

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

В статті представлені результати аналізу існуючих методів забезпечення завадозахищеності засобів радіозв'язку на основі сигналів з квадратурно-амплітудною модуляцією та турбо кодів.

Ключові слова: методи завадозахищеності, завади, квадратурно-амплітудна модуляція, турбо коди.

Постійне вдосконалення засобів радіорозвідки і радіозавад, впровадження автоматизованих комплексів радіоелектронного подавлення (РЕП) призвело за останні роки до істотного підвищення можливостей супротивника по радіоподавленню систем і засобів радіозв'язку [1-6]. Враховуючи це, досить складним є завдання забезпечення стійкого радіозв'язку в умовах РЕП. Успішне його вирішення неможливо без застосування спеціальних технічних і організаційних мір захисту від радіорозвідки і радіоподавлення.

У теперішній час питання завадозахищеності засобів радіозв'язку (у тому числі й радіозасобів із стрибкоподібною зміною частоти (СЗЧ)) досить глибоко й широко досліджені в наукових працях вітчизняних і закордонних авторів. В останні роки ведеться інтенсивна розробка методів забезпечення завадозахищеності каналів передачі цифрових засобів радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад [7-10].

Тому, метою роботи є аналіз існуючих методів забезпечення завадозахищеності засобів радіозв'язку

Відомо, що в умовах радіоелектронного подавлення значення ймовірності бітової помилки засобів радіозв'язку не повинно бути меншим ніж 10⁻³. При цьому завдання підвищення швидкості передачі інформації також є першорядним.

Завдання постановника завад – створити на вході приймача в засобах радіозв'язку (ЗРЗ) неприпустимо низьке для її нормального функціонування відношення потужності сигналу до спектральної щільності завади+шуму (ВСЗШ), у результаті чого постановник завад випромінює в напрямку ЗРЗ найбільш ефективний з його погляду тип завади. Потрапляючи в смугу пропускання приймача в ЗРЗ, завада змішується з корисним сигналом і маскує його, затруднюючи його розпізнавання приймачем. Для боротьби з навмисними завадами в засобах радіозв'язку використовуються різні методи забезпечення завадозахищеності, які наведені в табл. 1.

Селективні методи розраховані на використання оптимального приймання в умовах конкретного типу завад. Як критерій використовується максимум розходження сигналу та завади за частотними, часовими та просторовими характеристиками.

При реалізації **методів адаптивної просторової фільтрації**, як фізичне середовище використовується багатоелементна адаптивна антенна решітка. Як критерій при поділі сигналів і завад використовується розходження в напрямку приходу сигналів і завад. Розходження посилення адаптивною антенною решіткою в різних напрямках дозволяє збільшити ВСЗШ на прийомі. Адаптивність полягає в здатності адаптивної антенної решітки в результаті роботи спеціальних алгоритмів визначити азимут на заваду й змінювати свою діаграму спрямованості таким чином, щоб максимально послабити її вплив.

Основна перевага цих методів полягає в використанні просторового ресурсу та незалежності від типу завад і можливість їхнього застосування в засобах радіозв'язку.

Крім оптимального приймання ефективним засобом забезпечення завадозахищеності в цифрових засобах радіозв'язку є завадостійке кодування, яке застосовується разом з перемежінням символів у переданому сигналі.

Слід зазначити, що перспективним напрямком забезпечення завадозахищеності є структурна адаптація й параметрична (кодова) адаптація [11].

Адаптивні способи зміни параметрів сигналів і коригувальних кодів показано на рис. 1.

