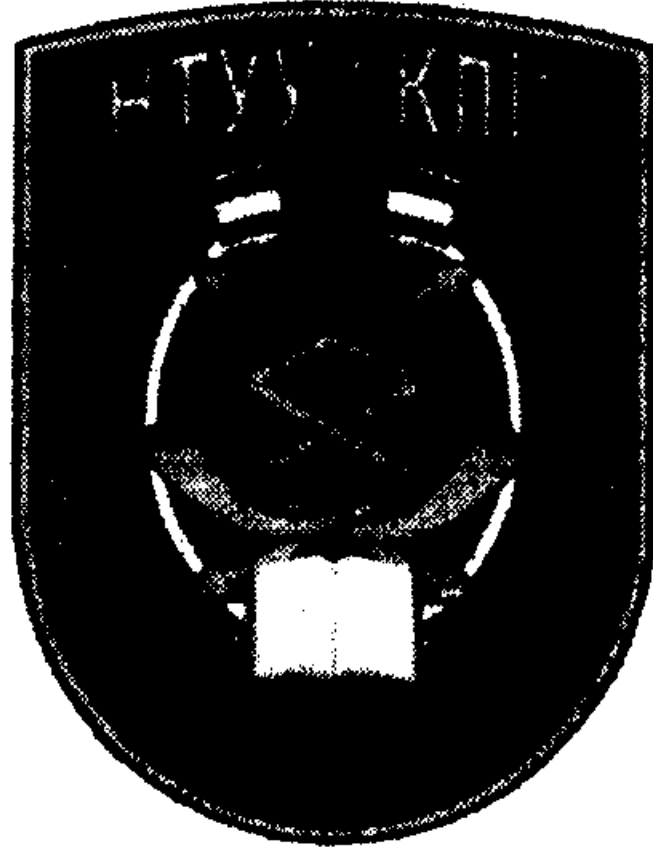


**МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ**  
**Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації**  
**Національного технічного університету України**  
**„Київський політехнічний інститут”**



# **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**Випуск № 3**

**Київ – 2009**

ББК  
Ц4(4Укр)39  
З – 415

Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. – Випуск № 3. – Київ: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2009, 112 с.

У збірнику опубліковано статті вчених, ад’юнктів і здобувачів, студентів інституту, та інших організацій та установ в яких розглядаються питання побудови сучасних мереж, систем зв’язку та захисту інформації, автоматизованих систем управління військами.

**Редакційна колегія:**

**Романюк В.А.**, д.т.н., професор (голова редколегії); **Креденцер Б.П.**, д.т.н., професор; **Герасимов Б.М.**, д.т.н., професор (заступники 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 (члени редколегії); 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 № 08 від 29.12.2009 року.

Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ” затверджено Постановою ВАК України від 15 січня 2003 року № 2-05/1 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.

---

© Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”, 2009.

Відповідальний за випуск М.К.Шевченко

Підписано до друку 25.12.2009 р. Зам. 429а. Друк. арк. 14.  
Ум.-друк. арк. 13,02. Обл.-вид. арк. 12,10. Формат паперу 60x84/8.  
Тираж 100 прим.

Друкарня ВІТІ НТУУ "КПІ"

