

МЕТОД ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ КАСКАДНОГО КОДУВАННЯ СИСТЕМ ВІДОМЧОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД

У статті запропоновано метод вибору параметрів каскадного кодування систем відомчого радіозв'язку з урахуванням впливу навмисних завад, сутність якого полягає в рішенні оптимізаційної задачі пошуку максимального значення енергетичної ефективності за умов забезпечення заданого значення достовірності передачі інформації за рахунок вибору оптимальних параметрів кодів Ріда-Соломона та кодів, утворених з використанням функцій розширення Радемахера та Уолша. Отримані нові каскадні кодові конструкції для систем відомчого радіозв'язку з урахуванням впливу навмисних завад.

Ключові слова: системи відомчого радіозв'язку, навмисні завади, коди Ріда-Соломона, коди Радемахера, коди Уолша.

1. Вступ

Сучасні засоби систем відомчого радіозв'язку для підвищення достовірності передачі інформації застосовують розширення спектра методом безпосередньої модуляції несучої псевдовипадковою послідовністю та метод псевдовипадкової перебудови робочої частоти, в якості коригувальних кодів застосовуються коди Ріда-Соломона. Аналіз характеристик зазначених засобів показав, що вони мають порівняно низьку завадозахищеність та пропускну спроможність [1, 2]. Під завадозахищеністю розуміється здатність мережі забезпечувати задані показники достовірності передачі інформації в умовах впливу шуму та навмисних завад.

Виникає завдання підвищення достовірності передачі інформації систем відомчого радіозв'язку за умов впливу навмисних завад. Для підвищення достовірності передачі інформації пропонується застосовувати схеми каскадного кодування на основі кодів Ріда-Соломона та кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера та Уолша.

Метою роботи є розробка методу вибору параметрів каскадного кодування систем відомчого радіозв'язку з урахуванням впливу навмисних завад.

2. Виклад основного матеріалу

Система OFDM з каскадним кодуванням складається з передавальної та приймальної частин. Передавальна та приймальна частини мають у своєму складі наступні елементи: кодер (декодер) Рида-Соломона, кодер (декодер) розширення Радемахера, кодер (декодер) розширення Уолша, модулятор (демодулятор) OFDM з псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот (ПППЧ), формувачі псевдовипадкових послідовностей.

На рис. 1, 2 показані спрощені структурні схеми архітектури передачі та прийому системи OFDM з каскадним кодуванням.

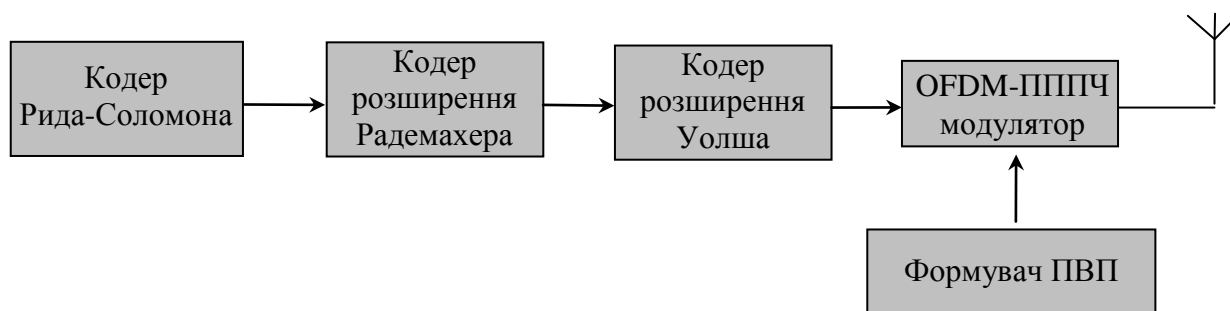


Рис. 1 – Структурна схема архітектури передачі системи OFDM з каскадним кодуванням

Основна ідея методу OFDM полягає в тому, що смуга пропускання каналу розбивається на групу вузьких смуг (субканалів), кожна зі своєю піднесучою. На всіх піднесучих сигнал передається одночасно, що дозволяє забезпечити велику швидкість передачі інформації при невеликій швидкості передачі в кожному окремому субканалі [3]. Сигнал OFDM складається із N ортогональних піднесучих, модульованих N паралельними потоками даних.

