

МЕТОДИКА ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ В ЗАСОБАХ РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ВПЛИВІ НАВМИСНИХ ЗАВАД

При створенні високошвидкісних каналів зв'язку для інтегрованих інформаційно-телекомунікаційних мереж важливе місце відіграють системи радіорелейного зв'язку (СРРЗ). Одним із ключових напрямів при побудові засобів радіорелейного зв'язку є можливість їх інтеграції в єдине інформаційне середовище на базі новітніх технологій. У відповідності до рекомендацій міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) МСЕ-Т Y.100 протоколу Internet protocol (IP) відведена ключову роль при об'єднанні мереж, що використовують різні технології. Використання протоколу IP дозволяє забезпечити надання мультимедійних послуг в мережах із комутацією

пакетів, таких як, технологія передачі голосу – Voice over IP – VoIP (рекомендації МСЕ-Т H.323), відеозв'язку, а також багато інших IP технологій. При цьому весь IP-трафік можна зашифрувати, застосувавши технології на базі VPN (Virtual Privet Network). Всі вище наведені факти говорять на користь використання технологій пакетної передачі в якості єдиного транспортного середовища для передачі інформації.

Проте, в умовах сучасного розвитку СРРЗ, також необхідно враховувати дестабілізуючий вплив завад природного і навмисного характеру. В одних випадках завади додаються з сигналом, в інших – завади впливають на сигнал складнішим чином. Дія завади на сигнал зазвичай призводить до спотворення сигналів і викликає втрату частини інформації.

Методи формування і обробки сигналів в СРРЗ є об'єктом інтенсивних теоретичних досліджень протягом останніх років. Про те, більшість отриманих результатів [1, 2, 3] не враховують можливості сучасних систем радіорелейного зв'язку із пакетної передачі інформації при дії навмисних завад. Це потребує розробки окремих методик, що враховують вплив навмисних завад, і методів, що дозволять підвищити пропускну спроможність системи.

Сутність запропонованої методики полягає в адаптивному виборі параметрів сигналу в залежності від стану радіорелейного каналу зв'язку, оптимальних за критерієм максимуму пропускну спроможності при обмеженнях на інформаційну ефективність каналу зв'язку.

Постановка завдання.

Задано: параметри передавального пристрою і каналу зв'язку, множину сигналів $S = \{s_i(t)\}_{i=M}$, де M – розмірність сигнального сузір'я, що змінюється в залежності від модуляції: QPSK, QAM-16, 64; множину коригувальних кодів $R = \{r_i\}_{i=48}$, де r_i – швидкість коригувального коду ($R = k/n$), k – кількість інформаційних біт в кодовій комбінації довжиною n , d – величина кодової відстані; маршрутизатор, що перетворює синхронний потік сигналів $s_i(t)$ в кадри довжиною L ; навмисні завади, що вводять обмеження на ефективність використання сигналів $s_i(t)$ із множини S .

Необхідно: визначити параметри сигналу (розмірність сигнального сузір'я, коригувальний код, довжина кадру), при яких максимізується пропускну спроможність радіорелейного каналу зв'язку при виконанні обмежень на значення ймовірності спотворення кадру $P_K(\geq 1, L) \leq P_{K \text{ доп}}(\geq 1, L)$.

Обмеження: довжина кадру обмежена стандартом IEEE 802.3 і має значення $512 \leq L \leq 12144$ біт; допустиме значення спотворення кадрів у відповідності до рекомендації МСЕ Y-1541 не повинна перевищувати 10^{-4} ; $P_{\text{прд}} = \text{const}$ зміна потужності в радіорелейному каналі зв'язку не можлива, у зв'язку із порушенням електромагнітної сумісності.

Допущення: характеристики радіорелейного каналу зв'язку не змінюються і відомі на протязі передачі чергового N_K кадру; нелінійні спотворення в передавальному тракті відсутні, або їх вплив не приводить до недопустимої втрати кадрів.