Методи забезпечення заводо захищеності	Математичний апарат	Переваги методу	Недоліки методу
Узгодження процесів модуляції і турбокодування в РЕЗ	Теорія сигнально-кодових конструкцій	1. Узгодження процесів модуляції і кодування. 2. Підвищення пропускної здатності каналу	Складність реалізації кодека
Застосування каналів зі зворотним зв'язком	Теорія графів, теорія зворотних зв'язків	1. Висока достовірність. 2. Простота реалізації кодування. 3. Висока швидкість передачі	1. Низька заводо захищеність 2. Необхідність забезпечення стійкості алгоритму
Застосування коригувальних кодів	Теорія заводостійкого кодування	Висока достовірність	Складність реалізації кодека
Застосування мажоритарних методів захисту (рознесений прийом)	Теорія потенційної заводостійкості	Висока достовірність	1. Складність реалізації 2. Низька швидкість передачі.
Використання адаптації	Теорія адаптивних систем, теорія автоматичного управління	1. Висока достовірність 2. Гнучкість системи 3. Широкий діапазон характеристик каналів	1. Складність реалізації пристрою оцінки стану каналу передачі 2. Необхідність забезпечення стійкості алгоритму адаптації

Максимальні значення швидкості передачі інформації при заданій достовірності можна одержати шляхом використання заводостійкого кодування в поєднанні зі спектрально-ефективною модуляцією, а також технологіями розширення спектра. При використанні сигнально-кодових конструкцій (СКК) забезпечується вираш по енергетичній і частотній ефективності для каналів із флуктуаційним шумом і завмираннями [12,13].

В існуючих системах мобільного радіозв'язку комерційного використання застосовуються багатопозиційні сигнали, такі як багатопозиційна фазова маніпуляція (ФМ-М), квадратурна амплітудна маніпуляція (КАМ-М) (М – розмірність ансамблю сигналів) тощо, згорточні коди, коди Ріда-Соломона, а з недавнього часу – турбо коди. [9].

Відомо декілька підходів до забезпечення заводо захищеності систем з турбо кодами.

Підходи полягають в оптимізації перемешувача в структурі турбо коду. У цьому випадку енергетичний вираш відбувається при відношенні сигнал-завада в області “порога помилок” турбо коду.

Інший підхід полягає в застосуванні додаткових біт по завершенню кодування блоку даних з метою примусового переведення решітчастої діаграми рекурсивного систематичного згорточного коду (РСЗК) на основі турбо коду у початковий стан. При цьому забезпечується енергетичний вираш в 0,1-0,3 дБ.

Проведемо порівняльний аналіз різних методів заводостійкого кодування.

На рис. 2 представлена діаграма залежностей коефіцієнта використання потужності сигналу від коефіцієнта використання смуги частот для різних видів заводостійкого коду.

Як видно з рис. 2 турбо коди являються найбільш ефективними з розглянутих кодів. При однаковій частотній ефективності β_f та у деяких випадках значно меншій складності декодування додатковий енергетичний вираш кодування в системах із турбо кодами становить більше 2 дБ.



Рис. 1. Аналіз адаптивних методів зміни параметрів сигналів та коригувальних кодів на передачі та прийомі в ЗРЗ