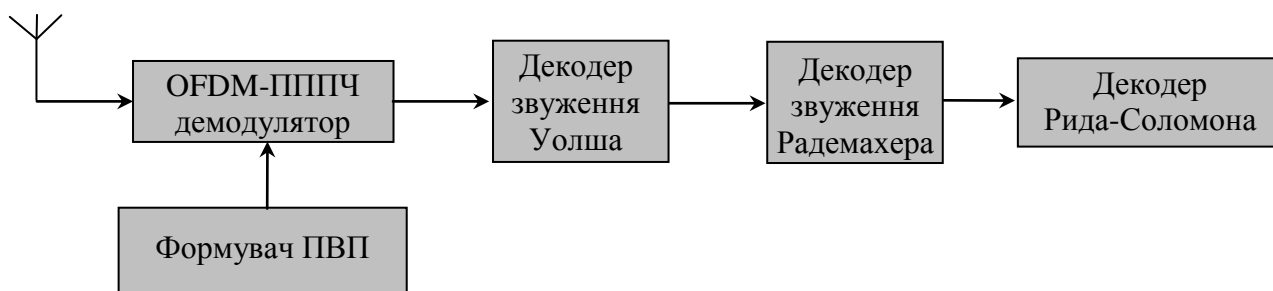


Рис. 2 – Структурна схема архітектури прийому системи OFDM з каскадним кодуванням

Якщо прийняти, що ведеться посимвольна передача зі швидкістю 1 символ/стрибок, $a = 1$, отже, $T_h \cdot F_s = 1$, то коефіцієнт розширення спектра K_s буде дорівнювати числу використовуваних частотних субканалів M_f безпроводної системи:

$$K_s^1 = M_f.$$

Відповідно коефіцієнт розширення спектра з використанням матриць Радемахера дорівнює:

$$K_s^2 = N.$$

де N – порядок матриці Радемахера.

У випадку сумісного застосування методу ПППЧ та методу розширення спектра на основі матриць Радемахера, коефіцієнт розширення спектра в гібридній схемі дорівнює добутку коефіцієнтів розширення спектра, які отримуються окремо для кожного з методів:

$$K_s^g = K_s^1 K_s^2 = M_f N.$$

З урахуванням коефіцієнта розширення спектра K_s^g вирази для розрахунку сигнал-завади при впливі шумової загороджувальної завади й шумової завади в частині смуги відповідно будуть мати такий вигляд:

$$h_{02j}^2 = \left(\frac{G_0}{E_b} + \frac{\log_2 M \cdot P_j}{K_s^g \cdot P_b} \right)^{-1} = \left(\left(\frac{E_b}{G_0} \right)^{-1} + \left(\frac{K_s^g \cdot P_b}{P_j \log_2 M} \right)^{-1} \right)^{-1} = \left((h_0^2)^{-1} + \left(\frac{q}{\log_2 M} \right)^{-1} \right)^{-1},$$

$$h_{03j}^2 = \left(\frac{G_0}{E_b} + \frac{\log_2 M \cdot P_j}{\gamma \cdot K_s^g \cdot P_b} \right)^{-1} = \left(\left(\frac{E_b}{G_0} \right)^{-1} + \left(\frac{\gamma \cdot K_s^g \cdot P_b}{P_j \log_2 M} \right)^{-1} \right)^{-1} = \left((h_0^2)^{-1} + \left(\gamma \cdot \frac{q}{\log_2 M} \right)^{-1} \right)^{-1}.$$

де P_b – потужність сигналу, P_j – потужність завади, $q = \frac{K_s^g \cdot P_b}{P_j}$, E_b – енергія біта, G_0 – спектральна щільність потужності завади, $M = 2^K$ – розмірність сигнального сузір'я.