Завдання визначення параметрів сигнально-кодової конструкції і довжини кадру, що оптимізують пропускну спроможність засобів радіорелейного зв'язку зводяться до типової оптимізаційної задачі. Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі має вигляд

$$\begin{cases} C = F_1(V_S, H_{eff}, M, R, L) \rightarrow \max; \\ P_K(\geq 1, L) = F_2(P_{6 \text{ КОД}}, L) \leq P_{K \text{ ДОП}}(\geq 1, L). \end{cases} \quad (1)$$

де C – пропускна спроможність каналу зв'язку; V_S – швидкість передачі символів; $H_{eff} = F_3(P_{6 \text{ КОД}}, L)$ – інформаційна ефективність радіорелейного каналу зв'язку із прийому кадрів; $P_{6 \text{ КОД}} = F_4(P_6, R, n, d)$ – ймовірність помилки із врахуванням характеристик завадостійкого коду; $P_K(\geq 1, L)$ – ймовірність спотворення кадру; $P_6 = F_5(q_1^2, M)$ – ймовірність бітової помилки; $q_1^2 = E_S / (G_0 + G_3)$ – відношення сигнал-завада; $E_S = P_{\text{ПРМ}} T_S$; $P_{\text{ПРМ}}$ – потужність сигналу; T_S – тривалість сигналу; G_0 і G_3 – спектральна щільність шуму і і завади на вході приймача.

Розкриємо функціонали системи рівняння (1). Інформаційна ефективність визначається як

$$H_{eff} = 1 + (1 - P_{6 \text{ КОД}})^L \log_2(1 - P_{6 \text{ КОД}})^L + (1 - (1 - P_{6 \text{ КОД}})^L) \log_2(1 - (1 - P_{6 \text{ КОД}})^L), \quad (2)$$

Ймовірність помилки в формулі (2) при застосуванні коригувального коду визначається виразом [4]

$$P_{6 \text{ КОД}} \approx \frac{1}{n} \sum_{j=s_{\text{випр}}+1}^n C_n^j P_6^j (1 - P_6)^{n-j}, \quad (3)$$

де $s_{\text{випр}} = (d - 1) / 2$ – кратність помилок, яку код виправляє, j – кратність помилки у блоці з n елементів, $P_{6 \text{ КОД}}$ – ймовірність виникнення помилок в послідовності переданих двійкових символів, $C_n^j = n! / j!(n - j)!$ – біноміальний коефіцієнт, який дорівнює кількості різних сполучень j помилок у блоці з n символів. Значення P_6 визначається видом модуляції сигналу [4, 5] та розраховується:

$$P_{6 \text{ PSK}} \approx \frac{1}{\log_2 M} 2Q \left[\sqrt{\frac{2E_S R}{G_0}} \sin \frac{\pi}{M} \right], \quad (4)$$

$$P_{6 \text{ QAM}} \approx \frac{1}{\log_2 M} \left(1 - \left(2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} Q \left[\sqrt{\frac{3E_S R}{(M-1)G_0}} \right] \right) \right)^2 \right), \quad (5)$$

де $E_S = E_b(\log_2 M)$ – енергія, що припадає на один символ із алфавіту сигналів; $M = 2^b$ – розмірність алфавіту сигналів;

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \text{ – гаусів інтеграл помилок.}$$

Пропускна спроможність радіорелейного каналу визначається [6]

$$C = \frac{L-D}{L} V_S H_{eff} R \log_2(M), \quad (6)$$

де D – довжина заголовка кадру IEEE-802.3 Ethernet в бітах.

З аналізу системи (1) випливає, що її обчислювальна складність в реальному масштабі часу не є прийнятною. Однак, якщо певним чином змінити порядок розв'язання задачі, бажаний результат можна отримати простіше. Спочатку на підставі допустимого значення ймовірності спотворення кадру $P_{K \text{ ДОП}}(\geq 1, L) = 10^{-4}$ знаходяться значення довжини кадру