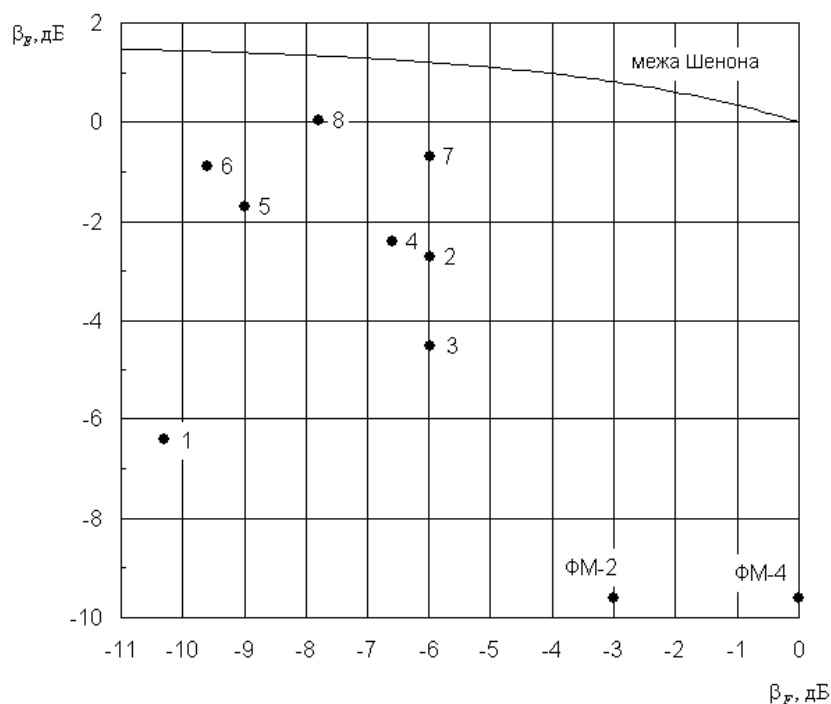


Рис. 2. Діаграма ефективності деяких систем передачі з кодуванням:

- 1 – Блочний код Ріда-Малера (32, 6).
- 2 – Згортковий код з $K = 31$ та $R = 1/2$, послідовне декодування.
- 3 – Згортковий код (133, 171), $R = 1/2$, декодування по алгоритму Вітербі.
- 4 – Каскадний код: згортковий код (133, 171) + код Ріда-Соломона (255, 223).
- 5 – Згортковий код з $K = 14$ та $R = 1/4$ – “*BVD*” (*Big Viterbi Decoder* – великий декодер Вітербі).
- 6 – Послідовний каскадний код: “*BVD*” + код Ріда-Соломона (255, 223).
- 7 – Турбо код з $R = 1/2$ та довжиною перемежувача 65536 символів, запропонований в оригінальній роботі К. Берроу. Ітеративне декодування з використанням алгоритму *Map*, 18 ітерацій, компонентні згорткові коди (1, 21/37).
- 8 – Турбо код з $R = 1/3$ та довжиною перемежувача 50000 символів. Ітеративне декодування з використанням алгоритму *Log-Map*, 18 ітерацій, компонентні.

При турбо кодуванні використовуються наступні *положення теорії кодування*.

1. Довгі коди із шумоподібною структурою забезпечують гранично досягну пропускну спроможність каналу.

2. Ефективне застосування алгоритмів ймовірнісного декодування з використанням апріорних ймовірностей декодованих символів на вході декодера та формуванням рішень про кожний декодований символ з оцінкою ступеня надійності цього рішення (декодування з "м'яким виходом").

3. Каскадна структура коду дозволяє істотно спростити процедуру кодування та декодування.

4. Конструктивний шлях побудови декодера довгого коду – ітеративне декодування (багаторазове використання одного декодера). Принципова відмінність турбо кодів від відомих каскадних кодів полягає в застосуванні складових РСЗК разом із процедурою перемежіння, що дозволяє забезпечити малу кількість кодових слів мінімальної відстані шляхом вибору структури перемежувача.

Турбо коди можуть забезпечити високу ефективність кодування при низькому відношенні сигнал-шум. При високому енергетичному відношенні сигнал-шум ефективність кодування зменшується, що пов'язано з малою мінімальною відстанню турбо кодів при високих відношеннях сигнал-шум.

Відомо, що ускладнення структури кодеру істотно підвищує скритність каналів зв'язку. Для несанкціонованого доступу до інформації, яка передається ЗРЗ із СЗЧ і СКК на основі турбо кодів, необхідно знати кількість та структуру компонентних кодів, параметри перемежувача, наявність і параметри перфорації, закон зміни СЗЧ. Складність зазначених завдань обумовлена різноманіттям варіантів побудови кодерів турбо коду, можливостями динамічної зміни параметрів і структури кодера залежно від заводової обстановки в каналі зв'язку. Тому можна зробити висновок, що складність структури побудови кодера турбо коду, наявність псевдовипадкових перемежувачів, складність побудови декодерів, принцип псевдовипадковості зміни частоти та робота засобів радіозв'язку при низьких відношеннях сигнал-завада підвищують структурну скритність каналів зв'язку. На рис. 3 показаний графік залежності ймовірності бітової помилки P_B від відношення сигнал-шум у каналі h_0^2 для СКК на основі турбо кодів, СКК на основі згорткових кодів і модуляції ФМ-4 без кодування [9].