## ЗМІСТ

1. **Ананьїн О. В.** Моделювання системи автоматичного регулювання потужності передавача у радіоканалах..... 4
2. **Аругюнян А. Л.** Новий вид функціоналу тихонова для систем м'яких обчислень.... 9
3. **Катін П.Ю., Гунько Д.Ю.** Методика тестування програм обробки растрових зображень з чисельною оцінкою ефективності..... 13
4. **Круковський І.А.** Архітектура експертної системи з розширеним виведенням на трьохкомпонентній гібридній моделі подання знань..... 19
5. **Кувшинов О. В.** Ігрова модель системи радіозв'язку при впливі навмисних завад..... 25
6. **Липський О.А.** Методика контролю стану радіорелейного каналу зв'язку в умовах впливу навмисних завад..... 31
7. **Малярчук М.В., Колачов С. П., Недайбіда Ю.П., Драглюк О. В.** Сучасні проблеми інформаційного забезпечення автоматизованих систем управління тактичної ланки Збройних Сил України..... 40
8. **Малярчук М.В., Колачов С.П., Швець А.А.** Архітектура мобільного компоненту перспективної системи зв'язку і автоматизації тактичної ланки управління Збройних Сил України з використанням опорної мережі на радіорелейних станціях..... 45
9. **Мінакова М. В.** Аналіз реалізації впровадження інтелектуальних послуг на телекомунікаційному ринку України..... 51
10. **Польщиків К.О.** Методика моделювання доступної для трафіку даних пропускної здатності мобільної радіомережі спеціального призначення..... 56
11. **Радзівілов Г.Д., Бевзюк Б.М., Волков О.В.** Застосування нелінійних ефектів оптоволокна в оптичних підсилювачах..... 66
12. **Романюк В.А.** Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами..... 70
13. **Слюсар В.І., Масесов М.О.** Метод обробки тропосферних сигналів у режимі мульти-МІМО з додатковим стробуванням відліків АЦП..... 77
14. **Слюсар І.І., Слюсар В.І., Зінченко А.О.** Основні напрями підвищення потенційних можливостей систем зв'язку з цифровими антенними решітками..... 82
15. **Стрюк О.Ю.** Метод розподілу пропускної спроможності базової станції радіомережі для підвищення інтегральної якості обслуговування абонентів..... 89
16. **Теленик С.Ф., Ролік О.І., Букасов М.М., Косован О.А., Кобец О.І.** Моделі і методи розподілу ресурсів в системах з серверною віртуалізацією..... 100
17. **Автори номера**..... 110
18. **Пам'ятка для автора**..... 112

## АВТОРИ НОМЕРА

1. **Ананьїн Олег Валерійович** – кандидат технічних наук, начальник відділення телефонного ЗАС ЦВЗ Державної прикордонної служби України.
2. **Арутюнян Ашот Леонович** – працівник підприємства з іноземними інвестиціями ТОВ „Бюро ВЕРІТАС Україна”.
3. **Бевзюк Богдан Миколайович** – курсант Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
4. **Букасов Максим Михайлович** – старший викладач кафедри АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
5. **Волков Олександр Віталійович** – кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного відділу Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
6. **Гуцько Денис Юрійович** – студент Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
7. **Драглиук Олексій Вікторович** – молодший науковий співробітник НДВ Наукового центру зв'язку та інформатизації інституту.
8. **Зінченко Андрій Олександрович** – кандидат технічних наук, начальник кафедри зв'язку АСУ та захисту інформації Національного університету оборони України.
9. **Катін Павло Юрійович** – кандидат технічних наук, старший викладач Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
10. **Кобець Олександр Іванович** – студент кафедри АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
11. **Калачов Сергій Петрович** – кандидат технічних наук, начальник Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
12. **Косован Олександр Анатолійович** – студент кафедри АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
13. **Круковський Ігор Анатолійович** – старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.
14. **Кувшинов Олексій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник факультету Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
15. **Липський Олександр Анатолійович** – молодший науковий співробітник Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
16. **Маларчук Михайло Васильович** – начальник військ зв'язку Збройних Сил України – начальник Головного управління зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу Збройних Сил України.
17. **Масесов Микола Олександрович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
18. **Мінакова Марина Володимирівна** – студентка Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
19. **Недайбіда Юрій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник НДВ Наукового центру зв'язку та інформатизації інституту.

20. **Польщиків Костянтин Олександрович** – докторант Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
21. **Радзівілов Григорій Данилович** – кандидат технічних наук, начальник кафедри Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
22. **Ролік Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
23. **Романюк Валерій Антонович** – доктор технічних наук, професор, заступник начальника Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
24. **Слюсар Вадим Іванович** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України.
25. **Слюсар Ігор Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
26. **Стрюк Олексій Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, докторант Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
27. **Теленик Сергій Федорович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою АУТС Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.
28. **Швець Анатолій Андрійович** – заступник начальника НЦЗІ Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”.