$$L = \frac{\lg(1 - 1 \times 10^{-4})}{\lg(1 - P_{\text{б код}})}, \quad (7)$$

яке перевіряється на відповідність розрахованої довжини кадру в межах $512 \leq L \leq 12144$, що визначені технологічним стандартом Ethernet [7]. Оскільки значення $P_{\text{б код}}$ у формулі (7) змінюється в залежності від виду модуляції і коду, то зміна цих значень приведе до зміни довжини кадру L . А так, як для заданого значення сигнал-шум можна обрати тільки один вид модуляції, то використання завеликих значень сигнального сузір'я приведе до використання кодів із малою швидкістю, а це приведе до зменшення пропускної спроможності радіорелейного каналу зв'язку. Використання замалих значень сигнального сузір'я теж приведе до зниження пропускної спроможності. Таким чином, необхідно обрати такі параметри сигналу і довжини кадру, що забезпечать максимум пропускної спроможності системи радіорелейного зв'язку. Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі перетворюється до вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} C = \frac{L-D}{L} V_S H_{\text{eff}} R \log_2(M) \rightarrow \max ; \\ P_{\text{б код}} \approx \frac{1}{n} \sum_{j=s_{\text{випр}}+1}^n C_n^j P_{\text{б}}^j (1 - P_{\text{б}})^{n-j} \\ L = \frac{\lg(1 - 1 \times 10^{-4})}{\lg(1 - P_{\text{б код}})} ; \\ 512 \leq \frac{\lg(1 - 1 \times 10^{-4})}{\lg(1 - P_{\text{б код}})} \leq 12144 ; \\ H_{\text{eff}} = 1 + (1 - P_{\text{б код}})^L \log_2(1 - P_{\text{б код}})^L + \\ + (1 - (1 - P_{\text{б код}})^L) \log_2(1 - (1 - P_{\text{б код}})^L). \end{array} \right. \quad (8)$$

Розв'язання представленої задачі умовної дискретної оптимізації доцільно проводити за допомогою направленої перебору допустимих варіантів з використанням ітеративного алгоритму [8, 9].

Структурна схема методики вибору параметрів сигналу в засобах радіорелейного зв'язку при впливі навмисних завад приведена на рис. 1 і складається з наступних етапів.

1. *Введення вихідних даних.* Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $S = \{s_i(t)\}$, а також значення допустимих величин ймовірності спотворення кадру $P_{\text{к доп}} (\geq 1, L)$ та довжина кадру $512 \leq L \leq 12144$.

2. *Оцінка ймовірності спотворення кадру.* На даному етапі за допомогою методики контролю стану радіорелейного каналу зв'язку [10] визначається стан каналу зв'язку, оцінюється відношення сигнал-шум і розраховується ймовірність спотворення кадру $P_{\text{к}} (\geq 1, L)$. Перевіряється умова на відповідність ймовірності спотворення кадру допустимим значенням визначеним в рекомендації МСЕ Y-1541 [11], у разі перевищення зазначених меж приймається рішення про зміну сигнально-кодової конструкції і довжини кадру.

3. *Вибір сигнально-кової конструкції.* На даному етапі по відношенню сигнал-шум здійснюється вибір сигнального сузір'я і завадостійкого коду. Процедура вибору коду здійснюється із скінченної множини R , що задовольняють вимоги по необхідній інформаційній швидкості та для яких середнє значення відношення сигнал-шум в каналі перевищує граничне значення при якому код починає давати виграш, обчислюється ймовірність бітової помилки із врахуванням завадостійкого коду $P_{\text{б код}}$ формула (3).

