

**МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ**  
**Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації**  
**Національного технічного університету України**  
**„Київський політехнічний інститут”**



# **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

Випуск № 2

Київ – 2010

ББК  
Ц4(4Укр)39  
З – 415

Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. – Випуск № 2. – Київ: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. – 162 с.

У збірнику опубліковано статті вчених, ад’юнктів і здобувачів, студентів інституту та інших установ (організацій) в яких розглядаються проблеми побудови сучасних телекомунікаційних систем та мереж, систем захисту інформації, автоматизованих систем управління.

***Редакційна колегія:***

***Романюк В.А.***, д.т.н., професор (голова редколегії);  
***Креденцер Б.П.***, д.т.н., професор (заступник голови редколегії);  
***Гостєв В.І.***, д.т.н., професор;  
***Жердєв М.К.***, д.т.н., професор;  
***Смірнов Ю.О.***, д.т.н., професор;  
***Самохвалов Ю.Я.***, д.т.н., професор;  
***Романов О.І.***, д.т.н., професор;  
***Бессалов А.В.***, д.т.н., професор;  
***Субач І.В.***, к.т.н., доцент;  
***Кувшинов О.В.***, к.т.н., доцент;  
***Колачов С.П.***, к.т.н.;  
***Старков В.М.***, к.в.н., доцент;  
***Ткаченко Ю.М.*** прац. ЗСУ;  
прац. ЗСУ ***Шевченко М.К.*** (відповідальний редактор).

Всі наукові статті, включені до збірника, прорецензовані фахівцями по галузях та отримали позитивний відгук.

Збірник затверджено на засіданні вченої ради інституту. Протокол засідання вченої ради № 1 від 29.09.2010 року.

Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ” затверджено Постановою президії ВАК України від 08 липня 2009 року № 1-05/3 в якості фахового видання, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних досліджень в галузі технічних наук.

При передрукуванні матеріалів посилання на збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут” обов’язкові.

## З М І С Т

1.	<b>Андросова Ю.В.</b> Квазіоптимальний класифікатор морських цілей, некогерентних РЛС оглядового типу.....	5
2.	<b>Бердников О.М., Богущ К.Ю.</b> Модель пофонемного розпізнавання мови на основі акустичних параметрів смугового вокодеру.....	11
3.	<b>Воробійов О.М.</b> Застосування методів інтегральних рівнянь електромагнітних полів для перевірки адекватності ґратчастих моделей електродинаміки.....	19
4.	<b>Гайворонська Г.С., Сахарова С.В.</b> Дослідження впливу помилок прогнозу вихідних даних на процес планування мереж доступу.....	23
5.	<b>Гайворонська Г.С., Сомсиков Д.О.</b> Система захисту та приховування інформації довільного типу.....	30
6.	<b>Креденцер Б.П., Міночкін А.І., Могилевич Д.І.</b> Надійність систем епізодичного використання в умовах обмеженої інформації про вихідні дані.....	37
7.	<b>Кривошеєв В.М.</b> Використання методів експертної оцінки в методі аналізу ієрархій при виборі раціональних варіантів складних технічних систем.....	42
8.	<b>Кузавков В.В., Логінов М.В.</b> Модель розповсюдження мовного сигналу і його ізоляція вікном.....	52
9.	<b>Любарський С.В.</b> Адаптивні алгоритми оцінки знань в інтелектуальній комп'ютерній тренажерній системі навчання.....	59
10.	<b>Любарський С.В., Шаціло П.В.</b> Методологія вибору моделі подання знань в інтелектуальних навчальних системах.....	65
11.	<b>Міночкін Д.А.</b> Методика вибору параметрів системи МІМО при впливі міжстільникових завад.....	71
12.	<b>Мохор В.В., Шаціло П.В., Цуркан В.В.</b> Оцінювання параметрів закону розподілу величини збитків унаслідок реалізації загрози безпеці інформації в організаційно-технічних системах об'єктів інформаційної діяльності.....	79
13.	<b>Радзівілов Г.Д., Романенко В.П.</b> Груповий зонний пошук дефектів при ремонті військової техніки зв'язку.....	85
14.	<b>Радзівілов Г.Д., Штаненко С.С., Садиков О.І.</b> Побудова інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для діагностування інформаційно-телекомунікаційних систем військового призначення.....	91
15.	<b>Ролік О.І., Можаровський П.Ф., Тонковид О.С.</b> Метод управління резервуванням ресурсів ЦОД для підтримки заданої якості обслуговування запитів користувачів.....	97
16.	<b>Самойлов І.В.</b> Інтелектуальна система діагностики на базі нечітких відношень.....	105
17.	<b>Слюсар В.І., Масесов М.О.</b> Ідеологія побудови перспективних тропосферних (радіорелейних) станцій спеціального призначення.....	114
18.	<b>Сова О.Я., Романюк В.А., Жук П.В.</b> Концепція ієрархічної побудови інтелектуальних систем управління мобільними радіомережами військового призначення.....	121
19.	<b>Стрюк О.Ю.</b> Метод максимізації корисності MESH-радіомережі на основі показників сприйняття якості обслуговування абонентів.....	131
20.	<b>Ткаченко А.Л., Давиденко С.В., Кучер С.В.</b> Модифікований спосіб знаходження чіткого значення вихідної змінної при моделюванні окремого типу нечіткого регулятора.....	141
21.	<b>Шворов С.А., Лукін В.Є., Семеріч П.Ю., Сілко О.В.</b> Метод автоматизації побудови дистанційних навчальних курсів.....	146
22.	<b>Яремчук Ю.Є., Труш О.В.</b> Мінімізація середньоквадратичної помилки і квадратичної інтегральної оцінки в системах з принципом управління по відхиленню.....	151
23.	<b>Автори номера</b> .....	160
24.	<b>Пам'ятка для автора</b> .....	162

