

УДК 621.391.828

С.О. Клімович

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ДУТ, Київ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СПОТВОРЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ В УМОВАХ НАВМИСНИХ ЗАВАД

В роботі розглядається процес передачі широкосмугових сигналів (ШСС) в системах радіозв'язку з кодовим розділенням сигналів з навмисними завадами. Проведена оцінка завадостійкості приймання сигналів при впливі шумових, вузькосмугових та імпульсних завад.

Ключові слова: засоби радіозв'язку, навмисні завади, завадостійкість.

Вступ

В сучасних системах радіозв'язку (СРЗ) широке застосування знаходить метод багатостанційного доступу з кодовим розділенням сигналів (CDMA – Code-Division Multiple Access). В таких системах передача інформації різними абонентами здійснюється широкосмуговими сигналами, які перекриваються за спектром і в часі, але розрізняються за формою [1 – 6].

Ефективність СРЗ CDMA обмежена рядом факторів, основними з яких є вплив природних та навмисних завад, нестійкість і різноманіття імовірнісних розподілів завадового комплексу, нестационарність каналу, випадкові флуктуації комплексних множників каналу, завмирання радіосигналів тощо.

Проведений аналіз [7 – 14] показав, що завади які можуть бути використані для подавлення радіозасобів з ШСС, мають складний характер аналізу та розглянуто в літературі недостатньо.

Основна частина

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 (вузькосмугова) завада та імпульсна завада [7–14].

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 CDMA в умовах навмисних завад.

Тому **метою роботи** є дослідження впливу навмисних завад на завадозахищеність засобів радіозв'язку при передачі широкосмугових сигналів методом фазової маніпуляції (ФМ).

Завадозахищеність системи передачі дискретних повідомлень в умовах впливу навмисних завад можна

оцінити середню імовірність помилки на біт інформації (СІП) P_6 [8]. При впливі білого гаусівського шуму в частині смуги P_6 можна визначити, як [9]:

$$P_6 = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\sqrt{Q_0^2} \right) \right], \quad (1)$$

де $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{(-t^2/2)} dt$ – функція Крампа [8];

Q_0^2 – відношення сигнал/завада.

СІП при впливі загороджувальної та гармонічної завади визначається виразом:

$$P_6 = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{1}{\sqrt{2 \left(\frac{G_0}{E_c} + \frac{\eta P_3}{K_c P_c} \right)}} \right) \right], \quad (2)$$

де G_0 – спектральна щільність потужності шуму; E_c – енергія сигналу на біт; η – параметр завади, який залежить від частотного розстроювання; K_c – коефіцієнт розширення спектру сигналу; P_6 – потужність джерела завади; P_c – потужність джерела сигналу.

Таким чином, для оцінки завадостійкості СРЗ з двійковими ФМ широкосмуговими сигналами є необхідність в знанні залежності параметру завади від розстроювання по частоті між сигналом та завадою й відношення ширини смуги завади до ширини смуги частот сигналу Δf_c (рис. 1). На рис. 1 введені наступні позначення: f_0 – несуча частота сигналу; f_3 – несуча частота завади; Δf_c – ширина спектру сигналу.

Параметр завади (η) при впливі загороджувальної завади визначається виразом [13]:

$$\eta \approx \frac{1}{W_1} \int_{f_1 - W_1/2}^{f_1 + W_1/2} \text{sinc}^2 \left| (f_0 - f) \tau_1 \right| df \quad (3)$$

На рис. 2 зображено залежності параметра η для загороджувальної завади і завади в частині смуги, як функції нормованого частотного розладу $\Delta = |f_1 - f_0| \tau_1$ для різних значень $K_f = \Delta f_3 / \Delta f_c$.