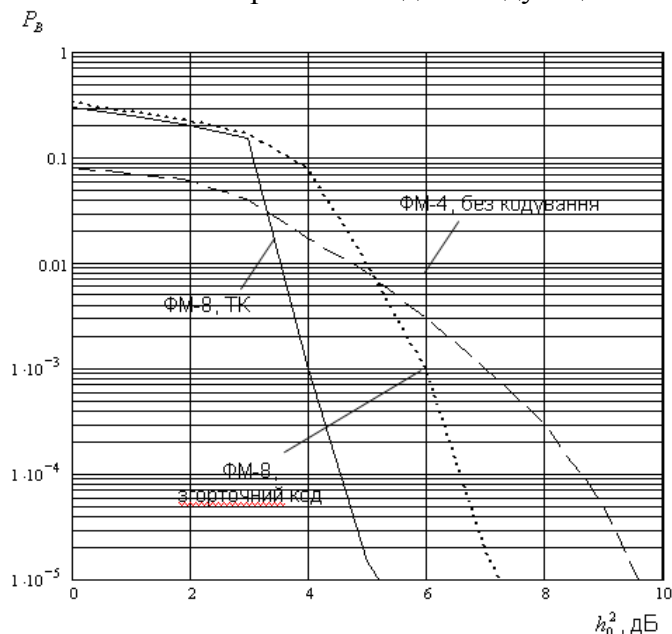


Рис. 3. Графік залежності ймовірності бітової помилки P_B від відношення сигнал-шуму в каналі h_0^2 для СКК на основі турбо кодів, СКК на основі згорткових кодів і модуляції ФМ-4 без кодування

Проведений аналіз показує, що одним з перспективних напрямків забезпечення завадозахищеності засобів радіозв'язку із СЗЧ є застосування СКК на основі сигналів з фазовою маніпуляцією та турбо кодів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кондратьев. А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 22–28.
2. Азов. В. О реализации в США концепции ведения военных действий в едином информационном пространстве // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – № 6. – С. 10-17.
3. Стрелецкий. А. Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны „Вулфпак” // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 10. – С. 27-28.
4. Рудик В. В. Актуальні проблеми та напрями розвитку систем зв'язку Збройних Сил України як складової частини управління військами (силами) // Наука і оборона. – 2005. – № 2. – С. 22–28.
5. Романюк В. А. Направления развития тактических сетей связи // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63–65.
6. Минович А. И., Романюк В. А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53–58.
7. Борисов В. И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
8. Зайцев С. В. Анализ пропускной способности дискретно-непрерывного канала связи для программируемых радиостанций с цифровыми методами модуляции сигнала при воздействии организованных помех / С. В. Зайцев // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. – 2006. – № 2(13). – С. 27-32.
9. Зайцев С. В. Методика выбора параметров турбокода для перспективных программируемых радиосредств со скачкообразным изменением частоты, функционирующих в условиях радиоэлектронного подавления / С. В. Зайцев // Зв'язок. – 2008. – № 5-6. – С. 47-52.
10. Зайцев С. В. Расчет сложности реализации кодемов программируемой радиостанции со скачкообразным изменением частоты на цифровых сигнальных процессорах / С. В. Зайцев // Зв'язок. – 2009. – № 1. – С. 73-80.
11. Вишневикий В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
12. Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Распаев Ю. А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Око-Грендз, 2005. – 384 с.
13. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие. – М: Эко-Грендз, 2005. – 392 с.

Надійшла: 20.09.2011

Рецензент: д.т.н., проф. Щербак Л.М.