## CONTENTS

1.	<b>Y. Androsova</b> Quasi-optimal classifier basis on formation adaptive correction function, which defines angular sizes of marine targets in noncoherent pulse radar.....	5
2.	<b>O. Berdnikov, K. Bogush</b> Model of Phoneme-by-Phoneme Speech Recognition on Basis of Band Vocoder Acoustic Parameters.....	11
3.	<b>O. Vorobyov</b> Electromagnetic fields integral equation methods application for verification of the grid electrodynamic models adequacy.....	19
4.	<b>G. Gayvoronskaya, S. Saharova</b> Research of prediction errors in the initial data influence on access network planning process.....	23
5.	<b>G. Gayvoronskaya, D. Somsikov</b> The system of protection and concealment information of arbitrary type.....	30
6.	<b>B. Kredenzler, A. Minochin, D. Mogylevych</b> Reliability of episodic using systems in conditions of restrict information about outbound data.....	37
7.	<b>V. Krivosheev</b> Using of the methods of hierarchies analysis at the choice of rational variants of the complex technical systems.....	42
8.	<b>V. Kuzavkov, M. Loginov</b> A speech signal distribution model and it's isolation by the window.....	52
9.	<b>S. Liubarskii</b> Using parametric models for item response theory of adaptive algorithms in computer knowledge assessment of learning.....	59
10.	<b>S. Liubarskii, P. Shacilo</b> Method choice model of knowledge in intelligent learning systems.....	65
11.	<b>D. Minochkin</b> A method of MIMO-system parameters choice during influence of intercellular interferences.....	71
12.	<b>V. Mokhor, P. Shatsilo, V. Tsurkan</b> Estimation of the parameters of the losses value distribution in consideration of the implementation of information security threats in the organizational and technical systems of information activity objects.....	79
13.	<b>G. Radzivilov, V. Romanenko</b> Group search defects at the repair of military connection technique .....	85
14.	<b>G. Radzivilov, S. Shtanenko, O. Sadykov</b> Construction of the intellectual systems of support of making decision for diagnosing informative of the telecommunication systems of military-oriented.....	91
15.	<b>O. Rolik, P. Mozharovskyi, O. Tonkovyd</b> Resource provision management method, which maintains guaranteed quality of service in data centers.....	97
16.	<b>I. Samoylov</b> Intellectual system diagnostics based on unclear relation.....	105
17.	<b>V. Slyusar, M. Masesov</b> Ideology of the perspective troposphere (microwave) special-purpose stations construction.....	114
18.	<b>O. Sova, V. Romanjuk, P. Zhuk</b> The hierarchical construction conception of the military mobile radio networks intellectual control systems.....	121
19.	<b>O. Striyuk</b> The method of mesh radio network utility maximization based on perceived quality of service.....	131
20.	<b>A. Tkachenko, S. Davidenko, S. Kucher</b> Method of finding of clear initial variable value is modified at design of separate type of fuzzy controller.....	141
21.	<b>S. Shvorov, V. Lukin, O. Silko</b> Method for automated construction distance learning courses.....	146
22.	<b>Y. Yaremchuk, A. Trush</b> Minimization the mean square error and quadratic integral estimation in systems with principle of management on rejection.....	151
23.	<b>About authors</b> .....	160
24.	<b>Requirements for the articles</b> .....	162

## ІДЕОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТРОПОСФЕРНИХ (РАДІОРЕЛЕЙНИХ) СТАНЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*У статті представлені результати аналізу принципів та ідеологічних основ побудови і функціонування перспективних тропосферних і радіорелейних станцій спеціального призначення. В основі представленої ідеології лежать наукові дослідження щодо впровадження і реалізації сучасних інформаційних технологій у системах зв'язку цивільного і військового призначення. Представлені результати являють собою підґрунтя для створення нових і модернізації існуючих систем та комплексів зв'язку спеціального призначення на вітчизняних підприємствах.*

*В статье представлены результаты анализа принципов и идеологических основ построения и функционирования перспективных тропосферных и радиорелейных станций специального назначения. В основе представленной идеологии лежат научные исследования, касающиеся внедрения и реализации современных информационных технологий в системах связи гражданского и военного назначения. Представленные результаты представляют собой базу для создания новых и модернизации существующих систем и комплексов связи специального назначения на отечественных предприятиях.*

*The results of analysis of principles and ideological bases of construction and functioning of the perspective troposphere and radioreley stations of the special purpose are presented in the article. Presented ideology scientific researches, touching introduction and realization of modern information technologies in communication of civil and military purpose networks, are underlaid. The presented results are a base for creation of new and modernization of the existent systems and complexes of communication of the special purpose on domestic enterprises.*

**Ключові слова:** тропосферний і радіорелейний зв'язок, цифрове діаграмоутворення, цифрова антенна решітка, кодування сигналів, додаткове стробування відліків аналого-цифрового перетворювача.

### **1. Постановка задачі та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями**

Аналіз стану та тенденцій розвитку систем зв'язку, як цивільного, так і військового призначення показує, що темпи впровадження сучасних інформаційних технологій, досягнень мікроелектроніки та цифрової обробки сигналів безперервно зростають. Зрозуміло, що нова техніка зв'язку, яка надходить на озброєння розвинутих країн світу, має не тільки покращені тактико-технічні можливості для забезпечення потреб системи управління, але й призводить до зміни концепції ведення бойових дій та застосування зброї.

Досвід останніх збройних конфліктів і масштабних бойових дій у різних країнах вказує на застосування в них так званої „інформаційної боротьби”. Основний етап її полягає у передчасному виявленні і знищенні існуючої інфраструктури зв'язку противника, що, в свою чергу, призводить до унеможливлення ефективного управління військами (силами) в ході бойових дій. Другий, не менш важливий етап, являє собою постійне виявлення, придушення і знищення системи зв'язку противника безпосередньо під час бойових дій. В таких умовах висуваються жорсткі вимоги щодо забезпечення високої живучості та розвідзахищеності системи зв'язку з урахуванням вимог до забезпечення необхідної швидкості передачі інформації між посадовими особами пунктів управління.

Зрозуміло, що під час ведення бойових дій основне навантаження щодо забезпечення зв'язку буде покладено на польову опорну мережу зв'язку ЗС України. Її основу, на даний момент, складають існуючі багатоканальні системи та комплекси військового зв'язку – кабельні, радіорелейні і тропосферні. Радіорелейні і тропосферні, на відміну від кабельних, є достатньо мобільними і захищеними для успішного протистояння під час інформаційної війни. Але сьогоднішній напрямок розвитку і вдосконалення існуючих базових станцій спеціального призначення характеризується, найчастіше, модернізацією станцій радянськими технологічними розробками кінця 80-х – початку 90-х років, або використанням застарілих станцій іноземного виробництва, що вкрай неприйнятно.

Авторами статті пропонується ідеологія побудови перспективних тропосферних

(радіорелейних) станцій спеціального призначення, яка може бути науковим підґрунтям для побудови сучасних засобів зв'язку на вітчизняних підприємствах і забезпечення необхідного, вже набутого на міжнародних ринках зброї, технологічного паритету перед іншими країнами.

## **2. Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Як показав аналіз [1, 2, 3], серед основних тенденцій побудови нових та модернізації існуючих засобів зв'язку вітчизняного та іноземного виробництва переважає використання сучасних інформаційних технологій подвійного призначення. При цьому збройними силами держав можуть бути заощаджені значні кошти при відсутності необхідності проводити та фінансувати науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. Але для застосування у збройних силах конкретних зразків техніки деякі фірми і підприємства пропонують спеціальні рішення з дотриманням військових стандартів. Слід зауважити, що використання інформаційних технологій потребує їх доопрацювання для реалізації в спеціальних умовах.

