

УДК 621.391

А.М. Носик

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИНТЕЗОВАНИХ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ

Досліджена завадостійкість кореляційного прийому складних сигналів в системах зв'язку множинного доступу з кодовим розподілом каналів. На основі проведених досліджень дана оцінка завадостійкості прийому складних сигналів з урахуванням кореляційних властивостей синтезованих систем сигналів. Результати досліджень показали, що використання синтезованих ансамблів сигналів дозволяє суттєво підвищити завадостійкість, а як наслідок ефективність їх використання в системах зв'язку з кодовим розподілом каналів.

Ключові слова: система зв'язку з кодовим розподілом каналів, завадостійкість, складні сигнали, імовірність помилки.

Постановка проблеми та аналіз літератури

За минуле десятиліття бездротовий зв'язок пройшов шлях від невизначеної концепції до глобальної телекомунікаційної служби, основу якої на теперішній час складають системи рухомого зв'язку.

В даний час все більш широке розповсюдження в системах зв'язку отримує технологія множинного доступу з кодовим розділенням каналів (Code Division Multiple Access або скорочено CDMA), основними принципами якої є розширення спектру у поєднанні з кодовим поділом фізичних каналів за рахунок використання псевдовипадкових послідовностей [1, 2], які стосовно до військової сфери застосовуються для забезпечення скритності і ефективної роботи систем зв'язку в умовах радіопротидії і багатопроменевого розповсюдження сигналів.

Важливими показниками ефективності систем зв'язку є показники завадостійкості радіоканалів управління. Вони характеризують здатність системи зв'язку протидіяти навмисним завадам противника, нав'язуванню помилкових сигналів і режимів роботи радіоелектронних засобів, а також здатністю скрито функціонувати в умовах ведення противником радіоелектронної розвідки.

У даній статті з використанням методів теорії імовірнісної і математичної статистики досліджуються завадостійкість радіоканалів управління з використанням сформованих ансамблів сигналів, проводяться порівняльні дослідження із найкращими існуючими класами сигналів.

Проблема підвищення ефективності використання радіочастотного спектру в системах з кодовим розділенням каналів, дуже актуальна, і в даний час проводяться дослідження багатокористувальницьких методів прийому.

Мінімізувати взаємний вплив завад в таких системах можливо за рахунок поліпшення властивостей сигналів, що застосовуються [1]. Аналіз публі-

кацій, які описують роботу систем зв'язку в умовах радіопротидії, показав що якість їх функціонування залежить від кореляційних, структурних і ансамблевих властивостей сигналів, що використовуються [3 – 5].

Відомі системи сигналів не забезпечують необхідні значення імітостійкості і завадозахищеності систем зв'язку у військовій сфері [7].

У роботах [7, 8] запропонований метод формування систем складних сигналів з поліпшеними ансамблевими і структурними властивостями. Як випливає з публікацій [8], отримані сигнали володіють кореляційними властивостями, такими, як у найкращих відомих систем сигналів.

Метою статті є оцінка завадостійкості синтезованих ансамблів складних сигналів порівняно з найкращими відомими системами сигналів, що застосовуються в радіоканалах управління.

Матеріал досліджень

Завадостійкість, як властивість системи протидіяти впливу завад і інших заважаючих факторів, визначається кількісно за допомогою ряду характеристик і показників. У системах цифрової передачі повідомлень найбільш вживаним показником завадостійкості, що використовується є імовірність помилки.

Найбільш важливим, як у теоретичному, так і в практичному відношенні є обчислення імовірності помилки при дії білого шуму (з рівномірним необмеженим спектром) або квазібілого шуму (з рівномірним обмеженим спектром) із нормальним законом розподілу миттєвих значень — гаусовського шуму, який присутній практично у всіх каналах зв'язку, а в деяких з них є єдиною або переважаючою завадою [6].

Імовірність помилки залежить від відношення енергії сигналу до спектральної щільності потужності шуму, яке характеризує відношення сигнал-шум, що приходиться на одну двійкову одиницю

$$h^2 = \frac{P_c T}{N_0} = \frac{P_c}{W N_0} = \frac{E}{N_0},$$

де P_c – потужність сигналів;
 T – тривалість послідовності сигналів;
 E – енергія елемента (посилки) сигналу;
 N_0 – спектральна щільність потужності шуму;
 W – швидкість передачі інформації $W = 1/T$.

Показником завадостійкості системи зв'язку при заданому співвідношенні сигнал-шум є імовірність помилки. Так, для двійкових систем імовірність помилки можливо обчислити, як [3]

$$P_{ош} = 1 - \Phi(y), \quad (1)$$

де

$$\Phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_y^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

а аргумент

$$y = \sqrt{[(E_0 + E_1) / 2N_0](1 - R)}, \quad (2)$$

де E_0, E_1 – енергія сигналів $u_0(t), u_1(t)$ відповідно;

R – коефіцієнт кореляції сигналів.