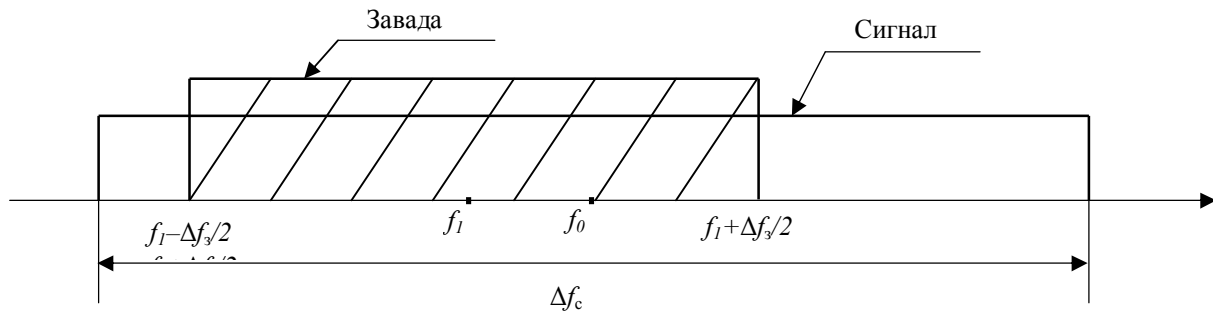


Рис. 1. Частотне розстроювання та співвідношення ширини смуги завади й сигналу у випадку завади в частині смуги

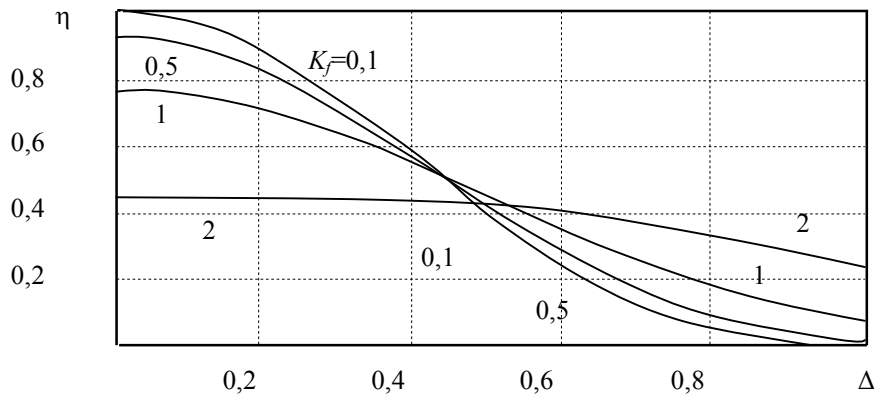


Рис. 2. Залежність параметру завади від нормованого частотного розлаштування для шумової завади

З рис. 2 видно, що у випадку дії загороджувальної завади ($K_f = 2$) максимальне значення параметра η досягається за відсутності розстроювання $f_i - f_0 = 0$ та дорівнює $\eta_{\max} = 0,45$. Із графіків також випливає, що шумова завада в частині смуги ($K_f < 2$) ефективніше загороджувальної завади при частотному розлаштуванні $0 \leq \Delta \leq 0,5$. При збільшенні значення частотного розстроювання $\Delta > 0,5$ ефективність загороджувальної завади практично мінімально змінюється в значному діапазоні $\Delta = 0, \dots, 0,8$, в той час, як ефективність шумової завади в частині смуги зменшується в силу зменшення перекриття завадою діапазону частот сигналу.

Для гармонійної завади параметр завади η розраховується за формулою (3).

$$\eta = \text{sinc}^2 \left[(f_i - f_0) \tau_i \right]. \quad (4)$$

Штриховою лінією на рис. 3 зображена залежність параметра η для гармонічної завади.

Графік залежності параметру η показує, що при зменшенні відношення K_f , що при постійній ширині спектру сигналу $\tau_i = \text{const}$ еквівалентно зуженню ширини спектра завади, ефективність впливу завади в частині смуги на СРЗ з ФМШСС наближається до ефективності гармонійної завади при $0 \leq \Delta \leq 0,5$.