В своїх публікаціях авторами статті були викладені наукові дослідження щодо реалізації технологій неортогональної частотної дискретної модуляції сигналів (N-OFDM) [4], просторово-часового-частотного ущільнення і кодування [5], додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача (АЦП) [6], корекції квадратурних неідентичностей в каналах зв'язку [7], а також впровадження цифрового діаграмоутворення (ЦДУ) на базі цифрових антенних решіток (ЦАР) [8] та технології множинного входу – множинного виходу (MIMO) [9], у тому числі у варіанті з багатьма користувачами (MU-MIMO або мульти-MIMO). Запропоновані технології, а також практичні рекомендації щодо їх впровадження в техніку зв'язку лежать в основі запропонованої ідеології. Її впровадження дозволить вирішити такі важливі практичні задачі як забезпечення цифровим зв'язком всіх ланок військового управління, здійснити заміну старих морально та фізично застарілих апаратних, розробити цифрові тропосферні (радіорелейні) станції з виконанням сучасних вимог до системи управління.

## **3. Виклад основного матеріалу дослідження**

Зазначені вище і розвинуті авторами науково-технічні ідеї досить повно представлені в роботах [4 – 9].

Застосування неортогональної частотної дискретної модуляції сигналів диктується обмеженістю частотного ресурсу. Крім того, в умовах активної радіоелектронної протидії противника з'являється можливість передачі інформації на певних, не ушкоджених навмисними завадами, частотах несучих, і, таким чином, здійснювати адаптивну зміну частотних планів каналів зв'язку.

Різноманітні схеми кодування сигналів найчастіше використовуються у тропосферних і радіорелейних системах передачі, дають певний вигравш у відношенні сигнал-шум або у швидкості передачі сигналів. Ці параметри пов'язані між собою відомою формулою Шенона для перепускної спроможності. Слід зауважити, що схеми просторового кодування, на відміну від часового та частотного, потребують наявності додаткових антен, рознесених у просторі на відстань не менше 50 – 100 довжин хвиль.

У випадку впровадження просторово-часового кодування сигналів тропосферного (радіорелейного) зв'язку необхідність застосування додаткового стробування відліків АЦП викликана тим, що при реалізації ЦДУ в станціях зв'язку часто виникає ситуація, коли обчислювальні операції не можуть бути виконані за період дискретизації АЦП. Це ускладнює декодування інформаційного повідомлення в реальному часі. Тому разом із реалізацією методів N-OFDM пропонується використання процедури додаткового стробування відліків АЦП на основі цифрового фільтра розподілу квадратур (ЦФРК) [10]. Такий підхід дозволить погодити роботу високошвидкісного АЦП на виході приймального каналу ЦАР із цифровими пристроями в схемі подальшої обробки сигналів, наблизить пропускну спроможність у системі тропосферного (радіорелейного) зв'язку до потенційно можливої, а також певним чином усуне проблеми демодуляції N-OFDM сигналів при спектральному аналізі безпосередньо відліків АЦП.

У загальному випадку, кількість утворених таким чином стробів повинна відповідати розмірності процедури швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Як наслідок, реалізується сепарація інформаційного потоку без втрати енергетики сигналу й декореляція за шумом вихідних потоків даних (рис. 1). Крім того, виконується попередня частотна селекція сигналів у смузі прийому. При застосуванні N-OFDM (OFDM) методів у сполученні із просторово-часовим кодуванням сигналів потрібно використовувати багатостробне додаткове стробування з фіксованою сіткою стробів [10], які йдуть у сітці один за одним без зупинок. При такій структурі фіксованої сітки інтервали підсумовування розташовуються без взаємного перекриття у часі.

Напрягу комплексного сигналу  $\dot{U}_s$  в (2) можна виразити через квадратурні складові [10], при цьому період дискретизації АЦП дорівнює непарній кількості чвертей періоду сигналу:

$$\begin{aligned} U_s^c &= a_m \cos(2\pi f_m \tau s + \varphi_m) \\ U_s^s &= a_m \sin(2\pi f_m \tau s + \varphi_m) \end{aligned} \quad (1)$$

де  $a_m$  – амплітуда  $m$ -го сигналу,  $\varphi_m$  – початкова фаза  $m$ -го сигналу,  $f_m$  – частота  $m$ -го сигналу,  $m$  – поточний номер сигналу ( $m = \overline{1, M}$ ),  $\tau$  – період дискретизації АЦП.

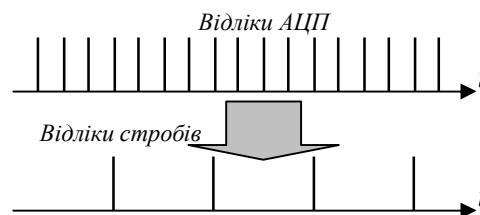


Рис. 1. Формування стробів при додатковому стробуванні відліків АЦП.

Після операції АЦП маємо вибірку довжиною  $N$  (парне) відліків ( $s = \overline{1, N}$ ).