## МЕТОД ОБРОБКИ ТРОПОСФЕРНИХ СИГНАЛІВ У РЕЖИМІ МУЛЬТИ-МІМО З ДОДАТКОВИМ СТРОБУВАННЯМ ВІДЛІКІВ АЦП

*У статті представлений метод обробки тропосферних сигналів з просторово-часовим кодуванням у режимі мульти-МІМО, який відрізняється від відомих застосуванням додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача. Сутність останнього полягає у сепарації відліків з виходу АЦП та їх накопиченні без втрати енергетики сигналу. Такий підхід дозволяє погодити роботу високошвидкісного АЦП на виході приймального каналу цифрової антенної решітки з пристроями в схемі подальшої обробки сигналу і наблизити пропускну спроможність у системі тропосферного зв'язку до потенційно можливої.*

*В статье представлен метод обработки тропосферных сигналов с пространственно-временным кодированием в режиме мульти-МІМО, который отличается от известных применением дополнительного стробирования отсчетов АЦП. Сущность последнего состоит в сепарации отсчетов с выхода АЦП и их накоплении без потерь в энергетике сигналов. Такой подход позволяет согласовать работу высокоскоростных АЦП на выходах приемных каналов цифровой антенной решетки с устройствами дальнейшей обработки сигналов и приблизит пропускную способность в системе тропосферной связи к потенциально возможной.*

*In the article the method of processing of troposphere signals with space-time coding in the mode of multi-MIMO is presented, which differs from known ones by application of additional gating counts out of analog-to-digital converter. Essence of the last consists of separation of counts out of the output of ADC and their accumulation without loses of signal energy. Such approach allows to coordinate the work of high-speed ADC on the output of receiving channel of digital antenna array with devices of further signal processing and to bring forward carrying capacity in a troposphere communications system to the potentially possible.*

**Ключові слова:** тропосферний зв'язок, додаткове стробування відліків АЦП, цифрове діаграмоутворення.

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

Згідно з організаційно-методичних вказівок начальника зв'язку ЗС України, розробку нових базових засобів зв'язку військового призначення визначено як один з основних напрямків роботи для військ зв'язку на шляху створення єдиної автоматизованої системи управління ЗС України. Тому наукове супроводження розробки сучасного комутаційного обладнання, цифрової апаратури каналоутворення, базового та функціонального ряду цифрових радіостанцій і засобів спеціального зв'язку є актуальними науковим та практичним завданнями.

В Україні відомі виробники обладнання зв'язку для забезпечення потреб ЗС [1, 2]. Але для підтримки паритету вітчизняних виробників та перспективності розробок слід продовжувати наукові дослідження щодо впровадження новітніх досягнень схемотехніки та інформаційних технологій під час розробки та модернізації апаратури зв'язку.

### 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

В статті [3] авторами був запропонований метод просторово-часового кодування сигналів тропосферного зв'язку із застосуванням удосконаленої технології мульти-МІМО. Його сутність полягає у використанні мульти-МІМО режимів роботи системи [4] та технології цифрового діаграмоутворення (ЦДУ) з N-OFDM (OFDM) модуляцією сигналів [5] на базі лінійної або плоскої цифрової антенної решітки [3]. Обґрунтовано, що такий підхід дозволить досягти високої завадостійкості тропосферних систем зв'язку в умовах застосування противником навмисних завад, забезпечить одночасну роботу з кількома кореспондентами і високу швидкість передачі інформації без зменшення інших характеристик [3]. Виграш у швидкості передачі інформації буде пропорційним кількості антен передавача і приймача, а застосування мульти-МІМО режимів роботи тропосферних станцій дозволить будувати мережу тропосферного зв'язку з економією в кількості необхідних апаратних машин [3].

Метою статті є обґрунтування нового підходу до реалізації цифрової обробки сигналів в приймальному цифровому сегменті тропосферної станції, що відрізняється від [3]

застосуванням додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача (АЦП) [6]. Переваги впровадження процедури додаткового стробування вже відомі [6], але стосовно реалізації її в задачах зв'язку з технологією мульти-МІМО слід провести додаткові наукові дослідження, результати яких представлено далі.

### 3. Виклад основного матеріалу дослідження

У випадку впровадження просторово-часового кодування сигналів тропосферного зв'язку із застосування удосконаленої технології мульти-МІМО необхідність застосування додаткового стробування відліків АЦП викликана тим, що при реалізації ЦДУ в станціях тропосферного 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 (OFDM) пропонується використання процедури додаткового стробування відліків АЦП на основі цифрового фільтра розподілу квадратур (ЦФРК) [6]. Такий підхід дозволить погодити роботу високошвидкісного АЦП на виході приймального каналу ЦАР із цифровими пристроями в схемі подальшої обробки сигналу, наблизить пропускну спроможність у системі тропосферного зв'язку до потенційно можливої, а також певним чином усуне проблеми демодуляції N-OFDM сигналів без додаткового стробування відліків АЦП.