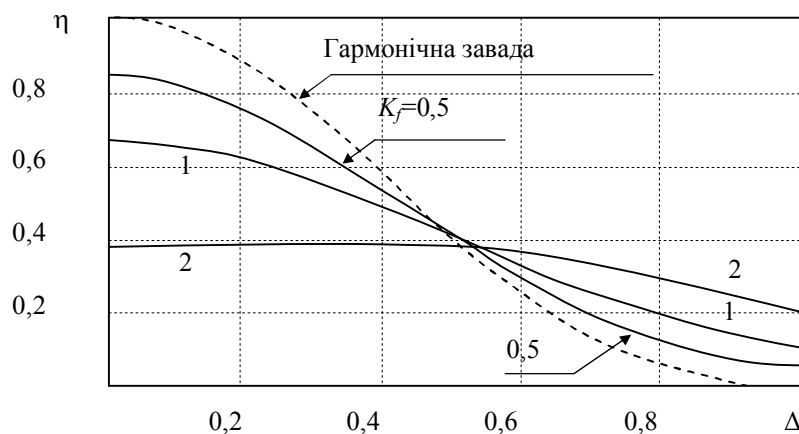


Рис. 3. Залежність параметрів завади від нормованого частотного розлагодження

Аналіз графіків, для гармонічної завади, зображених на рис. 2 та 3, показує, що залежність параметра завади для шумової завади в частині смуги і гармонічної завади має однакові характерні тенденції, що пояснюється однією і тією ж фізичною суттю впливу цих завад на СРЗ з ФМШСС. Однак значення параметра η в межах $0 \leq \Delta \leq 0,5$ приблизно на 10 % більше значення параметру для гармонічної завади. Це пояснюється тим, що при обраній моделі шумових завад в частині смуги її енергія витрачається більш раціонально, ніж при загороджувальній заваді.

Відповідно до формули (2) на рис. 4, а – в зображено залежність СІП на біт P_6 , як функції відношення сигнал - завада P_c/P_3 для різних значень відношення сигнал- шум E_c/G_0 й коефіцієнті розширення спектра K_c при впливі на СРЗ з двійковими ФМШСС гармонійною ($\eta = 1$), псевдошумової ($\eta = 0,66$) та загороджувальній ($\eta = 0,45$) завади.

З графіків наведених на рис. 4, а-в, видно, що відмінності в ефективності розглянутих видів завад найбільш помітно починають проявлятися по мірі збільшення відношення сигнал - шум ($E_c/G_0 > 9,0$ дБ) незалежно від значення коефіцієнта розширення спектра K_c . Як і слід було очікувати, істотний вигравш в завадостійкості СРЗ з ФМШСС, незалежно від виду організованих завад, має місце при збільшенні коефіцієнта розширення спектра K_c (рис. 4, в).

На рис. 4, г наведено графіки залежності СІП на біт P_6 (2), як функції відношення сигнал-завада P_c/P_3 – для випадку знехтування власними шумами приймача $E_c/G_0 \rightarrow \infty$ при впливі гармонійної ($\eta = 1$) та загороджувальній ($\eta = 0,45$) завад, $K_c = 1024$. З графіків P_6 (рис. 4, г) явно видно залежність завадостійкості від рівня власних шумів приймача.