Запропонований метод використання додаткового стробування відліків АЦП у сукупності із застосуванням N-OFDM сигналів дозволить зменшити швидкість обробки сигналів після АЦП, знизити обчислювальні витрати та узгодити швидкодію окремих елементів схеми приймального цифрового сегмента перспективного тропосферного комплексу. Представлені в [11] варіанти матричного запису цифрових напруг сигналів по виходах приймальних елементів ЦАР є основою для синтезу процедур демодуляції повідомлень при використанні різних методів просторово-часового кодування.

Істотним обмеженням реалізації потенційних можливостей апаратури зв'язку є вплив технологічних похибок, що супроводжують процес отримання квадратурних складових приймальних каналів, що приводить, в свою чергу, до викривлень сигнальних масивів і втрат інформації. Існуючі методи корекції такого квадратурного розбалансу характеризуються відсутністю врахування впливу постійних складових напруг каналів і відносною складністю обчислень, особливо у випадку застосування високошвидкісних АЦП.

В роботі [7] був запропонований метод корекції квадратурного розбалансу, що відрізняється від відомих застосуванням додаткового стробування відліків АЦП. У даному контексті, додаткове стробування відліків АЦП зводиться до формування одного сумарного сигналу по вибірці з кількох відліків АЦП із заданою періодичністю. Вважаючи синфазний канал ( $I$ ) еталонним, а квадратурний ( $Q$ ) – розбалансованим за амплітудою і фазою, вирази для напруг на виходах квадратурних каналів у вигляді функції від часу  $t$  [7] можна записати як:

$$I = p + A \cdot \cos(2\pi f t + \varphi_0), \quad (2)$$

$$Q = h + A \cdot (1 + \alpha) \cdot \sin(2\pi f t + \varphi_0 - \psi), \quad (3)$$

де  $\alpha$  – амплітудна неідентичність каналів,  $\psi$  – їхня фазова неідентичність,  $f$  – частота сигналу,  $\varphi_0$  – початкова фаза сигналу,  $p$  і  $h$  – відповідно постійні складові синфазного і квадратурного каналів.

Частота сигналу  $f$  обирається рівною оберненому непарному числу чвертей періоду дискретизації АЦП [7]. На основі сформованих напруг відліків стробів, що відповідають контрольному сигналу, за алгоритмом [7] обчислюються коефіцієнти корекції, які враховуються в подальшій обробці сигналів зв'язку.

Таким чином, запропонований метод корекції дозволяє мінімізувати похибки обробки, зменшити апаратні витрати та знизити вимоги щодо ідентичності квадратурних підканалів при аналоговій ортогоналізації сигналів в приймальних каналах ЦАР навіть при наявності постійних складових напруги зсуву нульового рівня апертури АЦП.

Слід зазначити, що інтеграція процедури додаткового стробування відліків АЦП у сукупності з корекцією квадратурного розбалансу є новою ідеєю і дозволяє узагальнити такий підхід на випадок антен, виконаних за технологією ЦАР та МІМО.

Застосування систем МІМО (Multiple Input Multiple Output – множинний вхід множинний вихід) [9] дозволяє вирішити завдання стійкого функціонування системи зв'язку в умовах впливу активної радіопротидії противника, багатопроменевого поширення радіохвиль і пов'язаних з ним явищ, а також забезпечити високу пропускну спроможність. Багатоантенну систему МІМО можна розглядати як систему зв'язку з кількома просторовими каналами. Причому всі канали працюють в одній і тій же смузі частот, у той самий час і розділяються тільки за рахунок просторового рознесення випромінюючих і приймальних антен. Термін МІМО вживається у тому випадку, коли одночасно використовуються два або більше входи і виходи каналу. Можливість організації багатьох просторових каналів пояснює високу спектральну ефективність систем МІМО і пильну увагу до них з боку виробників високошвидкісних систем зв'язку подвійного призначення.

Основні переваги і класифікація МІМО-систем відповідно до принципу поділу сигналів у прийальному пристрої досить докладно обговорені в літературі [12].

Ціна переваг систем МІМО забезпечується підвищенням вартості розгортання, вимог по їхньому обладнанню і додатковому живленню антен та обчислювальною складністю, необхідною для багатовимірної обробки сигналів [9].

Розглянемо більш докладно МІМО системи зв'язку з кількома просторовими каналами. У таких системах як у передавачі, так і у приймачі використовується кілька антен. Вважаємо, що кількість передавальних антен не більше числа приймальних ( $N_t \times N_r$ ). У цьому випадку можна одержати швидкості передачі інформації, близькі до граничних без адаптації, тобто коли параметри каналу невідомі на стороні передавачів. Кратність такого виграшу у швидкості передачі інформації досягає кратності приймально-передавальних антен.

