

# Зв'язок

УДК 621.391

Р.М. Животовський

*Центральний НДІ озброєння та військової техніки ЗС України, Київ*

## МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ З ПРОГНОЗУВАННЯМ СТАНУ КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ І ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

*У статті запропоновано методику вибору раціональних значень параметрів сигналу для безпілотних авіаційних комплексів з прогнозуванням стану каналів управління і передачі даних. Зазначена методика заснована на адаптивному управлінні параметрами сигналу при динамічній зміні сигнально-завадової обстановки та прогнозуванні стану каналів управління та передачі даних.*

**Ключові слова:** безпілотні авіаційні комплекси, сигнально-кодова конструкція, швидкість передачі інформації, ймовірність бітрової помилки, радіоелектронне подавлення, прогнозування помилок.

### Вступ

Як свідчить досвід останніх локальних конфліктів, військових навчань та бойових дій на Сході України безпілотні авіаційні комплекси все активніше використовуються для вирішення завдань розвідки, забезпечення зв'язку та нанесення вогневих ударів по позиціям противника [1].

В якості базової технології передачі інформації для безпілотних авіаційних комплексів використовують метод ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [2, 4].

Основна особливість OFDM сигналів їх інваріантність до явища багатопроблемності в каналі. Однак цим системам властиві свої недоліки, основними з яких є:

- високий пік-фактор;
- нелінійні спотворення в радіотракті засобів радіозв'язку;
- помилки синхронізації;
- шкідливий вплив навмисних завад.

Також характерною особливістю для каналів зв'язку з безпілотними авіаційними комплексами є необхідність постійного збільшення радіусу дії системи управління та передачі даних, підвищення швидкості передачі даних при роботі в нестабільних умовах поширення радіохвиль. Проведений в роботах [2, 4, 5] аналіз свідчить про те, що використання технології OFDM не в повній мірі задовольняє всі наведені вище вимоги до каналів управління і зв'язку з безпілотними авіаційними комплексами.

Одним з напрямків підвищення ефективності систем радіозв'язку є застосування методів просторової обробки сигналів у системах радіодоступу, зокрема технології „багато входів – багато виходів”

(Multiple-Input Multiple-Output - MIMO) [5, 6]. У технології MIMO об'єднані просторово-часові методи прийому з використанням адаптивних антен і методи просторово-часового кодування і просторово-часового розділення сигналів.

Для реалізації просторово-часового розділення сигналів у системах MIMO “множина виходів” (випромінюючих антен) здійснює передачу декількома (у загальному випадку – безліччю) шляхами (променями), а приймається ця множина сигналів як множина потоків на декілька приймальних антен (рознесених у просторі). Ключовою властивістю MIMO є можливість перетворити ефект багатопроблемного поширення, що значно погіршує якість радіозв'язку, у перевагу для користувача. Так само MIMO робить можливим підвищення експлуатаційних показників радіозв'язку без збільшення необхідної смуги частот системи.

Аналіз різних методів підвищення ефективності систем радіозв'язку [7, 8] виявляє ряд суперечностей. Так, зростання смуги пропускання каналу дозволяє збільшити пропускну спроможність засобів радіозв'язку, але разом з тим призводить до збільшення потужності шуму в каналі. Збільшення потужності передавача є неефективним і неприпустимим з погляду забезпечення прихованості засобів радіозв'язку.

Стратегічним напрямом при вирішенні задачі підвищення ефективності системи передачі інформації є перехід від систем з жорсткою структурою до адаптивних систем [9]. В адаптивних системах алгоритми передачі і прийому сигналів можуть узгоджено змінюватися залежно від зміни зовнішніх умов. Алгоритми адаптації повинні дозволяти в умовах мінімальної апріорної інформації досягти оптимальних параметрів системи.

Також хотілося б зазначити те, що в зазначених технологіях не використовуються елементи прогнозування стану каналу.

Пошук альтернатив для організації заводозахищеної та швидкісної системи управління і зв'язку для безпілотних авіаційних комплексів показав те, що сумісне використання технології OFDM та MIMO з елементами прогнозування стану каналів управління та передачі даних для систем управління та зв'язку з безпілотними авіаційними комплексами є перспективним та доцільним.