Аналітичний вираз для найбільш простого алгоритму ЦФРК має вигляд [6]:

$$U_{cfrk}^c = \sum_{s=0}^{T-1} U_s \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot s\right), \quad U_{cfrk}^s = -\sum_{s=0}^{T-1} U_s \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot s\right), \quad (1)$$

де  $U_s$  – напруга дійсного відліку АЦП,  $s = \overline{0, T-1}$  – поточний номер відліку АЦП,  $T$  – кількість відліків АЦП, які накопичуються в ЦФРК.

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

Таким чином, 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 [6], які йдуть у сітці один за одним без зупинок. При такій структурі фіксованої сітки інтервали підсумовування розташовуються без взаємного перекриття у часі.

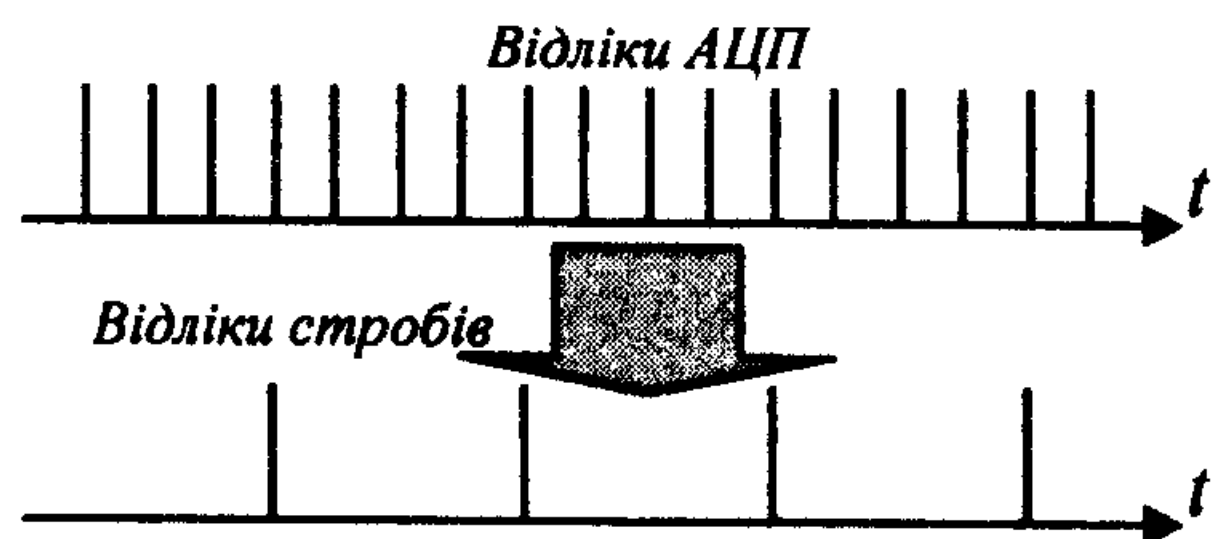


Рис. 1. Формування стробів при додатковому стробуванні відліків АЦП

Серед процедур розподілу квадратурних складових сигналів, заслуговує на увагу алгоритм двоканального ЦФРК [6]:

$$U_{cfrk_y}^c = \sum_{s=0}^{T-1} \left\{ U_s^c \cdot \cos\left(\frac{\pi s}{2}\right) + U_s^s \cdot \sin\left(\frac{\pi s}{2}\right) \right\}, \quad (2)$$

$$U_{cfrk_y}^s = \sum_{s=0}^{T-1} \left\{ U_s^s \cdot \cos\left(\frac{\pi s}{2}\right) - U_s^c \cdot \sin\left(\frac{\pi s}{2}\right) \right\},$$

де  $U_s^{c(s)}$  – квадратурні складові сигналу на вході ЦФРК,  $y = \overline{0, Y-1}$  – порядковий номер стробу ЦФРК,  $T$  – кількість відліків АЦП, які накопичуються в ЦФРК (для усунення паразитного набігу початкової фази сигналу від строба до строба величина  $T$  повинна бути кратною 4 [6]).