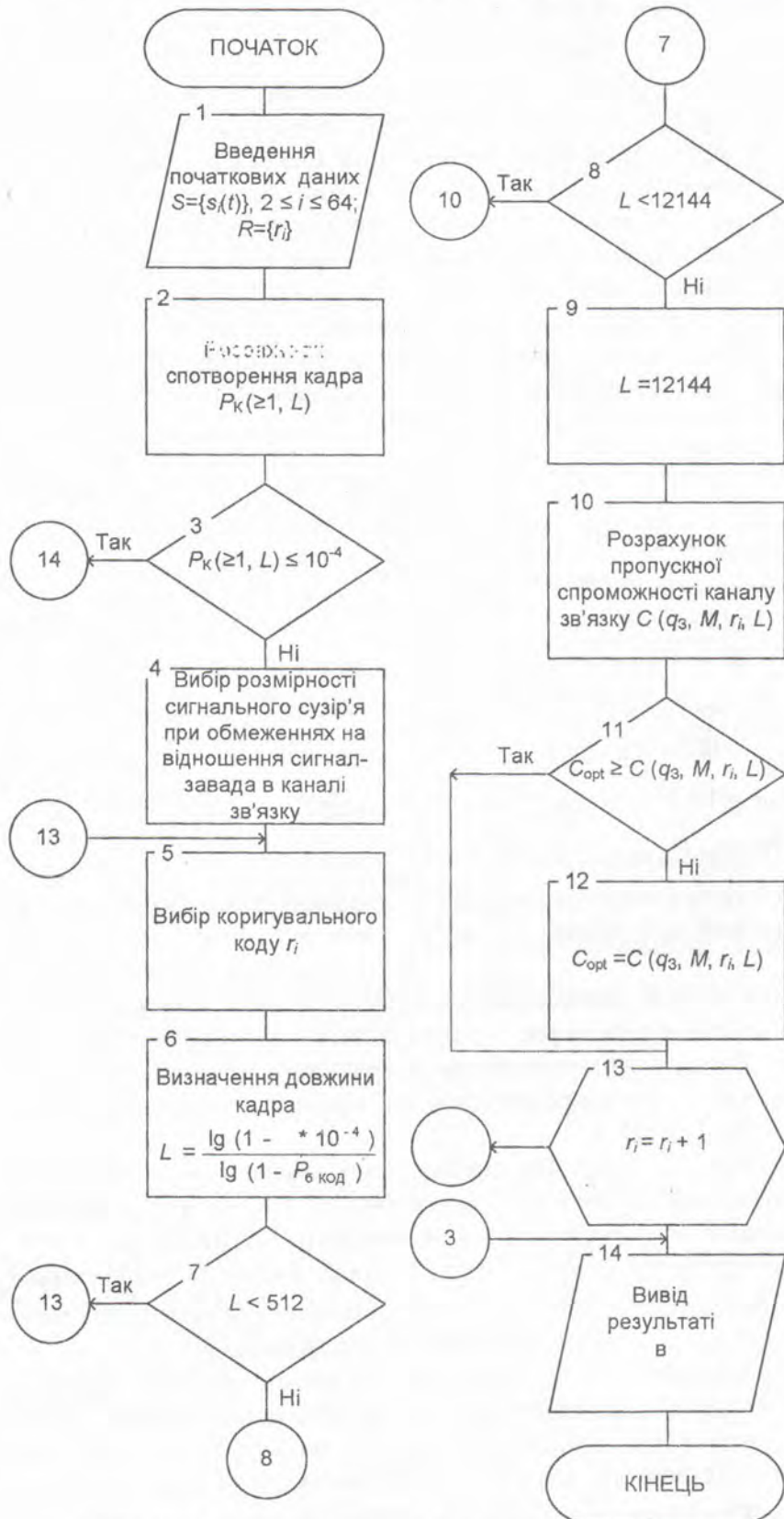


Рис. 1. Структурна-схема алгоритму реалізації методики вибору параметрів сигналу в засобах радіорелейного зв'язку при впливі навмисних завад

4. *Визначення довжини кадру.* На даному етапі на підставі значень $P_{б\text{код}}$ і допустимої ймовірності спотворення кадру проводиться розрахунок довжини кадру. Якщо

значення L менше 512 біт мінімальної довжини кадру, то значення такої сигнально-кодової конструкції не використовуються при подальшій оптимізації, в зв'язку із невідповідністю вимогам задачі. У разі перевищення порогу 12144 біт дане значення змінюється на 12144 біт. Якщо значення довжини кадру знаходиться в межах від 512 біт до 12144 біт, то значення довжини кадру не змінюється і враховується при визначенні максимального значення пропускної спроможності. Залежність допустимої довжини кадру від ймовірності бітової помилки приведена на рис. 2.