Тому *метою статті* є розробка методики вибору раціональних значень параметрів сигналу для безпілотних авіаційних комплексів з прогнозуванням стану каналів управління і передачі даних.

### Постановка завдання

Задано: параметри передавального пристрою і каналу зв'язку

$$\Psi = \{\psi_i\}, \quad i = \overline{1, n},$$

де  $\Psi_1 \dots \Psi_n$  – кількість (сукупність) піднесучих, потужність передавача, кількість приймальних та передавальних антен, відношення сигнал/шум в каналі (задається для кожного підканалу окремо), робоча частота, види модуляції, мінімально необхідна швидкість передачі інформації (необхідна пропускна спроможність), смуга пропускання каналу зв'язку, набір коригувальних кодів з відповідними параметрами: швидкість коригувального коду, граничне значення відношення сигнал/шум в каналі, при якому коригувальний код починає давати виграш порівняно з модуляцією без кодування.

**Необхідно:** визначити кількість приймальних та передавальних антен, параметри сигналу (кількість активних піднесучих, що будуть використовуватися при передачі повідомлень, сигнально-кодову конструкцію для кожної піднесучої (вид модуляції та коригувального коду), при яких ймовірність бітової помилки мінімізується при обмеженнях на швидкість передачі  $v_i \geq v_{i\text{доп}}$ .

**Обмеження:** вид коригувального коду – згорточні коди зі швидкостями  $R = \frac{1}{4}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{3}{4}$ ; вид сигналу – ФМ-М (квадратурна фазова маніпуляція), КАМ-М (квадратурна амплітудна маніпуляція, розмірність маніпуляції  $M = 16, 32, 64, 128, 256$ ), кількість піднесучих  $N$  ( $N = 256$ ); максимально допустима ймовірність помилкового приймання сигналів

$$P_{\text{б доп}} = 10^{-6}, \quad \tau_{\text{гр}} \leq \tau_{\text{кор}},$$

де  $\tau_{\text{гр}}$  – тривалість групи символів, на які розділяється потік сигналів,  $\tau_{\text{кор}}$  – час кореляції завмирань,  $N_{\text{пд}} \leq 4, N_{\text{пм}} \leq 4$  – кількість приймальних та передавальних антен не більше 4.

Тип завад – адитивні. В залежності від системних вимог вказані обмеження можуть змінюватись.

**Допущення:** стан передатної характеристики каналу зв'язку  $H_{\text{заг}}$  перед передачею чергового OFDM-символу відомий та не змінюється під час передачі символу:

$$H_{\text{заг}} = H_1, H_2, \dots, H_N = \sum_{i=1}^N H_i;$$

амплітудна характеристика підсилювача потужності передавача лінійна – нелінійні спотворення сигналу відсутні, потужність передавача є незмінною  $P_{\text{прд}} = \text{const}$ .

### Вирішення завдання

Завдання визначення параметрів MIMO-OFDM системи з мінімальною ймовірністю бітової помилки при обмеженнях на швидкість передачі інформації зводяться до типової оптимізаційної задачі.

Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі має вигляд

$$\begin{cases} P_0 = F_1(v_i, \Delta F, M, n, R, d, P_c, N_A, Q_i^2, N_{\text{пд}}, N_{\text{пм}}) \rightarrow \\ \rightarrow \min; \\ v_i = F_2(M, R, N_A, \Delta F, Q_i^2, N_{\text{пд}}, N_{\text{пм}}) \geq v_{i\text{доп}}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $N_{\text{пд}}, N_{\text{пм}}$  – кількість передавальних та приймальних антен,  $N_A$  – кількість активних піднесучих (підканалів, де передається інформація),  $N_A = N - N_B$ ,  $N_B$  – підканали, що відключаються,  $P_c$  – потужність сигналу в підканалі ( $P_c = P_{\text{прд}}/N_A$ ),  $G_0$  – спектральна щільність потужності шуму,  $M_i$  – розмірність ансамблю сигналів,  $R_i$  – швидкість коригувального коду ( $R_i = \frac{k}{n}$ ),  $k$  – кількість інформаційних біт на вході кодера,  $n$  – кількість біт на виході кодера,  $d_{\text{ff}}$  – величина вільної відстані, що характеризує заводозахисні властивості згорточного коду,  $i$  – індекс підканалу,  $\Delta F$  – ширина спектра сигналу. Значення  $P_{\text{прд}}, \Delta F, T_S$  є постійними, значення  $G_{0i}, M_i, R_i, d_{\text{ff}}$  – задаються для кожного активного підканалу.