Ймовірність бітової помилки при впливі шумової завади в частині смуги на систему з сигналами OFDM, ПППЧ та розширенням Радемахера для субканалів з сигналами ФМ-2 розраховуються як:

- ФМ-2:

$$P_{B1} = (1 - \gamma) Q(\sqrt{2h_0^2}) + \gamma Q\left(\sqrt{2\left((h_0^2)^{-1} + (\gamma \cdot q)^{-1}\right)^{-1}}\right).$$

Інформаційна швидкість визначається як:

$$v_s = \frac{B}{T_c} = \frac{N \cdot \log_2 M \cdot R}{T_c},$$

де T_c – тривалість символу, B – кількість інформаційних біт, що передається в одному OFDM-символі, N – кількість піднесучих, M – позиційність сигналів, R – швидкість

кодування. У разі застосування адаптивного розподілу потужності передавача відношення сигнал/завада на вході приймача у всіх підканалах вирівнюються та приймають значення h_j^2 .

Тоді енергетична ефективність визначається наступним чином:

$$\beta_E = v_s / (\gamma h_j^2 + (1-\gamma)h_0^2),$$

де $h_j^2 = \frac{k E_b}{n G_j}$ – відношення сигнал/шум, $h_0^2 = \frac{k E_b}{n G_0}$ – відношення сигнал/завада, γ – параметр завади, k – довжина інформаційної комбінації, n – довжина кодової комбінації, E_b – енергія біта, G_0 – спектральна щільність потужності шуму, G_j – спектральна щільність потужності завади.

Сутність запропонованого методу полягає в адаптивній зміні параметрів каскадного кодування систем відомчого радіозв'язку в залежності від зміни заводої обстановки в каналі зв'язку з метою одержання максимального значення енергетичної ефективності та забезпечення заданого значення достовірності прийому інформації.

Постановка задачі

Задано: режими роботи засобів радіозв'язку $\Phi = \{\phi_i\}$, $i = \overline{1, n}$, де $\phi_1 \dots \phi_n$ – режими (OFDM, ПППЧ); параметри передавального пристрою та каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = \overline{1, m}$, де $\psi_1 \dots \psi_m$ – потужність корисного сигналу, робоча частота, тривалість імпульсу сигналу, R – швидкість коду, смуга пропускання каналу зв'язку, вид модуляції, вид коригувального коду, вид функцій Радемахера та Уолша, спосіб обробки сигналу, вид навмисної завади, відношення сигнал/шум, відношення сигнал/завада, $H(t)$ – передаточна характеристика каналу зв'язку.

Необхідно: максимізувати величину енергетичної ефективності β_E ЗРЗ при забезпеченні заданого значення достовірності передачі інформації $P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}$.

Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі має вигляд:

$$\begin{cases} \beta_E = F_1(N, M_f, M, T_c, k, n, h_0^2, h_j^2, \gamma) \rightarrow \max, \\ P_{\text{пом}} = F_2(N, M_f, M, k, n, h_0^2, h_j^2, \gamma) \leq P_{\text{пом доп}}, \end{cases}$$

де N – кількість елементів функції Радемахера, M_f – кількість частотних каналів, M – позиційність сигналів, T_c – тривалість символу, k – довжина інформаційної комбінації, n – довжина кодової комбінації, h_0^2 – відношення сигнал-шум, h_j^2 – відношення сигнал-завада, γ – параметр завади.

Адаптивні методи дозволяють на основі результатів оцінки реально існуючих у каналі зв'язку завод забезпечувати близькі до оптимального режими функціонування системи за рахунок автоматичної перестройки алгоритму, зміни надмірності повідомлень і сигналів, структури кодувальних і декодувальних пристроїв й інших подібних заходів.