Напругу комплексного сигналу  $U_s$  в (2) можна виразити через квадратурні складові [6], при цьому період дискретизації АЦП дорівнює непарній кількості чвертей періоду

сигналу:

$$U_s^c = a_m \cos(2\pi f_m \tau s + \varphi_m), \quad U_s^s = a_m \sin(2\pi f_m \tau s + \varphi_m), \quad (3)$$

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

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

Якщо взяти до уваги відгук лише одного просторового каналу, декодування сигналів по квадратурних складових для кожної несучої з урахуванням амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) ЦФРК можна провести відповідно до виразу:

$$\hat{a}_m^{c(s)} = \frac{D_m^{c(s)}}{T \cdot S \cdot D}, \quad (4)$$

де  $S$  – розмірність (кількість точок) операції ШПФ,

$$D = \left| \begin{array}{ccc} \theta(f_1) \cdot \begin{bmatrix} V_1(f_1) \\ V_2(f_1) \\ V_3(f_1) \\ \dots \\ V_M(f_1) \end{bmatrix} & \theta(f_2) \cdot \begin{bmatrix} V_1(f_2) \\ V_2(f_2) \\ V_3(f_2) \\ \dots \\ V_M(f_2) \end{bmatrix} & \dots & \theta(f_M) \cdot \begin{bmatrix} V_1(f_M) \\ V_2(f_M) \\ V_3(f_M) \\ \dots \\ V_M(f_M) \end{bmatrix} \end{array} \right| = |\Theta \cdot V|, \quad (5)$$

$V_i(f_m) = \frac{1}{S} \frac{\sin S \cdot [i \cdot \pi/S - f_m]}{\sin [i \cdot \pi/S - f_m]}$  – значення нормованих характеристик синтезованих шляхом

ШПФ частотних фільтрів [6],  $\theta(f_m) = \frac{1}{T} \cdot \frac{\sin(\pi(f_m - f_c)T\tau)}{\sin(\pi(f_m - f_c)\tau)}$  – нормована АЧХ ЦФРК [7],  $f_c$  –

центральна частота АЧХ ЦФРК, за умови  $2\pi f_c \cdot \tau = \pi/2$ ,  $\Theta = [\theta(f_1) \quad \theta(f_2) \quad \dots \quad \theta(f_M)]$  –

вектор-стовпець нормованих АЧХ ЦФРК,  $V$  – матриця нормованих АЧХ ШПФ фільтрів на

піднесучих частотах,  $D_m^{c(s)}$  – частковий визначник, отриманий із визначника  $D$  заміною

відповідного стовпчика вектором вільних членів  $[B^{c(s)}] = [U_1^{c(s)} \quad U_2^{c(s)} \quad U_3^{c(s)} \quad \dots \quad U_G^{c(s)}]^T$ ,

$U_i^{c(s)}$  – квадратурна складова комплексного значення відліку  $i$ -го фільтра ШПФ,  $m = \overline{1, M}$ ,

поточний номер сигналу ( $m = \overline{1, M}$ ),  $f_m$  – частоти з множини заданих, виражені в частках ширини характеристики фільтра ШПФ.

Точність виміру квадратурних складових сигналу за формулою (4) визначається відношенням сигнал/шум, а також рознесенням несучих сигналів по частоті.

Слід зазначити, що у виразі (5) використовується матриця АЧХ не для радіальних частот, а для несучих, виражених у частинах ширини пропускання основної смуги АЧХ фільтра ШПФ.