Розкриваємо функціонали системи рівнянь (1). Інформаційна швидкість визначається як

$$v_i = \frac{B}{T_S} = \sum_{i=1}^{N_A} \log_2 M_i \cdot R_i \cdot N_{\text{пд}} \cdot N_{\text{пм}} / T_S, \quad (2)$$

де  $T_S$  – тривалість символу,  $B$  – кількість OFDM-символів, що передається в одній антені,  $i$  – індекс активного підканалу.

Таким чином, вибір раціональних значень параметрів MIMO-OFDM системи для безпілотних авіаційних комплексів зводиться до адаптивного вибору схеми системи MIMO, адаптивного розподі-

лу потужності сигналу між власними антенними каналами, адаптивним управлінням параметрами OFDM-сигналу та адаптивним формуванням сигнально-кодової конструкції для кожної під несучої.

Методика вибору раціональних значень параметрів MIMO-OFDM-сигналу для безпілотних авіаційних комплексів складається з наступних етапів.

### 1. Введення вихідних даних.

Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку  $\Psi = \{\psi_i\}$ , а також значення допустимої величини ймовірності помилкового приймання сигналів  $P_{\text{б доп}}$  та мінімально необхідної інформаційної швидкості передавання  $v_{i \text{ доп}}$ .

### 2. Прогнозування стану каналів управління та передачі даних.

Розглянемо принцип прогнозування стану каналів управління і передачі даних безпілотних авіаційних комплексів, що реалізований за допомогою розробленої в [3] методики.

В лінійному тракті прийомопередавача БпАК виділяється полоса субчастот  $f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cN}$ , що розміщені біля однієї фіксованої частоти  $f_{\phi}$ . По всій смузі частот здійснюється підтримання сталого рівня сигналу за допомогою цифрової системи автоматичного регулювання потужності передавача. Цифровий синтезатор частот формує сітку сигналів, що надходить на демодулятор.

Таким чином, при відсутності корисного сигналу на виході демодулятора формуються відліки  $Z_{i1}, Z_{i2}, \dots, Z_{iN}$ , в кожний момент  $t_i, i = 1, 2, \dots$  дискретного часу. Основна задача статистичного аналізу випадкових полів спостереження  $Z_{ij}, i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, N$ , є побудова полів спостереження  $\hat{x}_{ij}, i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, n$ , квантилів полів та виборі номерів  $j_{01}, j_{02}, \dots, j_{0m}$ , субчастот, в яких квантилі завод, та ймовірності бітових помилок будуть мінімальні. Отримані номери субчастот надходять на блок управління. Оцінювання полів квантилів завод пропонується здійснювати в два етапи. На першому етапі здійснюється фільтрація полів квантилів в кожному субканалі незалежно один від одного. Для цього відліки завод в блоках цифрової фільтрації на кожній  $j$ -й субчастоті  $Z_{ij}, i = 1, 2$ , порівнюються зі змінюючим пороговим рівнем  $\hat{x}_{ij}, i = 1, 2$ . Якщо черговий  $i$ -й відлік  $Z_{ij}$  перевищує порогів рівень  $\hat{x}_{ij}$ , то значення  $\hat{x}_{ij}$  збільшується на величину  $\Delta$ . Це відбувається з ймовірністю

$$P = \int_x^{\infty} w(z_{ji}) dz_{ji},$$

де  $w(z_{ji})$  – щільність розподілу ймовірностей відліків на виході демодулятора  $j$ -го частотного каналу в момент часу  $t_i$ ,  $p$  – заданий рівень дійсного значення квантилі  $x_{ij}$ . Регулярно, через  $1/p$  часових інтервалів, значення оцінки  $\hat{x}_{ij}$  знижується на величину  $\Delta$ . Таким чином, кожний цифровий фільтр може бути представлений у вигляді автоматичної системи підстроювання рівня квантилі з цифровим інтегратором.