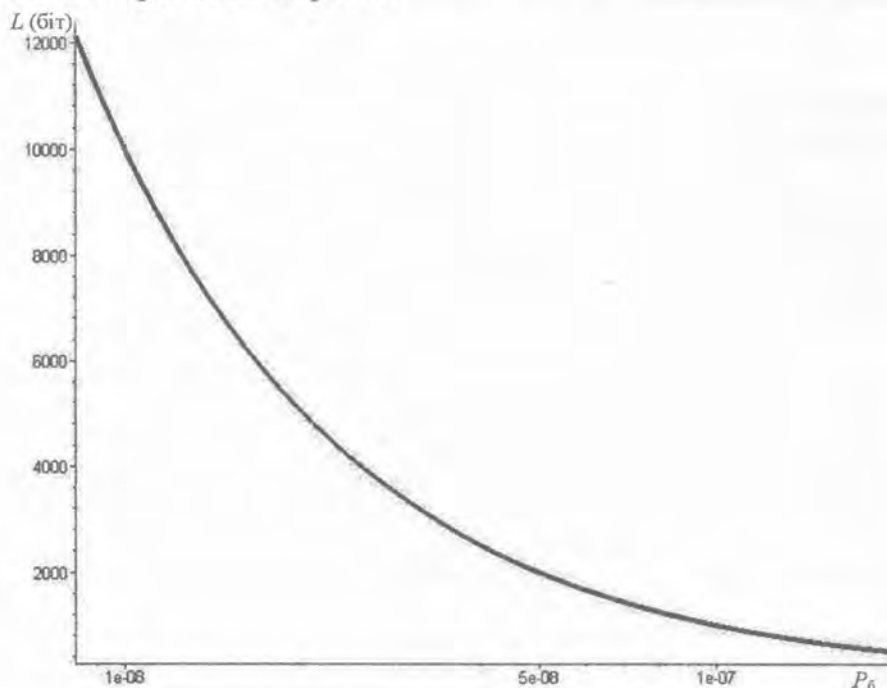


Рис. 2. Залежність допустимої довжини кадру від ймовірності бітової помилки

5. *Розрахунок пропускної спроможності.* На даному етапі проводиться розрахунок пропускної спроможності радіорелейного каналу зв'язку при передачі кадрів Ethernet за нерівністю (6).

6. *Вибір оптимальних параметрів сигналу.* Вибір параметрів сигналу, що максимізують пропускну спроможність радіорелейного каналу зв'язку представляють собою ітераційну процедуру із перебору коригувальних кодів і відповідних довжин кадру із подальшим визначення максимального значення пропускної спроможності.

На підставі отриманих результатів обираються параметри чергового кадру: M , R і L інформація про значення яких передається у складі службової інформації для зустрічної радіорелейної станції.

Очевидно, що запропонована ітераційна процедура полягає в поступовому збільшенні швидкості коду і відкидання кодів, які не можуть забезпечити допустимої ймовірності спотворення кадру при заданій довжині кадру.

Процедура вибору параметрів чергового кадру складається із перебору корегувальних кодів. У разі коли, неможливо вибрати для мінімального сигнального сузір'я завадостійкого коду, що при мінімальній довжині кадру забезпечить допустиму ймовірність спотворення кадру, то необхідно відмовитися від використання такого каналу зв'язку.

З метою оцінки ефективності розробленої методики було проведено чисельне моделювання роботи СРРЗ при різних видах модуляції, довжині кадру і відношенні сигнал-шум в радіорелейній лінії зв'язку.

Для цього модель СРРЗ була реалізована в середовищі програмування Maple [12]. Модель імітувала проходження кадру Ethernet різної довжини через радіорелейний канал із

адитивним білим гаусовським шумом, шумовою загороджувальною завадою та імпульсно-шумовою завадою в частині спектра при різних відношення сигнал-шум+завада (ВСПШ+З). В залежності від ВСПШ+З в каналі обирається сигнально-кодова конструкція і довжина кадру (вираз 8). За оптимальним значенням розраховувалась пропускна спроможність системи і порівнювалась із системою без адаптивного вибору довжини кадру, що зазвичай використовується в радіорелейних каналах зв'язку і дорівнює 12144 біта. Ефективність системи радіорелейного зв'язку обчислюється за формулою

$$\Delta C = \frac{C_B - C}{C} 100\% . \quad (9)$$

де C_B – пропускна спроможність каналу зв'язку, що отримана в результаті застосування методики; C – пропускна спроможність каналу зв'язку розрахована при застосуванні адаптивному виборі сигнально-кодового сузір'я та довжині кадру 12144 біт.