Конструктивно антенні решітки МІМО можуть бути виконані у вигляді поверхні контейнера або кунга базової машини. Блок-схема МІМО системи зв'язку з  $N_t$  передавальними і  $N_r$  приймальними антенами при форматі каналу  $N_t \times N_r$  наведена на рис. 2. На ній вхідний потік даних ділиться на  $N_t$  підпотоків за допомогою послідовно-паралельного демультіплексора. Кожен підпотік після кодування і модуляції випромінюється окремою антеною, причому усі  $N_t$  підпотоків випромінюються одночасно в одній і тій же смузі частот. Для усіх підпотоків можуть використовуватися ідентичні коди і модулятори.

Випромінені  $N_t$  потоків створюють сигнали у кожній з  $N_r$  приймальних антен. Тобто сигнал у кожній приймальній антені - це суміш  $N_t$  випромінених сигналів, помножених на комплексні передатні функції траси розповсюдження сигналів від відповідних передавальних антен до приймальної антени. Інакше кажучи, вектор напруг прийнятих сигналів представляє собою добуток матриці характеристик каналу на вектор напруг випромінених сигналів. Матриця характеристик каналу вимірюється перед передачею інформації і вважається відомою у приймачі. Далі у приймачі вирішується завдання поділу і оцінки інформаційних параметрів випромінених  $N_t$  сигналів. Для цього потрібно розв'язати систему з  $N_r$  рівнянь з  $N_t$  невідомими. При  $N_r = N_t$  можна скористатися матрицею, зворотною матриці характеристик каналу. При  $N_r > N_t$  доцільно застосувати узагальнену інверсію, що впливає з розв'язку системи рівнянь за методом найменших квадратів.

На рис. 2 блок, що виділяє  $N_t$  підпотоків із прийнятих сигналів, названий просторовим декодером. Далі кожен підпотік подається на свій демодулятор і декодер.



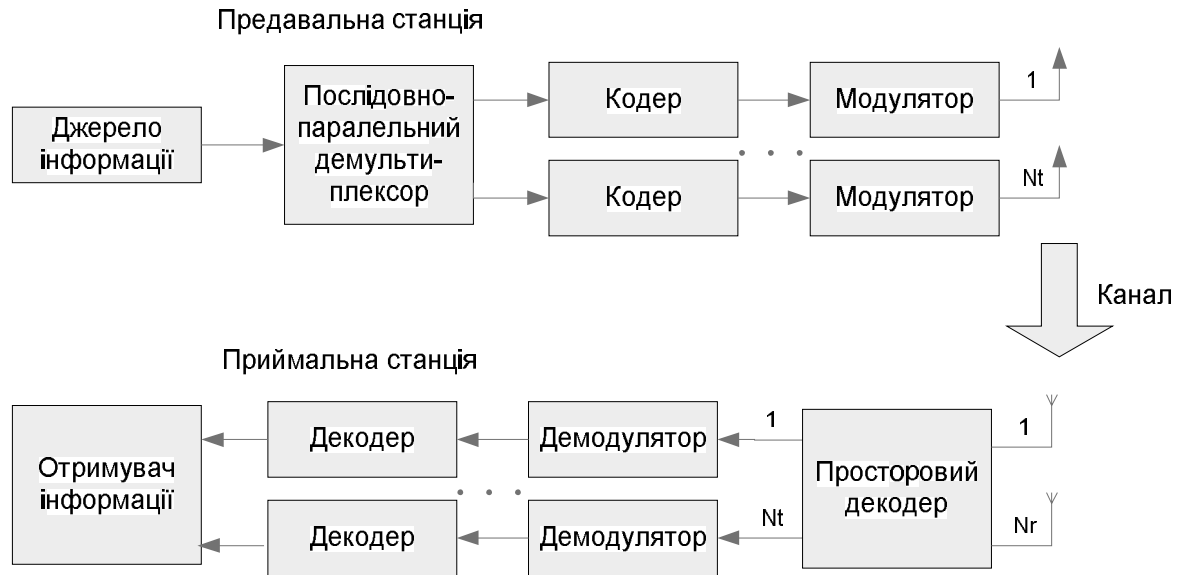


Рис. 2. Блок-схема типової МІМО-системи зв'язку

Можна також дати інше пояснення принципу роботи зазначеної МІМО-системи. Приймальну антенну систему разом із просторовим декодером у випадку ортогонального розділу сигналів можна розглядати як цифрову антенну решітку з багатопроменевою діаграмою спрямованості, коли кожен із променів начебто спрямований тільки на одну випромінюючу антену, а на всі інші антени – зорієнтовані нулі сформованого променя. На рис. 3 схематично показана двопроменева діаграма спрямованості з головними та боковими променями.