Порівняння рівня  $Z_{ij}$  з рівнем  $\hat{x}_{ij}$  виконується пороговим елементом.

Зазначену систему оцінювання квантилі на одному підканалі можна розглядати як варіант реалізації псевдо градієнтного адаптивного алгоритму прогнозування стану каналів управління та передачі даних БпАК.

### 3. Визначення кількості антен у системі MIMO.

На зазначеному етапі обирається в залежності від стану каналу зв'язку кількість передавальних та приймальних антен для безпілотного авіаційного комплексу ( $N_{\text{пд}} \times N_{\text{пм}}$ ), з урахуванням необхідного відношення сигнал/шум та необхідної швидкості передачі.

Таким чином, якщо задати допустиму швидкість передачі MIMO – системи, усередненої по флуктуаціям сигналів  $v_{\Sigma}$ , тоді порогове значення  $\lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)}$  для відбору необхідної кількості найбільш потужних власних каналів можна знайти з рівняння:

$$P\left(\lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)}, Q_0^2\right) = 1 - \frac{v_{\Sigma}}{v_{\text{max}}}.$$

Отже  $\lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)}$  залежить від середнього відношення сигнал/шум  $Q_0^2$ , від заданої швидкості передачі даних

$$v_{\Sigma} = \left( \lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)} = \lambda_{\text{порог}}^{(Q^2)}(Q_0^2, v_{\Sigma}) \right)$$

і збільшується зі зростанням відношення сигнал/шум  $Q_0^2$ .

### 4. Розподіл потужності між власними каналами.

За допомогою водоналивного методу, здійснюється розподіл потужності між власними каналами. Дана процедура повторюється з інтервалом  $\tau_{\text{гр}}$  тривалість групи символів, на які розділяється потік сигналів.

### 5. Вибір числа піднесучих.

При OFDM груповий сигнал модему на інтервалі передачі одного символу може бути поданий у вигляді, наведеному у [9]. На цьому етапі вибирається кількість піднесучих сигналів з OFDM, при якому забезпечується задане відношення сигнал/шум. Оцінка передатної характеристики каналу зв'язку. На даному етапі за допомогою пілотнесучих оцінюються стан багатопробеневого каналу зв'язку та визначається його передатна характеристика. В загальному випадку оцінка стану каналу може здійснюватись як прямими, так і непрямыми методами. Докладніше вони розглянуті в [11].

Також на даному етапі за допомогою методу, запропонованого в [12] оцінюється стан багатопробеневого каналу зв'язку

$$\hat{h}^{\text{УНК}}(k) = \hat{h}^{\text{НК}}(k)W(k);$$

$$\hat{h}^{\text{УНК}} = \text{diag}(W)\hat{h}^{\text{НК}},$$

де ваговий вектор  $W$  є перетворенням Фур'є коефіцієнтів вікна, що згладжується, у частотній області.

### 6. Перетворення каналу з міжсимвольними спотвореннями в сукупність гаусівських каналів без пам'яті.

В реальних частотно-обмежених каналах зв'язку крім адитивного шуму виникає міжсимвольна інтерференція (МСІ), яка викликана пам'яттю каналів. Реакція каналу на послідовність вхідних сигналів викликає взаємне накладення сигналів на його виході. У результаті описаного вище перетворення гаусівських каналів з міжсимвольною інтерференцією в сукупність незалежних паралельних гаусівських каналів без пам'яті вхід і вихід кожного каналу пов'язані виразом

$$Z_i = K_i X_i + V_i, \quad i = \overline{0, L-1}.$$

### 7. Визначення параметрів попередніх спотворень сигналів.

Розглянемо підхід до кодування в каналах із МСІ, заснований на синтезі таких сигнально-кодкових конструкцій, які враховують „деформацію” простору сигналів при передачі реальним каналом [4].