Метод заснований на представленні систем відомчого радіозв'язку у виді керованої системи, що працює за принципом відхилення. Узагальнену модель адаптивної системи відомчого радіозв'язку подано на рис. 3. Управління системою здійснюється на основі вимірювання зовнішніх впливів (характеристик навмисних завад) \mathbf{z} , що викликають відхилення стану системи від заданого. Закон управління має вигляд:

$$\mathbf{u}_i = \Psi(\mathbf{x}_i)\mathbf{b},$$

де i – номер кроку адаптації; $\Psi = \|\|\psi_{v\mu}\|\|$ ($v = 1, 2, \dots, N_1$; $\mu = 1, 2, \dots, M_1$) – матриця розміру $N_1 \times M_1$ лінійно незалежних функцій, що характеризують систему відомчого радіозв'язку; \mathbf{x}_i – вектор параметрів змінних системи відомчого радіозв'язку (параметрів і режимів роботи); \mathbf{b} – вектор коефіцієнтів пристрою управління.

Критерієм оптимальності служить максимальна величина коефіцієнта використання потужності сигналу

$$\beta_A = \dot{I} \{ \tilde{\sigma}_0, -\tilde{\sigma}_3 \},$$

де \mathbf{x}_{0i} – початковий вплив, прикладений до системи.

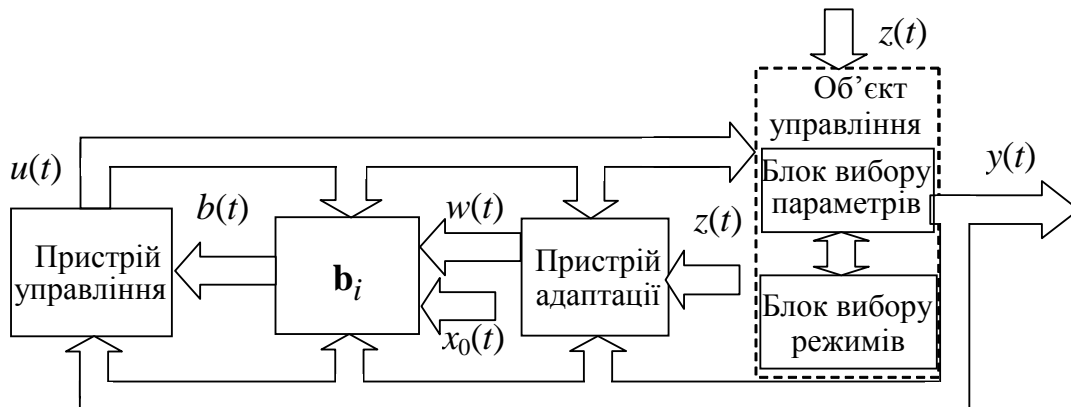


Рис. 3 – Узагальнена модель адаптивної системи відомчого радіозв'язку

Оптимальний вектор параметрів пристрою управління $\mathbf{b} = \mathbf{b}^*$ знаходиться за допомогою алгоритму

$$\mathbf{b}_{i+1} = \mathbf{b}_i - \alpha_{i+1} \nabla F_1(\mathbf{x}_{0i} - \Phi(\mathbf{x}_i, \Psi(\mathbf{x}_i)\mathbf{b}_i\mathbf{w}_i)),$$

де α_{i+1} – величина кроку зміни параметрів системи; $\Phi(\mathbf{x})$ – матриця відомих функцій, що залежать від параметрів системи відомчого радіозв'язку.

Пошук оптимальних параметрів робочої функції $\beta_A(\mathbf{w}_i)$ здійснюється методом можливих напрямків:

$$\beta_{A_{i+1}} = \beta_{A_i} - \alpha_{i+1} c_i,$$

де α_i – величина кроку зміни параметрів пристрою адаптації, c_i – напрямок пошуку, який залежить від виду і параметрів зовнішніх впливів (навмисних завад та селективних завмирань) \mathbf{z} , при якому виконується умова $\beta_A(\mathbf{w}_{i+1}) > \beta_A(\mathbf{w}_i)$.