У випадку рівності енергії сигналів $E_0 = E_1$ вираз (1) приймає вигляд

$$P_{ош} = 1 - F[h_2 \cdot (1 - R)], \quad (3)$$

$$h_2^2 = \frac{E_2}{N_0},$$

де E_2 – енергія двійкового сигналу.

В [3, 4] показано, що для сигналів з рівними коефіцієнтами кореляції завадостійкість буде такою ж, як і для ортогональних, але із зміненим відношенням сигнал-шум

$$P_{ош}(h_m, R) = P_{ош}(h_m \sqrt{1 - R}, 0), \quad (4)$$

де h_m – відношення сигнал-шум, що приходить на один m -ий сигнал

$$h_m = h_2 \sqrt{\log_2 m};$$

$P_{ош}(h_m, R)$ – імовірність помилки при відношенні сигнал-шум h_m і коефіцієнті кореляції R ;

$P_{ош}(h_m \sqrt{1 - R}, 0)$ імовірність помилки для ортогональних сигналів.

При прийомі M ортогональних сигналів імовірність помилки складе [3]

$$P_{ош} = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-t^2/2}}{\sqrt{2\pi}} [F(t + \sqrt{2} \cdot h_m)]^{M-1} dt. \quad (5)$$

Для оцінки завадостійкості синтезованих сигналів прийемо R рівним середньому значенню максимальних викидів бокових пелюстків функції кореляції U_{max} , тоді з урахуванням (4) та (5) імовірність

помилки приблизно дорівнює

$$P_{ош} \approx 1 -$$

$$- \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-t^2/2}}{\sqrt{2\pi}} [F(t + (\sqrt{2} - 2U_{max} \cdot h_m))]^{M-1} dt. \quad (6)$$

Графіки залежності $P_{ош}$ від відношення сигнал-шум, що приходяться на одну двійкову одиницю h_2 при $m=M=255$ та $m=M=511$, наведені на рис. 1 і 2.

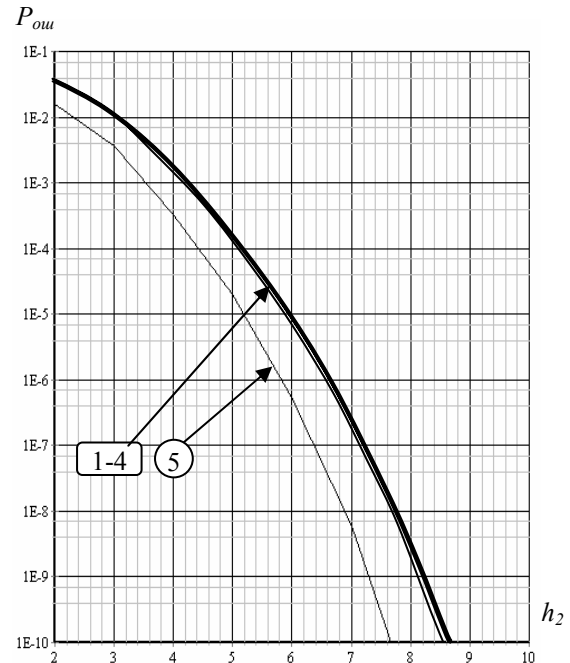


Рис. 1. Залежність імовірності помилки у символі $P_{ош}$ від відношення сигнал-шум, що приходиться на одну двійкову одиницю h_2 при $m=255$

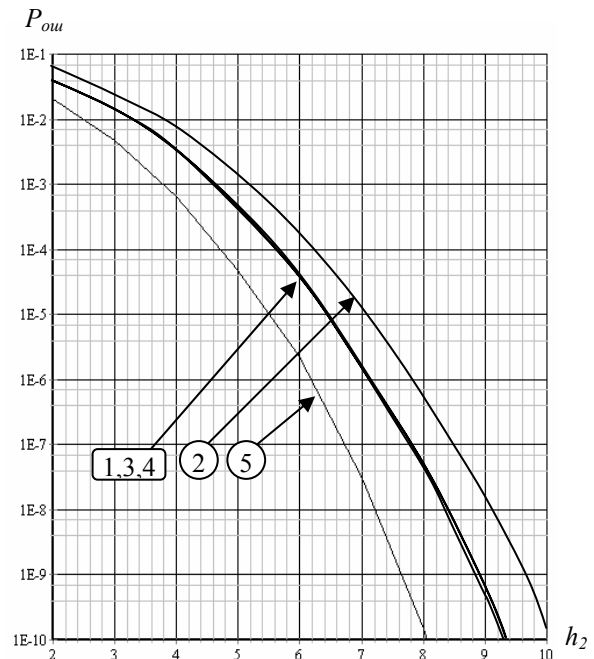


Рис. 2. Залежність імовірності помилки у символі $P_{ош}$ від відношення сигнал-шум, що приходиться на одну двійкову одиницю h_2 при $m=551$

На рис. 1 та 2 позначені: 1 – лінійні рекурентні послідовності максимальної довжини; 2 – характеристичні послідовності; 3 – похідні ортогональні послідовності; 4 – отримані послідовності; 5 – ортогональні послідовності.