Для оптимізації параметрів групового сигналу з OFDM вводяться попередні спотворення сигналу на передачі

$$X_i = \frac{1}{|K_i|} \xi_i$$

і корекція на прийомі  $\xi_i = b_i Z_i$ , де

$$b_i = e^{-j \arg K_i}.$$

### 8. Визначення середньої потужності сигналу на виході гаусівського каналу без пам'яті (ГКБП).

Якщо вихідний канал має істотну нерівномірність амплітудно-частотної характеристики в смузі

Найквіста, то отримані канали можуть бути досить різні. Розходження ГКБП повинне враховуватися при побудові сигналів і СКК.

Як правило, у паралельних ГКБП із попередніми спотвореннями використовуються різні алфавіти сигналів із квадратурною амплітудною модуляцією, але з однаковою мінімальною відстанню Евкліда  $d$ , що не залежить від номера ГКБП  $i$ . Необхідність розгляду цього варіанта пояснюється можливістю побудови на його основі ефективних сигналів і сигнально-кодкових конструкцій [9].

### 9. Впорядкування підканалів у порядку зменшення відношень сигнал/шум на вході приймача.

На даному етапі за результатами оцінки передатної характеристики каналу здійснюється присвоєння порядкових номерів кожному підканалу в порядку зменшення відношень сигнал/шум (гірші підканали мають більші порядкові номери):

$$Q_1^2 \geq Q_2^2 \geq \dots \geq Q_N^2.$$

### 10. Ітераційна процедура відключення підканалів

Процедура здійснюється шляхом відкидання гіршої половини підканалів (відсіювання гіршої половини підканалів, перерозподіл потужності по підканалах, додавання кращої половини у підканалах). Тоді потужність передавача рівномірно розподіляється між іншими невідключеними (активними) підканалами.

Оскільки за рахунок перерозподілу потужності за рахунок відключених підканалів ВСШ в активних підканалах збільшується, то, можна припустити, що доцільно відключати не всі підканали, для яких

$$Q_i^2 \leq Q_{\text{доп}}^2,$$

а тільки їх частину.

### 11. Вибір раціональних сигнально-кодкових конструкцій.

На даному етапі зі скінченної кількості коригувальних кодів та видів модуляції, що визначаються вихідними даними, в залежності від поточного ВСШ, для кожного підканалу визначається СКК, яка дозволяє отримати максимальне значення швидкості передачі при забезпеченні заданої ймовірності бітової помилки.

Основні етапи вибору оптимальних сигнально-кодкових конструкцій наступні:

На підставі параметрів радіозасобів та каналу зв'язку  $\Psi = \{\psi_i\}$ , а також значення допустимої величини ймовірності бітової помилки радіозасобів вибираємо розмірність ансамблю сигналів  $N$  (конструкції з одномірними, двомірними і багатомірними сигналами), а також структура ансамблю сигналів. Детально розрахунки ймовірності бітової помилки для  $M$  позиційних сигналів типу ФМ та КАМ наведені в роботі [13].

Вибирається вид коригуючого коду.

По виду завадостійких кодів усі СКК можна розділити на два великі класи:

- на основі блокових кодів
- на основі безперервних кодів.

Крім того, окремий клас складають СКК на основі каскадних кодів, що застосовують одночасно блокові і безперервні коди.

Вибирається маніпуляційний код. При узгодженні кодека двійкового завадостійкого коду і модему багатопозиційних сигналів, необхідно використати маніпуляційний код, при якому збільшенню відстані по Хемінгу між кодовими комбінаціями відповідає більша відстань по Евкліду між сигналами, що відповідають їм.

Пристрій управління вибором параметрів сигналу повинен лише вибрати з множини можливих СКК оптимальну для даного стану каналу.