Величина кроку α_i визначається такою, щоб

$$\beta_A(\mathbf{w}_{i+1} - \alpha_i c_i) = \max_{\alpha} \beta_A.$$

Адаптація системи відомчого радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад відповідно до розробленого методу реалізується в наступній послідовності. У переважній більшості випадків виявляється можливим виділити декілька можливих сценаріїв розвитку завадової обстановки. Цим сценаріям у відповідність можуть бути поставлені N різних стратегій системи відомчого радіозв'язку (параметрів і режимів роботи), які доцільно вибирати, виходячи з параметрів ефективності системи відомчого радіозв'язку при впливі різних видів навмисних завад. Даний підхід покладений в основу розробки алгоритму функціонування системи відомчого радіозв'язку зі структурною адаптацією і може бути розповсюджений на більшу кількість ступенів адаптації.

Вихідними даними в режимі ведення зв'язку є поточні значення векторів:

- контрольованої величини \mathbf{x} (x_1 – енергетична ефективність);
- регулюючого впливу \mathbf{u} (u_1 – довжина інформаційної комбінації, u_2 – довжина кодової комбінації, u_3 – функція Радемахера, u_4 – функція Уолша);
- завад \mathbf{z} (z_1 – вид навмисної завади, z_2 – частина смуги пропускання системи відомчого радіозв'язку, яку займає завада, z_3 – відношення сигнал/шум, z_4 – відношення сигнал/завада).

Ведення зв'язку з використанням обраної кодової конструкції здійснюється доти, поки ймовірність помилкового приймання сигналу не збільшиться більше заданого рівня ($P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}$).

У процесі функціонування адаптивної системи відомчого радіозв'язку здійснюється перевірка поточного значення ймовірності помилкового приймання сигналу і визначаються вид і параметри навмисної завади, що діє в каналі зв'язку. У випадку, якщо в результаті зміни завадової обстановки поточне значення $P_{\text{пом}}$ стає більшим, ніж допустиме значення $P_{\text{пом доп}}$, приймається рішення про зміну параметрів або режиму роботи засобу радіозв'язку при зміні виду навмисної завади, що діє в каналі зв'язку.

Метод адаптивного вибору параметрів каскадного кодування в системах відомчого радіозв'язку за умов впливу навмисних завад, алгоритм реалізації якої подано на рис. 4, складається з наступних етапів.

1. *Введення вихідних даних.* Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = 1, m$, а також заданої швидкості передачі інформації $\nu_{\text{доп}}$.

2. *Оцінка стану каналу зв'язку.* На даному етапі оцінюється стан каналу зв'язку та визначається вектор завад \mathbf{z} .

3. *Вибір режиму роботи системи OFDM.* В залежності від значення відношення сигнал-завада, вибирається варіант передачі даних з використанням тільки потужних

субканалів та встановлюється граничне значення відношення сигнал-завада $h_{3гр}^2$, яке визначається на етапі проектування і залежить від стану каналу.

Канали, в яких відношення сигнал-завада менше допустимого, відключаються.

4. *Перевірка виконання умови $h_3^2 \leq h_{3гр}^2$.*

5. *Вибір кодових конструкцій.* Алгоритм вибору кодових конструкцій для кожного каналу складається з вибору, в залежності від заводової обстановки, вибору коригувального коду, коду, утвореного за допомогою функцій Радемахера, та коду, утвореного за допомогою коду Уолша.

