

УДК 621.391

А.В. Шишацький¹, І.В. Борисов², О.М. Макарчук², Р.М. Животовський¹¹ ЦНДІ озброєння та військової техніки ЗС України, Київ² Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЗАСОБІВ ВІЙСЬКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ В УМОВАХ АКТИВНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ

У статті запропоновано методику вибору раціональних значень параметрів засобів військового радіозв'язку з кодовим розділенням каналів в умовах активної радіоелектронної протидії, що заснована на виборі раціональних значень параметрів засобів радіозв'язку в залежності від сигнально-завадової обстановки.

Ключові слова: сигнально-завадова обстановка, швидкість передачі інформації, ймовірність бітової помилки, радіоелектронне подавлення, навмисні завади.

Вступ

Перспективним напрямком розвитку військових мереж радіодоступу (ВМР) є системи з кодовим розділенням каналів, що використовують пряме розширення сигналів. В таких системах передача інформації різними абонентами здійснюється широко-смуговими сигналами (ШСС), які перекриваються за спектром і в часі, але розрізняються за формою.

Ефективність ВМР з кодовим розділенням каналів обмежена рядом факторів, основними з яких є: вплив навмисних завад, нестабільність та різноманіття ймовірнісних розподілів завадової комплексу, нестационарність каналу зв'язку, випадкові флуктуації комплексних множників каналу та завмирання сигналів.

Проведений аналіз робіт [1–6] показав, що завади які можуть бути використані для подавлення засобів радіозв'язку з ШСС та методи обробки сигналів з кодовим розділенням каналів, мають складний характер аналізу та розглянуті не в повному обсязі.

Для подавлення засобів радіозв'язку (ЗРЗ) можуть застосовуватися різні види організованих завад. Основними видами завад, що порівняно просто реалізуються в системах радіоелектронного подавлення є: шумова загороджувальна завада, гармонічна (вужкосмугова) завада та імпульсна завада.

Негативний вплив навмисних завад в системах і засобах радіозв'язку може бути значно послаблений за рахунок застосування адаптивних алгоритмів формування та обробки широкосмугових сигналів, які дозволяють підвищити енергетичну ефективність засобів радіозв'язку.

При цьому важливим є завдання оцінки рівня спотворення широкосмугових сигналів в системах з кодовим розділенням каналів при впливі навмисних завад.

Тому метою статті є розробка методики вибору раціональних значень параметрів засобів військового радіозв'язку з кодовим розділенням каналів в умовах активної радіоелектронної протидії.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сутність методики полягає в раціональному виборі параметрів засобів військового радіозв'язку з кодовим розділенням каналів в залежності від стану каналу зв'язку, що забезпечує прогнозування стану каналу зв'язку, розрахунок мінімально необхідної довжини кодової послідовності, скремблювання переданої інформації, а також адаптивного регулювання потужності сигналу.

Методика вибору раціональних значень параметрів засобів військового радіозв'язку з кодовим розділенням каналів в умовах активної радіоелектронної протидії, алгоритм реалізації якої подано на рис. 1 складається з наступних етапів.

1. Введення вихідних даних (дія 1 на рис. 1).

Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, а також значення мінімально необхідної швидкості передавання $v_{\text{ідоп}}$ та ймовірності бітової помилки P_6 .

2. Оцінка стану каналу зв'язку (дія 2 на рис. 1). За допомогою відомих методів оцінки здійснюється аналіз рівня P_6 бітових помилок у каналі та комплексного коефіцієнту передачі.

3. Визначення типу та параметрів завад в каналі зв'язку (дія 3-5 на рис. 1).

4. Прогнозування стану каналу зв'язку (дія 6 на рис. 1).

Розглянемо принцип прогнозування стану каналів, що реалізований за допомогою розробленої в [10] методики.