На рис. 3. наведений графік залежності пропускної спроможності каналу зв'язку від відношення сигнал-завада для різних видів модуляції, що порівнюються із пропускною спроможністю за Шеноном [4]

$$\frac{C}{F_S} = \log_2 \left[1 + \frac{E_S}{G_0} \left(\frac{C}{F_S} \right) \right] . \quad (10)$$

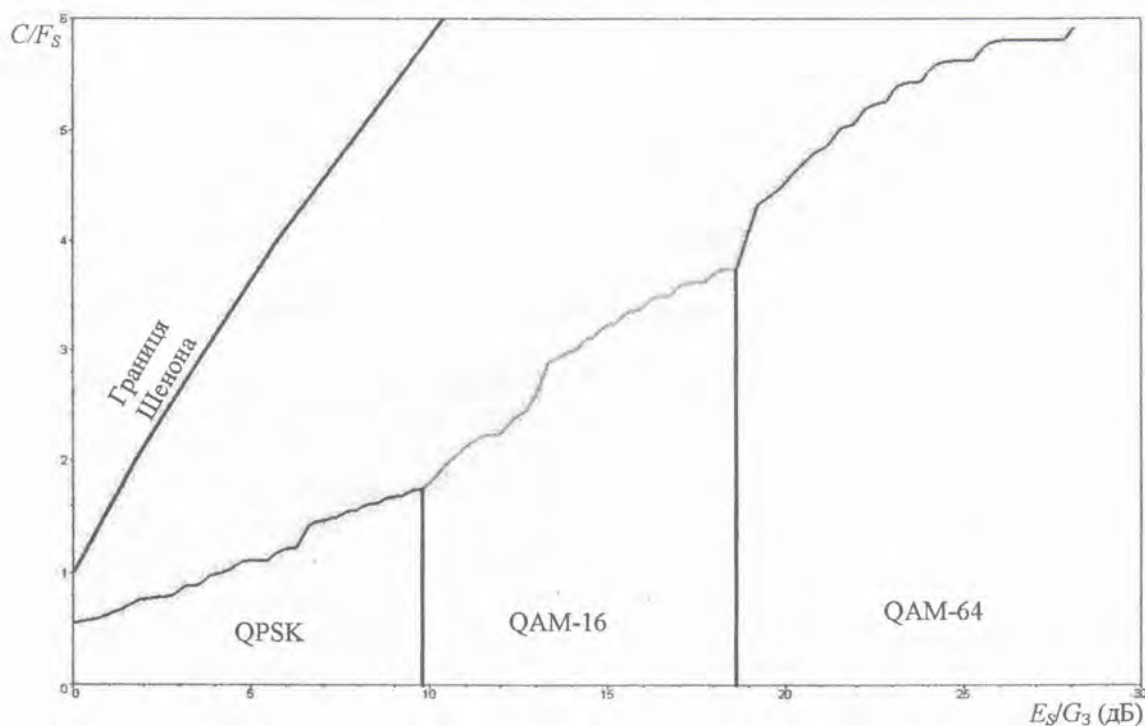


Рис. 3. Залежність пропускної спроможності від відношення сигнал-завада

На рис. 4 наведені графік залежності ΔC від ВСПШЗ. Із них видно, що методика вибору параметрів сигналу в засобах радіорелейного зв'язку при впливі навмисних завад забезпечує вииграш пропускної спроможності на 5-8 %.

Це забезпечується за рахунок адаптивного управління параметрами модулятора і маршрутизатора. Найбільший вииграш ΔC досягається при довжині кадру, що наближається до мінімального значення 512 біт. Це пояснюється тим, що в системі без адаптації для отримання допустимого рівня спотворення при довжині кадру 12144 біт необхідно використовувати коди із малою швидкістю, чим і пояснюється програш у пропускній спроможності.