Як видно, один з головних променів забезпечує прийом сигналу від першої передавальної антени і не приймає сигнали другої антени. Інший головний промінь, навпаки, приймає сигнали тільки від другої передавальної антени. У цьому тлумаченні просторово-кодирований поділ джерел обумовлений складним характером діаграми спрямованості антенної системи приймача. Звичайно, варто враховувати, що у формуванні діаграми беруть участь не тільки  $N_r$  приймальних антен, але і багатопроменеве середовище поширення хвиль. Приймач має постійно стежити за еволюцією характеристик оточуючого середовища і адаптивно змінювати положення променів у просторі, що досягається виміром матриці характеристик каналу.

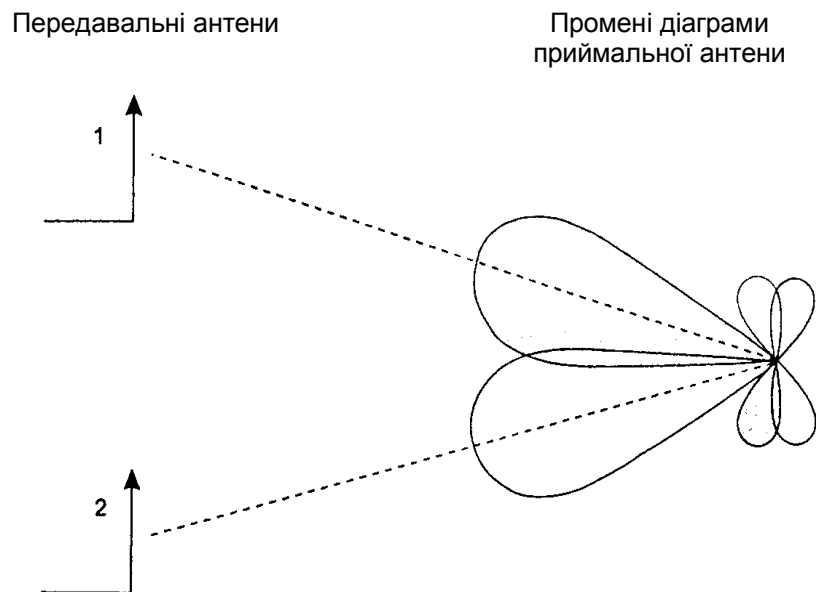


Рис. 3. Фізична ілюстрація поділу просторово рознесених джерел

Для забезпечення роботи в радіорелейному або в тропосферному режимі можливо застосування традиційних антенно-щоглових пристроїв або з конструктивною доробкою випромінювача. Ці антенні системи розглядаються як резервні.

Таким чином, використання МІМО-технології, особливо у варіанті одночасної передачі даних багатьох користувачів (мульти-МІМО), дозволяє формувати мережу тропосферного (радіорелейного) зв'язку.

Під нею розуміється організація зв'язку між трьома і більше кореспондентами з використанням радіоканалів розповсюдження електромагнітних хвиль. При цьому забезпечується робота одного радіорелейного (тропосферного) комплексу одночасно на кілька кореспондентів, а також робота в об'єднанні із засобами радіодоступу. Апаратурні витрати розраховуються, виходячи з вимог забезпечення необхідної пропускну здатності та кількості напрямків зв'язку.

Викладені вище ідеологічні засади визначають методологічну основу побудови цифрового сегмента перспективних тропосферних і радіорелейних станцій. Далі слід зупинитися на можливостях та рекомендаціях їх практичної реалізації.

Авторами пропонується підхід орієнтований на використання модулів цифрової обробки сигналів (ЦОС). В залежності від типу конструктиву, вони розподіляються на монолітні у вигляді однієї плати, та мезонінно-модульні, коли на несучу плату встановлюються зверху додаткові плати.

При цьому, в якості мікросхеми спецобчислювача можуть використовуватися цифрові сигнальні процесори (ЦСП), програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) або спеціалізовані мікросхеми.

Слід зазначити, що застосування ПЛІС на відміну від ЦСП дозволяє жорстко синхронізувати покрокове виконання алгоритмів ЦОС у багатоканальних системах завдяки відмові від використання апаратних переривань. Сьогодні, на вітчизняному ринку в інтересах відомчих структур найбільшим привабливими є ПЛІС фірм ALTERA та XILINX (США). Актуальними залишаються інші технічні аспекти розробки модулів ЦОС, наприклад, питання вибору схем АЦП (ЦАП), шинного інтерфейсу, несучого конструктиву й т. ін.

Але можна констатувати, що на ринку України присутні досить різноманітні технологічні рішення, які дозволяють реалізувати обчислювальну платформу з дотриманням жорстких вимог її функціонування у військовій сфері [13].