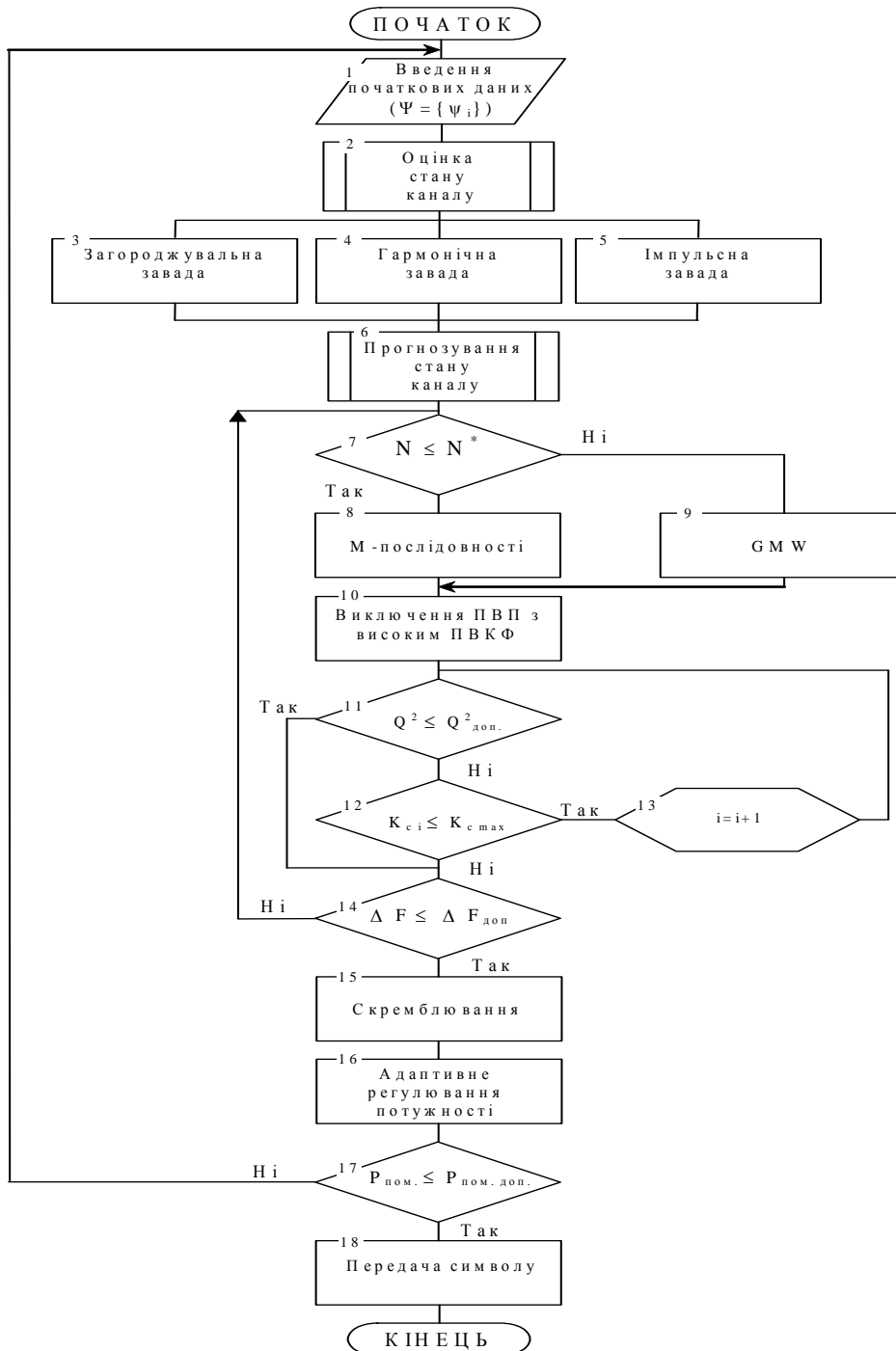


Рис. 1. Алгоритму методики вибору раціональних значень параметрів ЗРЗ військового призначення з кодовим розподілом каналів в умовах активної електронної протидії

В лінійному тракті прийомопередавача виділяється полоса субчастот $f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cN}$, що розміщені біля однієї фіксованої частоти f_{ϕ} . 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 завад, та ймовірності бітових помилок будуть мінімальні. Отримані номери субчастот надходять на блок управління.

Оцінювання полів квантилів завад пропонується здійснювати в два етапи. На першому етапі здійсню-

ється фільтрація полів квантилів в кожному субканалі незалежно один від одного. Для цього відліки завад в блоках цифрової фільтрації на кожній j -й субчастоті $Z_{ji}, i = 1, 2$, порівнюються зі змінюючим пороговим рівнем $\hat{x}_{ij}, i = 1, 2$. Якщо черговий i -й відлік Z_{ji} перевищує пороговий рівень \hat{x}_{ij} , то значення \hat{x}_{ij} збільшується на величину Δ . 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 Δ . Таким чином, кожний цифровий фільтр може бути представлений у вигляді автоматичної системи підстроювання рівня квантилі з цифровим інтегратором. Порівняння рівня Z_{ji} з рівнем \hat{x}_{ij} виконується пороговим елементом. Зазначену систему оцінювання квантилі на одному підканалі можна розглядати як варіант реалізації псевдоградієнтного адаптивного алгоритму прогнозування стану каналів зв'язку.