### 12. Розрахунок максимальної швидкості передачі в кожному підканалі.

Максимальна швидкість у кожному ГКБП при фіксованому  $q_j$  визначається таким чином:

$$v\left(q_j, \frac{P_{q_j}}{P_{\text{ш}}}\right) = v\left(q_j, d_E^2 \phi\left(2^{q_j}\right) / \frac{P_{\text{ш}}}{P_{\text{ш}}}\right).$$

### 13. Визначення максимальної швидкості передачі групового сигналу.

Сумарна швидкість у ГКМСІ задається виразом

$$v = v_0 \frac{1}{N} \sum_{j=1}^Q s_j v\left(q_j, d_E^2 \left(2^{q_j}\right) / \frac{P_{\text{ш}}}{P_{\text{ш}}}\right),$$

де  $s_j = m_j - m_{j-1}$ ,  $m_0 = 0$  – кількість ГКБП з однако- вим алфавітом квадратурної амплітудної маніпуляції.

Оптимізація розглянутого варіанта по швидкості при обмеженій середній потужності сигналу на вході каналу зводиться до вибору оптимальної розбивки паралельних ГКБП на групи з однаковою швидкістю, оптимального вибору алфавітів квадратурної амплітудної маніпуляції і мінімальної відстані  $d_E$  в них.

Виходячи з цього, максимальна швидкість, яку можна досягнути в ГКМСІ із попередніми спотвореннями і довільними алфавітами КАМ у кожному з паралельних ГКБП за умови, що мінімальна відстань у всіх алфавітах постійна і дорівнює  $d$ , задається виразом при обмеженнях, наведених вище, на припустиму середню потужність сигналу на вході ГКМСІ, а

$$s_j = m_j - m_{j-1}, m_0 = 0, \\ 0 < m_1 < m_2 < \dots < m_Q \leq M_1 -$$

розбивка множини ГКБП на групи з  $v_j$  паралельних каналів, у кожному з яких використовується той самий алфавіт КАМ із середньою потужністю

$$P_{q_j} = d_E^2 \times (2^{q_j}).$$

### 14. Передача чергового символу.

В результаті визначаються параметри чергового OFDM-символу: кількість активних підканалів  $N_A$  та їх номери,  $M$  та  $R$  для кожного підканалу, інформація про значення яких передається у складі службової інформації для зустрічної станції.

## Висновки

1. В роботі запропоновано методику вибору раціональних значень параметрів сигналу для безпілотних авіаційних комплексів з прогнозуванням стану каналів управління і передачі даних. Новизна розробленої методики полягає у прогнозуванні стану каналів управління та передачі даних та адаптації параметрів гібридної MIMO-OFDM-системи для підвищення ефективності функціонування безпілотних авіаційних комплексів.

2. Новизна методики полягає і у тому, що оптимальні параметри сигнально-кодових конструкцій визначаються для випадку передачі інформації по каналу зв'язку. Також здійснюється адаптивне формування матриці субканалів шляхом адаптивного до сигнально-завадової обстановки вибору структури антенної системи безпілотних авіаційних комплексів, відключення формувачів матриць, тим самим звужуючи або розширюючи частотний діапазон сигналу OFDM (відповідно зменшуючи або збільшуючи кількість субканалів), що необхідно для підвищення енергетичної та частотної ефективності радіозасобів умовах активної радіоелектронної протидії.

Оптимальні параметри MIMO-OFDM-сигналу для конкретного стану каналу зв'язку визначаються зі скінченної кількості допустимих варіантів, що дозволяє спростити практичну реалізацію модемного обладнання адаптивних систем радіозв'язку.

Виходячи з оцінки ефективності методики вибору раціональних значень параметрів сигналу для безпілотних авіаційних комплексів для максимізації енергетичної ефективності, що склала близько 2-3 дБ в залежності від глибини завмирань у багатопроменевому каналі, можна стверджувати, що на основі границі Шеннона [11], частотна ефективність при використанні запропонованої методики та відповідних СКК повинна зрости на величину приблизно 2-4 дБ.

При використанні елементів прогнозування стану каналів управління та передачі даних при виборі раціональних значень параметрів прийомопередавачів безпілотних авіаційних комплексів завадо-

захищеність каналів управління та передачі даних зростає в середньому в 1,1 рази, що підтверджується імітаційним моделюванням, проте, знижується частотна ефективність каналів управління та передачі даних.

Тому, для вирішення зазначеної наукової задачі, напрямком подальших досліджень є розробка методики прогнозування стану каналів управління та передачі даних з поліпшеною обчислювальною складністю.