#### **4. Висновки та перспективи подальших досліджень**

Викладена у статті ідеологія відкриває шляхи виконання наступних наукових і практичних завдань, що стоять перед військами зв'язку на даному етапі розвитку та реформації:

- забезпечення одночасної передачі інформації кільком кореспондентам;
- реалізація високої швидкості передачі (потоків E1, E2 і E3);
- автоматична комутація утворених потоків, можливість їх передачі по інших видах систем передачі (волоконно-оптичних, кабельних);
- забезпечення різних режимів роботи, адаптація по частоті випромінювання, потужності передавача і т.д.;
- невеликі масогабаритні показники і універсальна транспортна база;
- можливість виробництва і обслуговування техніки на вітчизняних підприємствах.

Розглянуті технічні аспекти побудови перспективних тропосферних (радіорелейних) станцій торкаються лише найбільш загальних питань методології побудови базових станцій військового зв'язку.

Тому залишаються актуальними питання їх подальшого наукового супроводу і динамічного розвитку. Заслужують на увагу напрямки розширення досліджень в інших системах і видах зв'язку, таких як зв'язок з безпілотними літальними апаратами, в абонентських персональних терміналах, побудова універсальних радіорелейних (тропосферних) станцій з можливістю забезпечення радіодоступу на визначеній території та інших.

Також слід розширити методологічні засади застосування різних методів рознесення сигналів та врахування різноманітних впливів (наприклад, ефекту Доплера, крос-поляризації, взаємної кореляції антенних елементів і т.д.).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Рудик В. В. Актуальні проблеми та напрями розвитку системи зв'язку Збройних Сил України як складової частини системи управління військами (силами) // Наука і оборона. – 2005. – № 2. – С. 22 – 28.
2. Слюсар В. І. Нове завдання ППО сухопутних військ // Камуфляж – 2009. – № 4. – С. 12 – 13.
3. Слюсар В. І., Нікітін М. М., Шацман Л. Г., Корольов М. О., Солощев О. М. Результати натурних випробувань експериментальної радіолокаційної станції з 64-канальною цифровою антенною решіткою // Збірник наукових праць ЖВІ ім. С. П. Корольова НАУ. – 2009. – Вип. 2. – С. 148 – 157.
4. Слюсар В. И., Смоляр В. Г. Метод неортогональной дискретной частотной модуляции сигналов для узкополосных каналов связи // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. – 2004. – № 4. – С. 53 – 59.
5. Слюсар В. І., Масесов М. О. Метод просторово-часового кодування сигналів тропосферного зв'язку на основі удосконаленої технології мульти-МІМО // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – Вип. 1. – С. 132 – 136.
6. Слюсар В. І., Малярчук М. В. Модель отклика приемной ЦАР мульти-МІМО системы, использующей N-OFDM сигналы и дополнительное стробирование отсчетов АЦП // V Міжнародна науково-технічна конференція „Сучасні інформаційно-комунікаційні технології” COMINFO'2009-Livadia. 5 – 9 жовтня 2009. – Крим, Ялта, Лівадія. – С. 112 – 113.
7. Патент України на корисну модель № 33257, МПК<sup>7</sup> G 01 S7/36, H 03 D13/00. Спосіб корекції квадратурного розбалансу з використанням додаткового стробування відліків АЦП / Слюсар В. І., Масесов М. О., Солощев О. М.; заявник та патентовласник ТОВ „Скайнет Ltd”. – № u 2008 02467 ; заявл. 26.02.08, опубл. 10.06.08, Бюл. № 11.
8. Слюсар В. И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи // Радиоаматор. – 1999. – № 8. – С. 58 – 59.
9. Слюсар В. И., Масесов Н.А. Технология мульти-МІМО в гарантоспособных беспроводных системах связи // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2008. – Вип. 1 (16). – С. 39 – 42.
10. Слюсар В. І., Слюсар І. І. Частотне ущільнення сигналів з додатковим стробуванням відліків АЦП // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 2003. – № 7. – С. 161 – 168.
11. Слюсар В. І., Масесов М. О. Метод обробки тропосферних сигналів у режимі мульти-МІМО з додатковим стробуванням відліків АЦП // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – Вип. 3. – С. 77 – 81.
12. Слюсар В. И. Системы МІМО: принципы построения и обработка сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2005. – № 10. – С. 52 – 59.
13. Слюсар І. І., Масесов М. О., Дубик А. М., Волошко С. В. Реалізація перспективних телекомунікаційних технологій та методів цифрової обробки сигналів на вітчизняній елементній базі // Системи обробки інформації. – 2007. – № 9. – С. 87 – 91.