6. *Перевірка виконання умови $P_B \leq P_{B доп}$.*

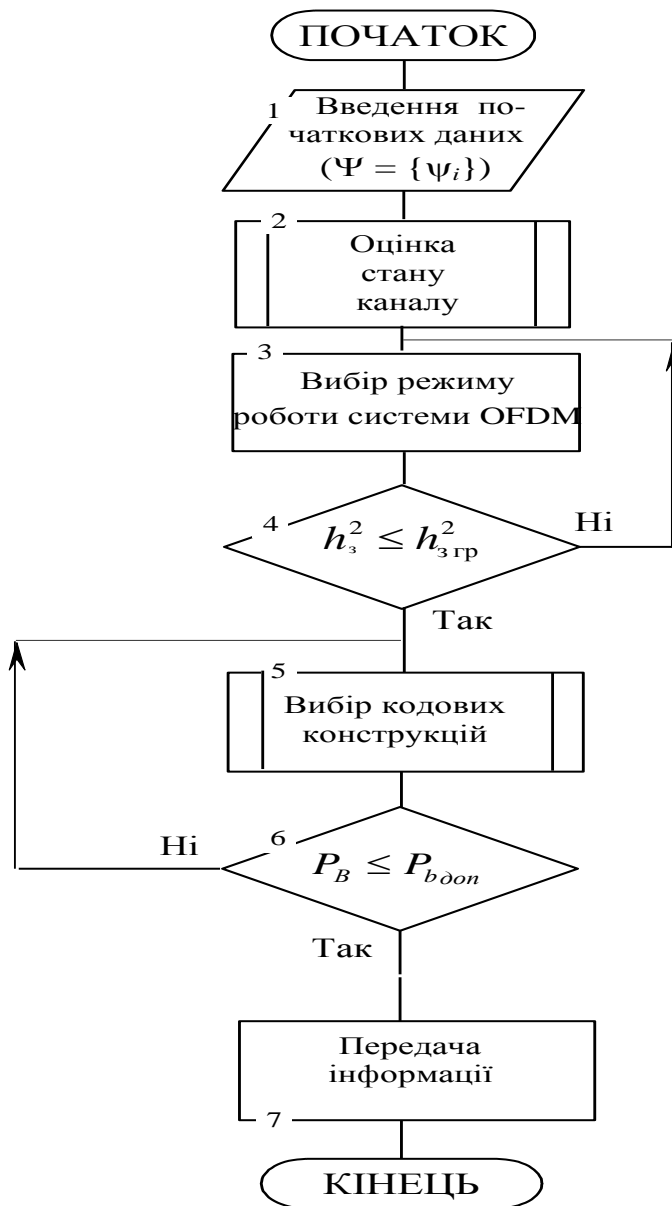


Рис. 4 – Схема алгоритму реалізації методу адаптивного вибору параметрів каскадного кодування в системах відомчого радіозв'язку за умов впливу навмисних завад

З використанням математичного пакету *Mathcad* та імітаційного моделювання здійснено вибір параметрів кодів Рида-Соломона, кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера та Уолша при впливі шумової загороджувальної завади, шумової завади в частині смуги та завади у відповідь. Результати вибору наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