Середнє значення максимальних викидів бокового пелюстка U_{\max} , які використовуються при проведенні розрахунків [6], наведені у табл. 1

Таблиця 1

Значення U_{\max} періодичної функції взаємної кореляції синтезованих систем сигналів

	Кількість елементів в сигналі				
	16/ 31*	60/ 63*	256/ 255*	508/ 511*	1020/ 1023*
Характеристичні послідовності	3.1 \sqrt{M}	3 \sqrt{M}	3.8 \sqrt{M}	3.2 \sqrt{M}	3.1 \sqrt{M}
Похідні ортогональні послідовності	1.5 \sqrt{M}	2.6 \sqrt{M}	3 \sqrt{M}	3.2 \sqrt{M}	3.8 \sqrt{M}
Лінійні рекурентні послідовності максимальної довжини	2.9 \sqrt{M}	2.5 \sqrt{M}	2.9 \sqrt{M}	3.1 \sqrt{M}	3.1 \sqrt{M}
Отримані і послідовності	2.1 \sqrt{M}	2.3 \sqrt{M}	2.8 \sqrt{M}	3 \sqrt{M}	3.3 \sqrt{M}

Висновки

У результаті проведених досліджень завадостійкості синтезованих дискретних сигналів, що наведені на рис. 1 та рис. 2 встановлено, що застосування даних сигнально-кодових конструкцій у радіоканалах управління забезпечує завадостійкість

нарівні з найкращими відомими системами сигналів.

При цьому отримані системи сигналів мають поліпшені ансамблеві властивості, що в підсумку збільшує пропускну здатність систем зв'язку множинного доступу з кодовим поділом каналів (таких як, наприклад CDMA), а також дозволяє знизити енергетичні витрати кожного абонента, що у свою чергу приводить до збільшення загальної кількості абонентів.

Список літератури

1. Скляр Б. *Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение.* – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
2. Прокис Дж. *Цифровая связь: Пер. с англ / Под ред. Д. Д. Кловского.* – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
3. Варакин Л.Е. *Системы связи с шумоподобными сигналами.* – М.: Сов. радио, 1985. – 384 с.
4. *Цифровые методы в космической связи / Под ред. Е.В. Кормаровой.* – М.: Связь, 1969. – 268 с.
5. Савищенко Н.В. *Специальная интегральная функция для анализа помехоустойчивости когерентного приема сигнальных конструкций // Информатика и космос.* – 2005. – № 3. – С. 19-27.
6. Окунев Ю.Б. *Цифровая передача информации фазомодулированными сигналами.* – М.: Радио и связь, 1991. – 296 с.
7. Носик А.М., Носик О.М., Калачева В.В. *Анализ алгоритмов формирования нелинейных квазиортогональных систем сигналів із заданими властивостями // Системи обробки інформації.* – Х.: ХУПС. – 2006. – № 3 (52). – С. 110-114.
8. Стасев Ю.В., Кузнецов А.А., Носик А.М., Качур Л.Н. *Формирование больших ансамблей дискретных сигналов с использованием избыточных кодов // Сборник научных работ Харьковского университета Повітряних Сил.* – Х.: ХУПС, 2008. – Вып. 2(17). – С. 102-110.

Надійшла до редколегії 23.04.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Кузнецов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ АНСАМБЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

А.М.Носик

Исследована помехоустойчивость корреляционного приема сложных сигналов в системах связи множественного доступа с кодовым разделением каналов. На основе проведенных исследований дана оценка помехоустойчивости приема сложных сигналов с учетом корреляционных свойств синтезированных систем сигналов. Результаты исследования показали, что применение синтезированных ансамблей сигналов позволяет существенно повысить помехозащищенность, а как следствие эффективность их использования в системах связи с кодовым разделением каналов.

Ключевые слова: система связи с кодовым разделением каналов, помехозащищенность, сложные сигналы, вероятность ошибки.

ESTIMATION OF NOISE IMMUNITY OF THE SYNTHESIZED ENSEMBLES OF DIFFICULT

A.M. Nosik

The noise stability of correlation reception of difficult signals in communication systems with multistation access code division of channels is investigated. On the basis of the spent researches the estimation of a noise stability of reception of difficult signals taking into account correlation properties of the synthesised sis it difficult signals is given. Results of research have shown that application of the synthesised ensembles of signals allows to raise essentially noise immunity, and as consequence efficiency of their use in communication systems with code division of channels.

Keywords: ccommunication system with code division of channels, noise immunity, difficult signals, probability of an error.