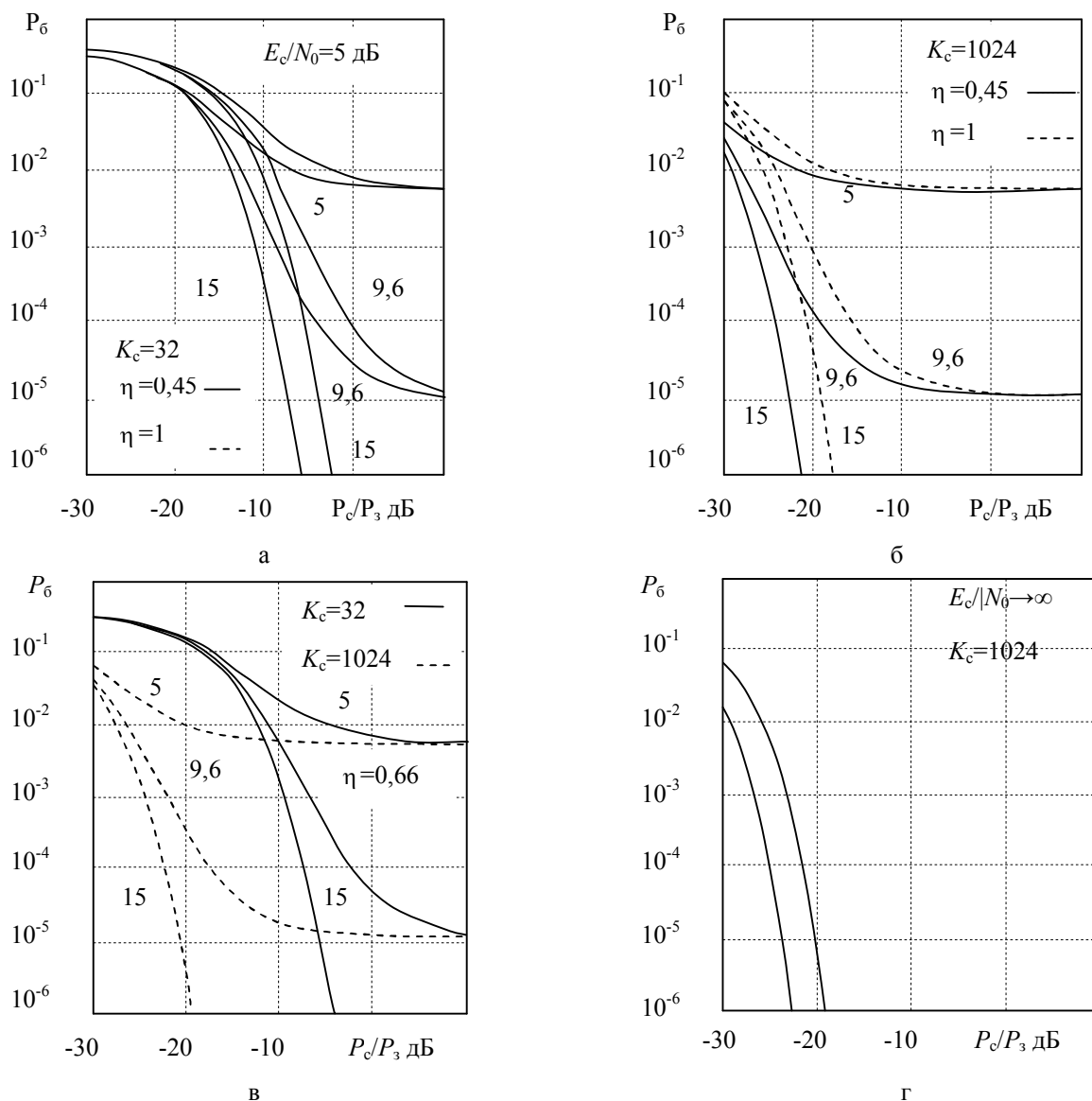


Рис. 4. Середня імовірність помилки на біт від відношення сигнал-завада

Знання і облік часової структури ФМШСС дозволяють більш ефективно використовувати потужність передавача завад, формуючи імпульсні (переривчасті) завади. Імпульсна завада на частотній осі являє собою реалізацію широкосмугового гаусівського шуму, спектральна щільність потужності якої перекриває або всю, або частину смуги частот, займаної СРЗ. На часовій осі імпульсна завада перекриває деяке число символів.

В разі присутності такої завади на вході приймача спектральна щільність потужності сукупної завади дорівнює сумі спектральної щільності потужності завади G_3 і власного шуму приймача G_0 при відсутності завади – спектральної щільності потужності тільки власного шуму приймача G_0 . СІП на біт для імпульсної завади може бути визначена з виразу:

$$P_6 = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{1}{\sqrt{2 \left(\frac{G_0}{E_c} + \frac{P_3}{2\rho K_c P_c} \right)}} \right) \right], \quad (5)$$

де ρ – шпаруватість імпульсної завади;

$$\rho = P_3 / (G_3 \Delta f_3), \quad 0 \leq \rho \leq 1,$$

де G_3 – спектральна щільність потужності завади.

На рис. 5 відповідно до виразу (5) зображені графіки залежності СІП на біт P_6 , як функції відношення сигнал-завада P_c/P_3 при відношенні сигнал-шум $E_c/G_0 = 15$ дБ, для різних значень ρ і K_c .