завада/ ВСЗ (P_b/P_j , дБ)	Шумова завада в частині смуги			Завада у відповідь		
	$\gamma = 0,9$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 0,1$	$\gamma = 0,9$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 0,1$
-3	$n = 31, k = 27,$ $m = 2, t = 5,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 1$	$n = 31, k = 27,$ $m = 2, t = 5,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 1$	$n = 31, k = 27,$ $m = 2, t = 5,$ $K_s^1 = 4, K_s^2 = 1$	$n = 31, k = 27,$ $m = 2, t = 5,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 1$	$n = 31, k = 27,$ $m = 2, t = 5,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 1$	$n = 31, k = 27,$ $m = 2, t = 5,$ $K_s^1 = 2, K_s^2 = 2$
-5	$n = 31, k = 21,$ $m = 5, t = 5,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 1$	$n = 31, k = 21,$ $m = 5, t = 5,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 1$	$n = 31, k = 21,$ $m = 5, t = 5,$ $K_s^1 = 2, K_s^2 = 1$	$n = 31, k = 21,$ $m = 5, t = 5,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 8$	$n = 31, k = 21,$ $m = 5, t = 5,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 2$	$n = 31, k = 21,$ $m = 5, t = 5,$ $K_s^1 = 4, K_s^2 = 1$
-7	$n = 63, k = 55,$ $m = 6, t = 4,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 2$	$n = 63, k = 55,$ $m = 6, t = 4,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 2$	$n = 63, k = 55,$ $m = 6, t = 4,$ $K_s^1 = 4, K_s^2 = 1$	$n = 63, k = 55,$ $m = 6, t = 4,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 4$	$n = 63, k = 55,$ $m = 6, t = 4,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 1$	$n = 63, k = 55,$ $m = 6, t = 4,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 1$
-9	$n = 63, k = 47,$ $m = 6, t = 8,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 1$	$n = 127, k = 111,$ $m = 7, t = 8,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 1$	$n = 127, k = 111,$ $m = 7, t = 8,$ $K_s^1 = 2, K_s^2 = 2$	$n = 127, k = 111,$ $m = 7, t = 8,$ $K_s^1 = 32, K_s^2 = 2$	$n = 127, k = 111,$ $m = 7, t = 8,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 2$	$n = 127, k = 111,$ $m = 7, t = 8,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 1$
-11	$n = 63, k = 47,$ $m = 6, t = 8,$ $K_s^1 = 32, K_s^2 = 2$	$n = 127, k = 111,$ $m = 7, t = 8,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 1$	$n = 127, k = 111,$ $m = 7, t = 8,$ $K_s^1 = 8, K_s^2 = 2$	$n = 127, k = 95,$ $m = 7, t = 16,$ $K_s^1 = 64, K_s^2 = 4$	$n = 127, k = 95,$ $m = 7, t = 16,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 4$	$n = 127, k = 95,$ $m = 7, t = 16,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 1$
-13	$n = 63, k = 21,$ $m = 6, t = 21,$ $K_s^1 = 32, K_s^2 = 5$	$n = 256, k = 224,$ $m = 7, t = 16,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 3$	$n = 256, k = 224,$ $m = 7, t = 16,$ $K_s^1 = 16, K_s^2 = 1$	$n = 256, k = 224,$ $m = 7, t = 16,$ $K_s^1 = 64, K_s^2 = 8$	$n = 256, k = 224,$ $m = 7, t = 16,$ $K_s^1 = 32, K_s^2 = 4$	$n = 256, k = 224,$ $m = 7, t = 16,$ $K_s^1 = 32, K_s^2 = 2$

На рис. 5, 6 показані залежності середньої ймовірності бітової помилки від відношення P_b/P_j для системи OFDM з кодуванням з використанням функцій Радемахера та ПППЧ (модуляція ФМ-2) при впливі на субканали шумової завади в частині смуги для різних K_s^1, K_s^2, γ . Аналіз графічних залежностей свідчить про те, що збільшення значення коефіцієнта розширення з використанням функції Радемахера призводить до підвищення достовірності передачі інформації. Так, застосовуючи значення $K_s^2 = 5$ енергетичний вигравш кодування з використанням функції Радемахера складає 7 дБ для забезпечення достовірності передачі інформації $P_b = 10^{-4}$ в порівнянні із застосуванням $K_s^2 = 1$, при впливі шумової завади в частині смуги з коефіцієнтом перекриття $\gamma = 0,9$.

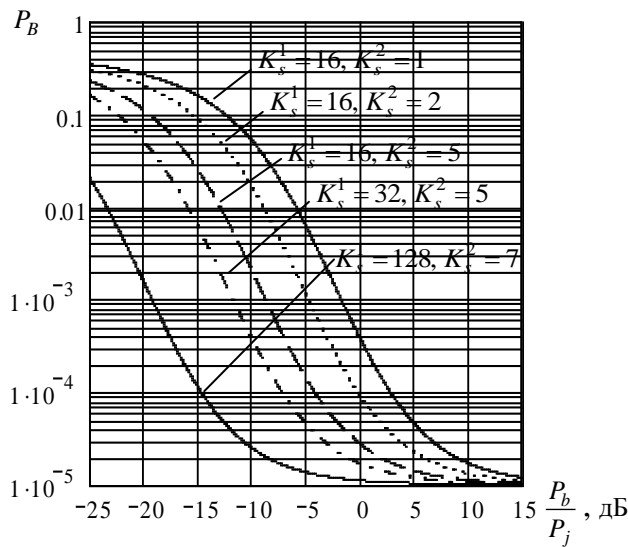


Рис. 5 – Залежність середньої ймовірності бітової помилки від відношення P_b / P_j для системи OFDM з кодуванням з використанням функцій Радемахера та ПППЧ (модуляція ФМ-2) при впливі на субканали шумової завади в частині смуги з $\gamma = 0,9$ для різних K_s^1, K_s^2