5. *Вибір виду та тривалості розширювальної послідовності (дія 7–8 на рис. 1).*

Для боротьби з навмисними завадами (особливо імітаційними) застосовується розширення спектру за допомогою технології розширювальної кодової послідовностей, основними принципами якої являється розширення спектра в поєднанні з кодовим розділенням фізичних каналів за рахунок використання псевдовипадкових послідовностей (ПВП).

Для розширення спектра в СРЗ використовуються різні види розширювальних послідовностей: двійкові (послідовності Уолша, послідовності Шапіро-Рудіна, коди Баркера, коди Голда, M -послідовності, послідовності Адамара) та багатофазні (послідовності Френка та Задова-Чу, послідовності Мілевського, послідовності Голя). Нижче розглянемо деякі найбільш ефективні послідовності, що використовуються в даний час [12].

Порівняльний аналіз цих послідовностей показав, що найменший пік-фактор забезпечують ідеальні багатофазні послідовності Френка, Задова-Чу, Мілевського ($P \leq 2$ (3 дБ)). Двійкові послідовності Шапіро-Рудіна забезпечують $P \leq 4$ (6 дБ). Широке застосування в системах ширококутового зв'язку знайшли так звані M -послідовності. Як правило, використовуються двійкові M -послідовності, символи яких $a(k)$ та $d(k)$ приймають значення $a(k)$ 1 та 0, $d(k)$ відповідно -1 та 1. Такі послідовності володіють наступними властивостями:

1) M -послідовність є періодичною с періодом $L = 2^{l-1}$ символів, де N – кількість елементарних символів послідовності, а l – довільне ціле додатне число;

2) кількість символів, які приймають значення одиниці, на довжині одного періоду M -послідовності дорівнює 2^{l-1} , що на одиницю більше, ніж кількість символів, що приймають значення нуль;

3) різні комбінації символів довжини l на довжині одного періоду M -послідовності за винятком комбінації із n нулів зустрічаються не більш одного разу. Комбінація із n нулів являється забороненою, на її основі можлива генерація тільки послідовностей із самих нулів;

4) сума по mod 2 будь-якої M -послідовності з її довільним циклічним зсувом також є M -послідовністю;

5) періодична автокореляційна функція (АКФ) M -послідовності має постійний рівень бокових пелюстків, який дорівнює $(1/L)$.

Рівень максимальних бокових пелюстків аперіодичної АКФ приблизно складає $1/\sqrt{L}$.

Формування M -послідовності відбувається за допомогою багатократних лінійних фільтрів у вигляді реєстрів зсуву з зворотнім зв'язком. Для формування M -послідовностей з періодом $L = 2^{l-1}$ може використовуватись реєстр зсуву довжиною l .

Коди Голда мають високе значення автокореляційної функції та низьке значення кореляції. Такі властивості забезпечують можливість використання цих кодів для реалізації множинного доступу с кодовим розділенням.

Коди Голда з періодом 2^{l-1} формуються на основі двох M -послідовностей з відбором так званих "передаточних пар", які мають трьохзначну функцію автокореляції $(1, \varphi(t), \varphi(t), 2)$, де

$$\varphi(t) = \begin{cases} 2(L+1)/2, \text{ де } L \text{ парне;} \\ 2(L+2)/2, \text{ де } L \text{ непарне.} \end{cases}$$

Коди Голда формуються шляхом суми кожного символу по модулю 2 двох m -послідовностей. Вони поділяються на три типа: первинні, вторинні ортогональні коди Голда (довжиною 256 біт) та довгий код.

Ортогональні коди Голда утворюються на основі M -послідовності довжиною 255 біт та добавлення одного надлишкового символу. Первинний синхрокод має аперіодичну автокореляційну функцію та використовується для початкового входу в синхронізм. Вторинний синхрокод представляє собою не модульований код Голда, який передається з первинним синхрокодом. Кожний вторинний синхрокод вибирається з 17 різних кодів Голда.

6. *Оцінка періодичної взаємкореляційної функції (ПВКФ) та виключення псевдовипадкових послідовностей з високими ПВКФ (дія 9–10 на рис. 1).*

На підставі проведеного вибору псевдовипадкових послідовностей відбувається вибір послідовностей для організації радіозв'язку, після чого відбувається виключення псевдовипадкових послідовностей з високою кореляційною функцією.

7. Скремблювання псевдовипадкових послідовностей (дія 11–15 на рис. 1).