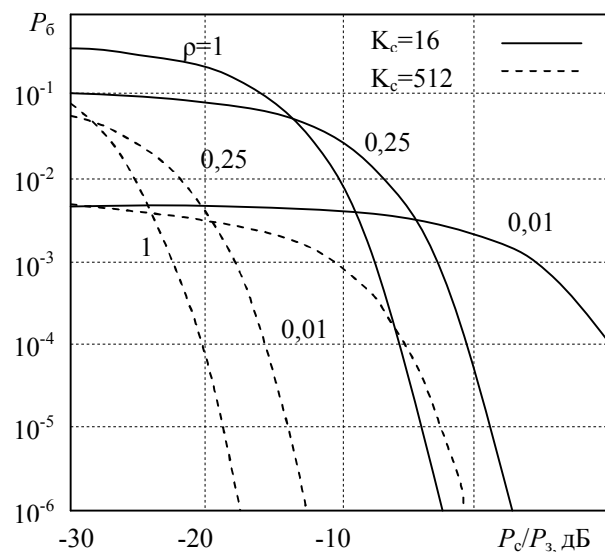


Рис. 5. Середня імовірність помилки на біт від відношення сигнал-завада

З рис. 5 видно, що по мірі зменшення ρ вплив переривчастої шумової завади на СРЗ з ФМШСС стає більш ефективним (середня потужність завади збільшується). Ефективність завади помітно знижується при збільшенні коефіцієнта розширення спектра сигналу P_6 . При фіксованій середній потужності завади P_3 можливо знайти таке значення ρ , при якому СІП на біт P_6 буде максимальною, що відповідає найгіршій імпульсній заваді.

Висновки

Таким чином запропонована математичну модель визначає залежність спотворень широкосмугових сигналів від параметру завади для загороджувальної завади, шумової завади, гармонічної завади; шпаруватості для імпульсної завади; коефіцієнту розширення спектра сигналу та енергетичних параметрів сигналу й завади. Модель дозволяє розрахувати вплив вказаних завад на завадозахищеність прийому широкосмугових сигналів.

Напрямок подальших досліджень є розробка методів проектування мережі радіозв'язку з кодовим розподілом каналів при впливі навмисних завад.

Список літератури

1. Системи мобільної зв'язку з кодовим розподілом каналів / В.Ю. Бабков, А.Н. Никитин, К.Н. Осенний, М.А. Сиверс. – СПб. : Трида, 2003. – 239 с.
2. Бабков В.Ю. Сети мобільної зв'язку. Частотно-территориальное планирование / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 224 с.
3. Берлин А.Н. Уфровые сотовые системы связи / А.Н. Берлин. – М. : Эко-Трендз, 2007. – 296 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 и др. – М. : Техносфера, 2007 – 464 с.
7. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. 2-е издание / А.И. Лалин. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
8. Кувшинов О.В. Оцінка ефективності сигнально-кодових конструкцій з багатопозиційною частотною маніпуляцією / О.В. Кувшинов // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2002. – Вип. 4. – С. 138-144.
9. Завадостійкість каналів зв'язку : Навчальний посібник / В.Д. Бабич, О.В. Кувшинов, О.П. Лежнюк, С.П. Лівенцев. – К.: КВІУЗ, 2001. – 150 с.
10. Бабич В.Д. Аналіз найбільш ймовірних стратегій постановки ретрансльованої завади вслід цифровим тропосферним радіолініям з ППРЧ / В.Д. Бабич, О.В. Кувшинов, С.П. Лівенцев // Збірник наукових праць КВІУЗ. – К. : КВІУЗ, 2000. – Вип. 5. – С. 53-59.
11. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
12. Оценка воздействия ответных помех на системы радиосвязи с медленной ППРЧ / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, Н.П. Мухин и др. // Теория и техника радиосвязи. – 1994. – Вып. 1. – С. 3-19.
13. Помехозащищенность систем радиосвязи / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, В.И. Шестопалов. – М. : Радио и связь, 2011. – 550 с.
14. Итоги науки и техники. Т. 5 / П.В. Несеров, С.В. Эмельянов, А.К. Айламазян, З.Б. Голембо. – М. : ВИНТИ, 1990. – 232 с.

Надійшла до редколегії 21.05.2014

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

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСКАЖЕНИЙ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ
В УСЛОВИЯХ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ**

С.О. Климович

В работе рассматривается процесс передачи широкополосных сигналов в системах радиосвязи с кодовым разделением сигналов с преднамеренными помехами. Проведена оценка помехоустойчивости приема сигналов при влиянии шумовых, узкополосных и импульсных помех.

Ключевые слова: *средства радиосвязи, преднамеренные помехи, помехоустойчивость.*

MATHEMATICAL MODEL OF DISTORTION BROADBAND SIGNALS UNDER JAMMING

S.O. Klimovich

In this paper the process of transmitting broadband signals in wireless communication systems, code division multiplexing with jamming. Appraisal noise stability held under the influence of noise, narrowband and impulse noise.

Keywords: *radio communications, intentional noise, noise stability.*