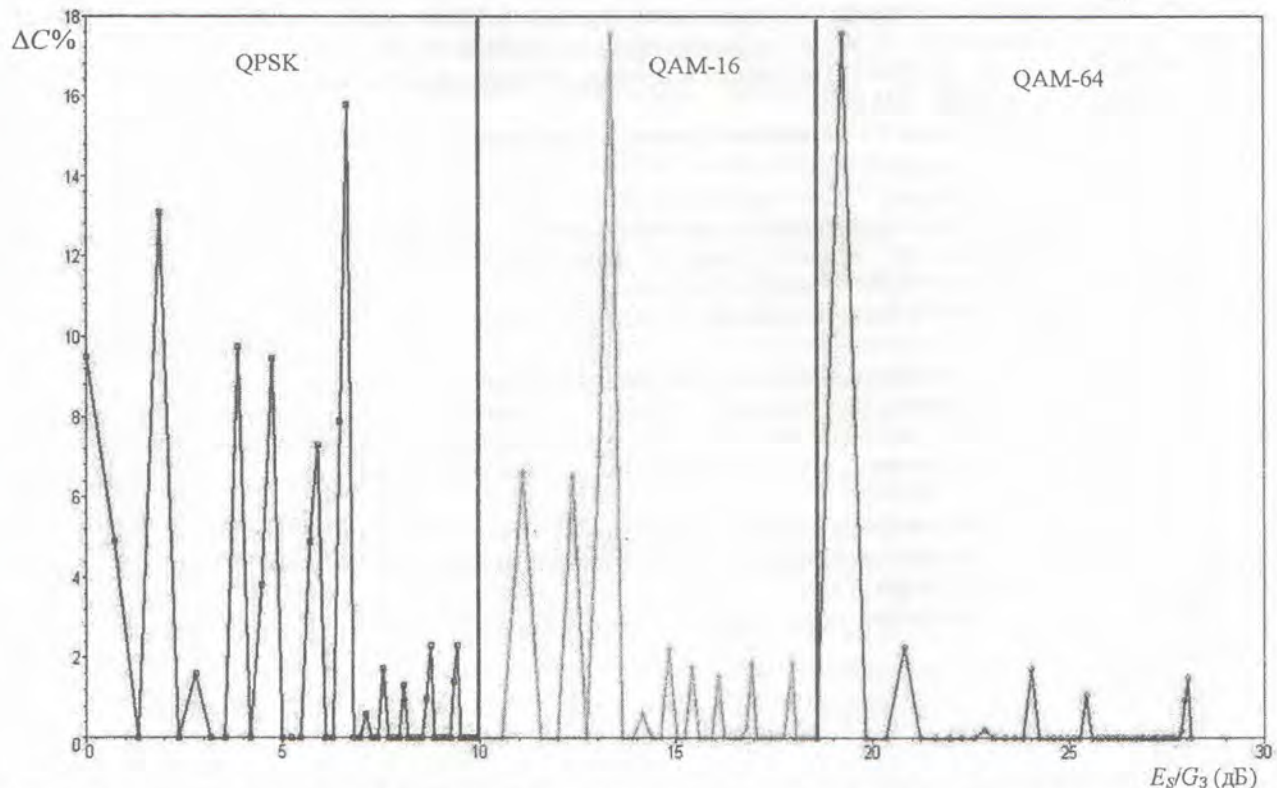


Рис. 4. Залежність виграшу пропускної спроможності від відношення сигнал-завада

Таким чином, застосування даної методики дозволяє підвищити пропускну спроможність засобів радіорелейного зв'язку в умовах впливу навмисних завад. Одночасна зміна параметрів сигнально-кодової конструкції і довжини кадру забезпечує широкий діапазон зміни значень пропускної спроможності каналу зв'язку із врахуванням завадової обстановки і обмежень на сигнально-кодову конструкцію та довжину кадру.

Ефект від впровадження розробленої методики полягає у збільшенні пропускної спроможності засобів радіорелейного зв'язку на 5-8 %. Отримані результати можуть бути застосовані в адаптивних системах радіорелейного зв'язку при реалізації модемного обладнання і маршрутизаторів.