Фінальним етапом формування сигналу для ЗРЗ в мережі з кодовим розділенням сигналів є формування специфічної для кожного користувача сигнатури для реалізації асинхронного розділення сигналів різних ЗРЗ. Зазначена процедура має назву скремблювання.

8. Адаптивне регулювання потужності сигналу (дія 16 на рис. 1).

На зазначеному етапі відбувається адаптивне регулювання потужності випромінювання в залежності від відстані до кореспондента та сигнально-завадової обстановки.

9. Перевірка вимог до заводозахисності (дія 17 на рис. 1).

На зазначеному етапі відбувається перевірка вимог до заводозахисності, якщо вимоги по забезпеченню P_6 не виконуються, то виникає необхідність зміни вихідних даних.

ВИСНОВКИ

В роботі запропонована методика вибору раціональних значень параметрів засобів військового радіозв'язку з кодовим розділенням каналів в умовах активної радіоелектронної протидії.

Запропонована методика дозволяє визначити вид та тривалість розширювальної послідовності; проаналізувати періодичну взаємкореляційну функцію та виключити псевдовипадкові послідовності з високими періодичними взаємкореляційними функціями; визначити параметри мережі (відношення сигнал/завада; коефіцієнта розширення; ширини смуги пропускання); обчислити середню імовірність помилки на біт при впливі навмисних завод.

Використання розробленої методики дозволить підвищити заводозахисність засобів радіозв'язку на 18–20% у порівнянні з відомими.

Напрямок подальших досліджень є розробка удосконаленої методики адаптивного управління параметрами МІМО-UWB систем.

Список літератури

1. Системы мобильной связи с кодовым разделением каналов / [В.Ю. Бабков, А.Н. Никитин, К.Н. Осенний, М.А. Сиверс.]. – СПб.: “Триада”, 2003. – 239 с.
2. Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи / А.Н. Берлин. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 296 с.
3. Итоги науки и техники. Т. 5 / П.В. Нестеров, С.В. Эмельянов, А.К. Айламазян, З.Б. Голембо. – М.: ВИНТИ, 1990. – 232 с.
4. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов / В.П. Ипатов. – М.: Техносфера, 2007. – 488 с.
5. Современные беспроводные сети. Состояние и перспективы развития / [И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко]. – К.: ЕКМО, 2009. – 672 с.
6. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / [Х. Кааранен, А. Ахтиянен, Л. Лаутинен и др.]. – М.: Техносфера, 2007 – 464 с.
7. Палый А.И. Радиоэлектронная борьба. 2-е издание / А.И. Палый. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
8. Помехозащищенность систем радиосвязи / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, В.И. Шестопалов. – М.: Радио и связь, 2011. – 550 с.
9. Заводостійкість каналів зв'язку: навч. посіб. / В.Д. Бабич, О.В. Кувшинов, О.П. Лежнюк, С.П. Лівенцев – К.: КВІУЗ, 2001. – 150 с.
10. 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.
11. Удосконалена методика оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції / А.В. Шишацький, О.Г. Жук, В.В. Лютов, Р.М. Животовський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 4(25). – С. 117-121.
12. Шишацький А.В. Аналіз напрямів підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням / А.В. Шишацький, О.Г. Жук, В.В. Лютов // Озброєння та військова техніка: наук. техн. ж. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України. – 2015. – № 4(8). – С. 22-27.

Надійшла до редколегії 4.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.В. Кувшинов, Військо-вий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

МЕТОДИКА ВИБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ ВОЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ В УСЛОВИЯХ АКТИВНОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

А.В. Шишацкий, И.В. Борисов, О.Н. Макаrchuk, Р.Н. Животовский

В статье предложена методика выбора рациональных значений параметров средств военной радиосвязи с кодовым разделением каналов в условиях активного радиоэлектронного противодействия, основанная на выборе рациональных значений параметров средств радиосвязи в зависимости от сигнально-помеховой обстановки.

Ключевые слова: сигнально-помеховая обстановка, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление, умышленные помехи.

METHOD OF CHOOSING RATIONAL VALUES PARAMETERS OF MILITARY RADIO COMMUNICATION WITH CODE DIVISION OF CHANNELS IN CONDITIONS OF ACTIVE ELECTRONIC COUNTERMEASURES

A. Shishatskiy, I. Borisov, O. Makarchuk, R. Zhyvotovskiy

In the article offered method of choosing rational values parameters of military radio communication with code division of channels in conditions of active electronic countermeasures, based on choosing of rational values parameters of the radio communication depending of the signal- interference situation.

Keywords: signal-interference conditions, speed of information transmission, probability of bit error, jamming, intentional interference.