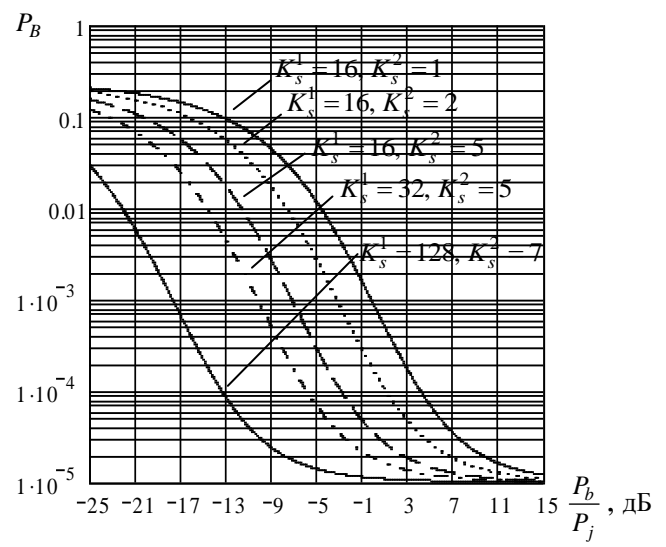


Рис. 6 – Залежність середньої ймовірності бітової помилки від відношення P_b / P_j для системи OFDM з кодуванням з використанням функцій Радемахера та ПППЧ (модуляція ФМ-2) при впливі на субканали шумової завади в частині смуги з $\gamma = 0,5$ для різних K_s^1, K_s^2

3. Висновки

У статті запропоновано метод вибору параметрів каскадного кодування систем відомчого радіозв'язку з урахуванням впливу навмисних завад, сутність якого полягає в рішенні оптимізаційної задачі пошуку максимального значення енергетичної ефективності за умов забезпечення заданого значення достовірності передачі інформації та за рахунок вибору оптимальних параметрів кодів Риди-Соломона і кодів, утворених з використанням функцій розширення Радемахера та Уолша.

Отримані нові каскадні кодові конструкції для систем відомчого радіозв'язку з урахуванням впливу навмисних завад.

Результати моделювання характеристик достовірності передачі інформації в системах відомчого радіозв'язку свідчать, що отримані кодові конструкції дозволяють забезпечити енергетичний вигравш кодування до 16 дБ в порівнянні з відомими результатами.

Список використаної літератури

1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / [Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.

2. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / [Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др.]. – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.

3. Khan F. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance / Khan F. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 509 p.

Стаття надійшла до редакції 01.08.14 українською мовою

© В.В. Приступа

**МЕТОД ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ КАСКАДНОГО КОДИРОВАНИЯ
СИСТЕМ ВЕДОМСТВЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ
С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ**

В статье предложен метод выбора параметров каскадного кодирования систем ведомственной радиосвязи с учетом воздействия преднамеренных помех, суть которого состоит в решении оптимизационной задачи поиска максимального значения энергетической эффективности при условии обеспечения заданного значения достоверности передачи информации за счет выбора оптимальных параметров кодов Рида-Соломона и кодов, полученных с использованием функций расширения Радемахера и Уолша. Получено новые каскадные кодовые конструкции для систем ведомственной радиосвязи с учетом воздействия преднамеренных помех.

© V.V. Prystupa

**METHOD OF SELECTION OF PARAMETERS
CONCATENATED CODING DEPARTMENTAL SYSTEMS
CONSIDERING THE EFFECTS OF JAMMING**

This paper proposes a method for selecting the parameters of concatenated coding systems departmental radio considering the effects of jamming, the essence of which is to solve the optimization problem of searching the maximum value of energy efficiency, provided that the specified values reliability of information transmission through the choice of the optimal parameters of Reed-Solomon codes and the codes obtained using extension functions Rademacher and Walsh. Get new code cascading structure for departmental systems, taking into account the impact of radio jamming.