Список літератури

1. Ошерович Л.Г. Радиорелейная и тропосферная связь / [Ошерович Л.Г., Куликов В.В., Волков Е.А., Куликов В.В.,]; под ред. И.П. Леонова. – Л.: ВАС, 1972. – 471 с.
2. Радиорелейные и спутниковые системы передачи / [Невмировский А.С., Данилович О.С., Маримонт Ю.И. и др.]; под ред. А.С. Невмировского – М.: Радио и связь, 1986. – 392 с.
3. Наритник Т.М. Радиорелейні та тропосферні системи передачі / Т.М. Наритник, В.В. Волков, Ю.В. Уткін. [навч. посіб.]. – К.: Основа 2008. – 307 с.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
5. Прокис Дж. Цифровая связь / Прокис Дж. : [пер. с англ.; под ред. Кловского Д. Д.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 432 с.
6. Throughput optimization using adaptive techniques Taesang Yoo, Richard J. Lavery, Andrea Goldsmith, David J. Goodman. Dept. of Electrical Engineering Stanford University, Stanford, CA94305 Dept. of Electrical & Computer Engineering Polytechnic University, Brooklyn. – Режим доступу до статті: http://www.stanford.edu/~zhuxq/adhoc_project/letters_adaptive.pdf.
7. Компьютерные сети. 4-е изд. / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
8. Численные методы условной оптимизации; под ред. Ф. Гил, У Мюррей; пер. с англ. В. Ю. Лебедева; под ред. А.А. Петрова. – М.: Мир, 1977. – 296 с.
9. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач: [учеб. пособие для вузов] / Васильев Ф.П. – [2-е изд.]. – М. Наука. Гл. Ред. физ.-мат. лит., 1988. – 552 с.

10. Липський О.А. Методика контролю стану радіорелейного каналу зв'язку в умовах впливу навмисних завад / Липський О.А. // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». – 2009. – № 3. – С. 31-39.

11. МСЭ-Т У.1541 (02/2006). Требования к сетевым показателям качества для служб, основанных на протоколах IP. – Женева, 2007. – 44 с.

12. Дьяконов В.П. Maple 9 в математике, физике и образовании / Дьяконов В.П. – М.: САЛОН-Прес, – 2004. – 686 с.

У статті запропонована методика вибору параметрів сигналу для систем радіорелейного каналу зв'язку при дії навмисних завад. Запропонована методика дозволяє підвищити пропускну спроможність радіорелейного каналу зв'язку за рахунок одночасного вибору сигнально-кодowego сузір'я і довжини кадру.

Ключові слова: радіорелейний зв'язок, пропускну спроможність каналу зв'язку, завада.

В статье предложена методика выбора параметров сигнала для систем радиорелейной связи в условиях действия преднамеренных помех. Предложенная методика позволяет повысить пропускную способность радиорелейного канала связи за счет одновременного выбора сигнально-кодowego созвездия и длины кадра.

Ключевые слова: радиорелейная связь, пропускная способность канала связи, помехи.

In the article the method of choice of parameters of signal is offered for microwave communication networks. The offered method allows to promote the carrying capacity of microwave relay channel due to the simultaneous choice of alarm-code constellation and length of shot.

Keywords: microwave communications, channel capacity, noise.

Рецензент: Рибальський О.В.

Надійшла 28.10.2010

УДК 519.816:004.681.3

Тискина Е.О., Хорошко В.А. (ДУИКТ)

АБСОЛЮТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Введение

Защита информации в современных условиях становится все более сложной проблемой, что обусловлено рядом обстоятельств, основными из которых являются: массовое распространение средств электронной техники; усложнение шифровальной техники и шифровальных технологий; необходимость защиты не только государственных, но и промышленной, коммерческой и финансовых тайн; расширяющиеся возможности несанкционированных действий с информацией. Кроме того необходимо учитывать работоспособность и устойчивость системы защиты к внешним воздействиям [1]. При этом разработчики и эксплуатанты систем защиты забывают, что кроме самой системы защиты информации существует еще и система управления системой защиты.

В настоящее время принято считать, что всевозможные автоматизированные системы управления (АСУ) являются как бы частным случаем систем поддержки принятия решений (СППР).

Однако на самом деле все обстоит значительно сложнее. Внедрение СППР в управленческие процессы представляет собой совершенно новый шаг в области автоматизации управления и человеческой деятельности. Отличие СППР от всевозможных АСУ имеет концептуальный характер, который отражается на всех этапах жизненного цикла системы [2].

Основная часть

Концептуальной основой проектирования СППР должен быть антропоцентрический подход. Это объясняется следующими обстоятельствами. Во-первых, СППР претендует на автоматизацию интеллектуальной деятельности человека - лица, принимающего решение, а значит в основу проектирования СППР должны быть положены результаты исследования интеллектуальной деятельности лица принимающего решения и достижения когнитивной психологии. Во-вторых, центральным элементом СППР является база знаний, которая