Для врахування АЧХ ЦФРК у виразі (4) перед демодуляцією даних необхідно здійснити фазову корекцію оцінок квадратурних складових амплітуд і корекцію розрахованих оцінок амплітуд сигналів по виходу ЦФРК. Згідно [7], використовуючи оцінку амплітуд квадратурних складових  $m$ -го сигналу на виході ЦФРК –  $\hat{A}_m$  і коригувальні множники –  $Mscore_m$ , матрицю відкоректованих оцінок амплітуд сигналів –  $\tilde{A}_m$  можна представити в компактному матричному записі:

$$\tilde{A}_m = Mscore_m \cdot \hat{A}_m, \quad (6)$$



$$\text{де } \hat{A}_m = \begin{bmatrix} \hat{a}_m^c \\ \hat{a}_m^s \end{bmatrix}, \text{ } M\text{core}_m = \begin{bmatrix} \cos \frac{h_m}{2} & \sin \frac{h_m}{2} \\ -\sin \frac{h_m}{2} & \cos \frac{h_m}{2} \end{bmatrix}, \text{ } h_m = 2\pi(T-1)\tau(f_m - f_c).$$

Для випадку присутності  $M$  сигналів використовується операція блокового матричного добутку [8]:

$$\tilde{A} = [\tilde{A}_m] = [M\text{core}_m][\times][\hat{A}_m]. \quad (7)$$

Таким чином, відбувається відновлення оцінок амплітуд сигналів після паразитного фазового довороту, пов'язаного з обробкою відліків напруг у ЦФРК [5].

Опираючись на матричну форму подання сигналів, можна одержати компактний запис алгоритмів обробки вихідних напруг всіх прийомних каналів ЦАР. У випадку додаткового стробування й лінійних решіток вектор напруг відгуків ЦАР на багаточастотний N-OFDM сигнал можна виразити в безшумовому вигляді:

$$U = (((Q \circ \tilde{H}) \blacksquare \Theta) \blacksquare V)A, \quad (8)$$

де у випадку мульти-МІМО режиму  $\Theta = [\theta_1(f_1) \dots \theta_1(f_M) | \dots | \theta_P(f_1) \dots \theta_P(f_M)]$  – блоковий вектор-рядок ненормованих АЧХ ЦФРК на піднесучих частотах N-OFDM сигналів від  $P$  кореспондентських станцій (за умови однакових піднесучих частот всіх станцій).

Аналогічно, для плоскої ЦАР одержимо:

$$U = (((Q_V \circ \tilde{H}_V) \blacksquare (Q_H \circ \tilde{H}_H)) \blacksquare \Theta) \blacksquare V)A. \quad (9)$$

Співвідношення (8) і (9) відрізняються тим, що у них з матриці характеристик каналу тропосферного розповсюдження вилучені детерміновані компоненти у вигляді діаграм направленості (ДН) антенних елементів або вторинних просторових каналів ( $Q_V; Q_H$ ), АЧХ ШПФ фільтрів ( $V$ ) і АЧХ ЦФРК ( $\Theta$ ). Такий методичний прийом дозволить дослідити вплив цих детермінованих компонентів на потенційну точність оцінювання амплітуд сигналів.

Слід зазначити, що матриці  $\tilde{H}, \tilde{H}_H, \tilde{H}_V$  можуть враховувати як характеристики тропосферного розповсюдження сигналів, так і той або інший метод їхнього кодування. При цьому в режимі мульти-МІМО вони мають блокову структуру.

Інший варіант визначення квадратурних складових багаточастотних сигналів в обчислювальних процедурах полягає у використанні безпосередньо відліків ЦФРК без виконання операції ШПФ над ними [6]. Однак докладний розгляд відповідних методів обробки сигналів буде викладений в наступних публікаціях.

Процедури (8), (9) відрізняються від представлених в [3] використанням замість матриці характеристик каналу передачі  $H$  відповідної сигнальної матриці  $((Q \circ \tilde{H}) \blacksquare \Theta) \blacksquare V$  для лінійних решіток або  $((Q_V \circ \tilde{H}_V) \blacksquare (Q_H \circ \tilde{H}_H)) \blacksquare \Theta \blacksquare V$  – для плоскої ЦАР. Отримані значення амплітудних складових сигналів далі мають співставлятись із сузір'ям QAM-модуляції, що дозволить відновити передане повідомлення.

На основі викладених досліджень, структурна схема обробки сигналів у прийомному сегменті тропосферної станції може мати вигляд, представлений на рис. 2. Ця схема може бути доповнена блоком корекції квадратурного розбалансу [9], який займе місце між блоками ЦФРК та першого просторового ШПФ.