## Список літератури

1. Чекунов Е. Применение БЛА ВС США в военных конфликтах / Е. Чекунов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 7. – С. 53-58.
2. Шишацький А.В. Проведення аналізу напрямів підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, О.Г. Жук // Науково-технічний журнал "Озброєння та військова техніка". – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України. – 2015. – № 4(8) 2015. – С. 22-26.
3. Животовський Р.М. Методика прогнозування стану каналів управління і передачі даних безпілотних авіаційних комплексів / Р.М. Животовський, С.М. Петрук // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2016. – № 3(63). – С. 127-134.
4. Шишацький А.В. Аналіз завадостійких протоколів, що використовують OFDM-технології / А.В. Шишацький, В.В.Твердохлібов // Науково-практична конф. "Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем", тези доповідей, 29 січня 2015 р., Львів: АСВ, 2015. – С. 164-166.
5. Кувишинов О.В. Методологія оперативного управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку / О.В. Кувишинов // V-та науково-технічна конференція „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення” 20-21 жовтня 2010 року, доповіді та тези доповідей, К., ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. – С. 23-28.
6. Слюсар В. Системи МІМО: принципи побудови та обробка сигналів / В. Слюсар // Електроніка: Наука, Технологія, Бізнес. – 2005. – № 8. – С. 52-58.
7. Кувишинов О.В. Аналіз характеристик систем радіодоступу з технологією МІМО / О.В. Кувишинов, Д.А. Міночкін // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Т. Шевченка. – Вип. 3. – К.: ВІКНУ, 2006. – С. 51-56.
8. Аналіз шляхів вдосконалення засобів радіозв'язку мережі радіодоступу військової телекомунікаційної системи / Т.Г. Гурський, С.О. Кравчук, О.А. Липський [та ін.] // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – Вип. 1. – С. 30-42.
9. Советов Б.Я. Построение адаптивных систем передачи информации для автоматизированного управления / Б.Я. Советов, В. Стах. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 120 с.
10. Шишацький А.В. Методика формування сигнально-кодових конструкцій OFDM-сигналу в умовах впливу навмисних завад та селективних замирань / А.В. Шишацький // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – № 7. – С. 71-76.
11. Шишацький А.В. Аналіз існуючих методів оцінки стану каналу зв'язку / А.В. Шишацький, В.В. Лютов // VI Науково-технічна конференція “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки”. – К., 2015. – С. 398.
12. Животовський Р.М. Розробка методу динамічного контролю стану каналу зв'язку в умовах складної радіоелектронної обстановки / Р.М. Животовський, А.В. Шишацький, В.В. Лютов // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2016. – Вип. 1(60). – С. 253-264.
13. Шишацький А.В. Математична модель спотворення сигналу в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням при впливі навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, М.В. Борознюк, І.Ю. Рубцов // Системи обробки інформації. – 2016. – № 3. – С. 181-186.

Надійшла до редколегії 14.02.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ.

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ СОСТОЯНИЯ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Р.Н. Животовский

В статье предложено методику формирования рациональных значений параметров сигнала для беспилотных авиационных комплексов с прогнозированием состояния каналов управления и передачи данных. Указанная методика основана на адаптивном управлении параметрами сигнала при динамическом изменении сигнально-помеховой обстановки и прогнозировании состояния каналов управления и передачи данных.

**Ключевые слова:** беспилотные авиационные комплексы, сигнально-кодовая конструкция, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление, прогнозирование ошибок.

## METHOD OF SELECTION RATIONAL VALUES OF THE SIGNAL FOR UNMANNED AVIATION SYSTEMS TO THE PREDICTION OF THE CHANNEL MANAGEMENT AND DATA TRANSMISSION

R.M. Zhyvotovskiy

In the article offered method of choice of rational parameters signal for unmanned aircraft systems with forecasting state control channels and data transmission. The above method is based on adaptive control signal parameters at dynamic change of signal-interference conditions and forecasting of control channels and data transmission.

**Keywords:** unmanned aircraft systems, signal-code construction, information rate, bit error probability, radio-electronic suppression, forecasting errors.