-го міжнародного молодіжного форуму [«Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»] / Х. : ХНУРЕ, 2007. ч.1. С. 74.
8. Гаркуша С. В., Коляденко Ю. Ю. Обеспечение электромагнитной совместимости в транкинговых системах связи: збірник тез науково-технічної конференції [«Проблеми телекомунікацій»] / К. : НТУУ «КПІ», 2007. С. 152-153.
9. Гаркуша С. В. Задачи пространственно-временного доступа в системах профессиональной радиосвязи: зб. праць науково-практичної конф. [«Перспективні технологічні та ринкові напрями розвитку телекомунікаційних послуг у новітніх безпроводових системах зв'язку»], (Одеса, 22-24 березня 2007 р.) / Одеса : УНДІРТ, 2007. С. 28-30.
10. Гаркуша С. В. Пространственно-временная обработка сигнала и скачкообразное изменение частоты, как методы повышения помехозащищенности в транкинговых системах связи: зб. матеріалів 13-го міжнародного молодіжного форуму [«Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»] (Харків, 1-2 квітня 2009 р.) ч.1. / Х. : ХНУРЕ, 2009. С. 184.

АНОТАЦІЯ

Гаркуша С. В. Методи підвищення завадостійкості ліній доступу до базових станцій транкінгових систем зв'язку. – Рукопис. Дисертація на

здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи і мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків 2009.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню нової наукової задачі підвищення завадостійкості транкінгових систем зв'язку з використанням адаптивних антенних решіток, просторово-часової обробки сигналів, стрибкоподібної зміни частоти і просторово-часового доступу в умовах динамічних дій численних електромагнітних взаємодій і забезпеченню умов електромагнітної сумісності під час проектування даних систем.

Сформульовані теоретичні й практичні положення, на базі яких розроблені пропозиції, що дають можливість у складній електромагнітній обстановці забезпечити необхідний рівень якості зв'язку в транкінговій системі зв'язку, при успішному вирішенні проблеми забезпечення високого рівня завадостійкості. Показано, що вирішення задачі підвищення завадостійкості ліній доступу до базових станцій лежить у розробці нових рішень щодо використання просторового, часового й енергетичного ресурсу в транкінгових системах зв'язку.

Ключові слова: завадостійкість, електромагнітна сумісність, електромагнітна обстановка, просторово-часова обробка сигналу, стрибкоподібна зміна частоти, просторово-часовий доступ, транкінгова система зв'язку TETRA.

АННОТАЦІЯ

Гаркуша С. В. Методи підвищення помехоустойчивости линий доступа к базовым станциям транкинговых систем связи. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Харьков 2009.

Диссертационная работа посвящена решению новой научной задачи повышения помехоустойчивости транкинговых систем связи с использованием адаптивных антенных решеток, пространственно-временной обработки сигналов, скачкообразного изменения частоты и пространственно-временного доступа в условиях динамических воздействий множественных электромагнитных взаимодействий и обеспечению условий электромагнитной совместимости при проектировании данных систем.

Сформулированы теоретические и практические положения, на базе которых разработаны предложения, дающие возможность в сложной электромагнитной обстановке обеспечить необходимый уровень качества связи в транкинговой системе связи TETRA при успешном решении задачи обеспечения высокого уровня помехоустойчивости. Показано, что решение задачи повышения помехоустойчивости линий доступа к базовым станциям состоит в разработке новых решений относительно использования пространственного, временного и энергетического ресурса в транкинговых системах связи.

Впервые предложено использование методов пространственно-временной обработки сигнала и скачкообразного изменения частоты в транкинговой системе связи TETRA. Это приводит к повышению помехоустойчивости системы, расширению возможностей по доступу абонентских станций с одновременным улучшением качества приема сигнала за счет использования метода пространственно-временного доступа, а также к одновременной минимизации вероятности несанкционированного доступа в линию связи, улучшению электромагнитной обстановки и решению задачи электромагнитной совместимости.

Впервые предложено использование скачкообразного изменения частоты в качестве дополнительного метода повышения помехоустойчивости транкинговой системы радиосвязи TETRA, а также обеспечения защиты от несанкционированного доступа. Наиболее перспективным является метод, реализуемый путем изменения частоты в каждом временном интервале.

Усовершенствован метод совместного использования пространственно-временной обработки сигнала и скачкообразного изменения частоты, позволяющий производить предварительную оценку вектора весовых коэффициентов адаптивной антенной решетки еще до перехода сигнала на очередную частотную позицию. Для внедрения этих предложений потребуется определенная модернизация аппаратуры, в частности антенно-фидерного тракта, а также возбуждателей гетеродинов. В целом использование для транкинговой системы методов пространственно-временной обработки сигнала и скачкообразного изменения частоты окажется прозрачным.

Впервые предложены и проанализированы методы пространственно-временного доступа в транкинговой системе радиосвязи TETRA с целью повышения эффективности использования радиоспектра и энергетики линии связи. Показано, что в условиях дефицита частотного ресурса использование метода пространственно-временного доступа позволяет не только улучшить энергетику конкретных линий связи и обеспечить повышенную помехоустойчивость, но и сэкономить частотный ресурс, поскольку в каждом направлении связи может использоваться одна и та же частота.

Ключевые слова: помехоустойчивость, электромагнитная совместимость, электромагнитная обстановка, пространственно-временная обработка сигнала, скачкообразное изменение частоты, пространственно-временной доступ, транкинговая система связи TETRA.

ABSTRACT

S. V. Garkusha Methods of increase noise immunity of access lines to the base stations of trunked communication networks. - Manuscript. Thesis for the scientific degree of Candidate of Engineering on 05.12.02 Specialization – Telecommunication Systems And Networks. Kharkiv National University of Radio Electronics. Kharkiv. 2009.

Dissertation is devoted to the decision of a new scientific aim of increase noise immunity communication networks with using of adaptive antenna array, spatio-temporal treatment of signals, saltatory change of frequency and spatio-temporal access in the conditions of dynamic influences of plural electromagnetic cooperations and to providing of terms of electromagnetic compatibility at projection of these systems.

Theoretical and practical positions are formulated and offered developed on its base which enabling in a sticky electromagnetic wicket to provide the necessary level of quality connection in a trunked at the successful decision of problem of providing high level of noise immunity. It is rotined that the decision of problem of increase of noise immunity of lines of access to the base stations lies in development of new decisions in relation to the use of spatial, temporal and power resource in trunked systems of connection.

Keywords: noise immunity, electromagnetic compatibility, electromagnetic situation, spatio-temporal signal processing, saltatory change of frequency, spatio-temporal access, trunked communication network TETRA.