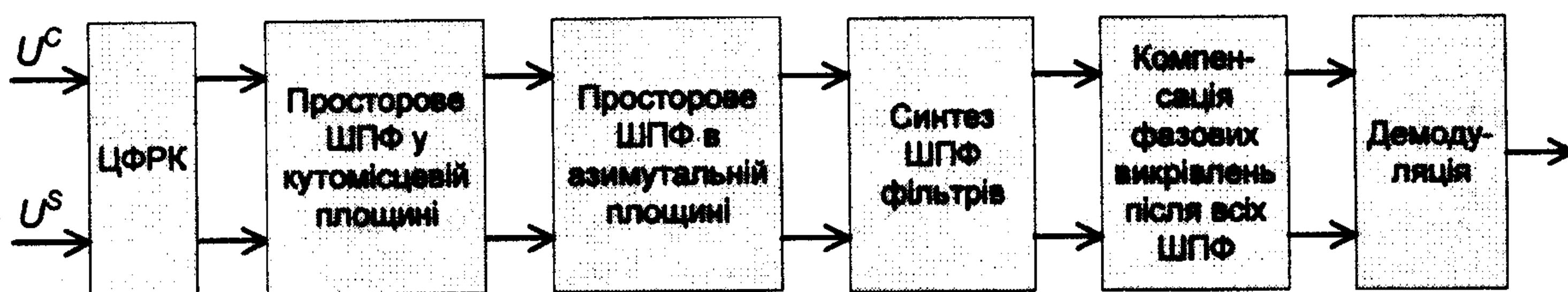


Рис. 2. Варіант структурної схеми обробки сигналів у прийомному сегменті тропосферної станції

Пропозиції щодо можливостей практичної реалізації запропонованих методів обробки сигналів представлені в роботах [10, 11].

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

Запропонований метод використання додаткового стробування відліків АЦП у сукупності з технологією МІМО та застосуванням N-OFDM сигналів дозволить зменшити швидкість обробки сигналів після АЦП, знизити обчислювальні витрати та узгодити швидкодію окремих елементів схеми прийомного цифрового сегменту перспективного тропосферного комплексу. Представлені варіанти матричного запису цифрових напруг сигналів по виходах прийомних елементів ЦАР є основою для синтезу процедур демодуляції повідомлень при використанні різних методів просторово-часового кодування. Запропонований варіант формалізації фізичного рівня моделі багатокористувальницької мережі МІМО дозволяє оцінити її граничні можливості по точності демодуляції сигналів залежно від кількості одночасно працюючих абонентських терміналів, їх кутового рознесення та розміщенням несучих.

Напрямок подальших досліджень є створення імітаційної моделі, статистична обробка результатів моделювання та оцінка граничних можливостей запропонованого просторового рознесення каналів тропосферного зв'язку в мульти-МІМО режимах роботи з додатковим стробуванням відліків АЦП.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сіренко В. В. Цифрові станції тропосферного та радіорелейного зв'язку // Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення : доповіді та тези доповідей IV-ї наук.-техн. конференції, 22 – 23 лист. 2008 р. : доповідь. – К., 2008. – С. 74 – 75.
2. ТОВ „Телекарт-Прилад”. Продукція. Для силових структур. – Режим доступу : <http://www.telecard.odessa.ua/production/armyproductions/connection/>.
3. 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.
4. Слюсар В. І., Масесов Н. А. Обработка сигналов в многопользовательской системе МІМО // Информационные системы и технологии (ИСТ-2008): междунар. науч.-техн. конф., 18 апреля 2008 г. : тезисы докл. – Н. Новгород, 2008. – С. 75 – 77.
5. Слюсар В. І. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи // Радиоаматор. – 1999. – № 8. – С. 58 – 59.
6. Слюсар В. І. Синтез алгоритмов измерения дальности М источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. – 1996. – № 5. – С. 55 – 62.
7. 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.
8. Слюсар В. І. Семейство торцевых произведений матриц и его свойства // Кибернетика и системный анализ. – 1999. – № 3. – С. 43 – 49.
9. 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.
10. 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.
11. Масесов Н. А., Слюсар І. І., Волошко С. В. Обоснование выбора вычислительной платформы для реализации перспективных методов цифровой обработки сигналов // IV наук. конф. Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 16-17 квітня 2008 р. : тези допов. – Х., 2008. – С. 139.