

ОЦІНКА ОПЕРАТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ РАДІОЛІНІЄЮ В УМОВАХ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕННЯ

В роботі розглядається задача оцінювання оперативності управління системою радіозв'язку в при дії навмисних завад в каналі зв'язку. Отримані співвідношення дозволяють визначити вимоги до допустимих середніх інформаційних втрат при прийманні поточної інформації в умовах складної радіоелектронної обстановки.

Жук А.Г., Макарчук В.И., Макарчук О.М. *Оценка оперативности управления радиолинией в условиях радиоэлектронного подавления.* В статье рассматривается задача оценивания оперативности управления радиолинией при воздействии преднамеренных помех в канале связи. Полученные соотношения позволяют определить требования к допустимым средним потерям при приеме текущей информации в условиях сложной радиоэлектронной обстановки.

A.Zhuk, V.Makarchuk, O.Makarchuk. *Efficiency assessment of radioline management under the conditions of radio-electronic repression.* The article deals with the problem of radio line management and its efficiency assessment under the conditions of the intentional interference in the communication channel. Obtained ratio allow to determine the requirements for a valid average losses through the information receiving in the complex electronic environment.

Ключові слова: оперативність управління, радіолінія, радіоелектронне подавлення.

Вступ.

Сучасні військові системи і засоби радіозв'язку діють в умовах активної радіоелектронної боротьби [1 – 3]. Постійне вдосконалення засобів радіорозвідки та радіозавад, впровадження автоматизованих комплексів радіоелектронного подавлення (РЕП) призвело за останні роки до істотного підвищення можливостей по радіоподавленню засобів радіозв'язку. Враховуючі це, стає досить складним завдання забезпечення стійкого радіозв'язку в умовах РЕП.

Аналіз останніх публікацій.

Аналіз останніх робіт свідчить, що на даний час не систематизовані й недостатньо досліджені процеси адаптації в радіозасобах при впливі навмисних завад [2 – 7]. Досвід практичної експлуатації систем та засобів радіозв'язку свідчить про те, що організація надійної і стійкої роботи адаптивної радіолінії вимагає оперативного підстроювання параметрів радіозасобів. При цьому однією з центральних задач є забезпечення передачі службової інформації між засобами радіозв'язку для організації управління радіозв'язком. Тому актуальною є задача вдосконалення методик і алгоритмів адаптації з метою підвищення ефективності використання радіоліній, які діють в умовах активної радіоелектронної протидії.

Важливою задачею при цьому є визначення показників оперативності управління радіолінією.

Метою роботи є проведення оцінки впливу навмисних завад на оперативність управління радіолінією при впливі навмисних завад.

Алгоритм функціонування адаптивних систем та засобів радіозв'язку передбачає заповнення відсутньої апріорної інформації щодо умов ведення зв'язку, які змінюються, та використання її для управління параметрами і режимами роботи радіолінії з метою забезпечення необхідних показників якості [4, 6]. Це потребує реалізації в радіолініях автоматизованого процесу пристосування до сигнальної і завадової обстановки. При цьому здійснюється оцінка поточного стану функціонування радіолінії і цілеспрямована зміна одного або декількох її параметрів для максимізації показників ефективності процесу передачі інформації.

Однією з центральних проблем при організації управління радіозасобами є проблема передачі службової інформації між абонентами. Проблема передачі службової інформації включає ряд взаємопов'язаних задач: визначення оптимального об'єму службової інформації, яка достатньо відображує поточний стан ВСРЗ; своєчасну доставку службової інформації до вузлів та абонентів; перетворення службової інформації у відповідні управляючі впливи.

При наявності навмисних завад ефективність регулювання параметрів радіолінії буде визначатися часом адаптації. Тоді оперативність управління радіолінією можна оцінити середнім часом затримки при передачі службових сигналів для зміни стану радіолінії із-за реалізації завад з боку системи радіоелектронного подавлення [6]:

$$\overline{\Delta t}_{\text{затр}}(n, Q^2) = T_{\text{ц}} \{P_{\text{пом}}(n, Q^2)\} - T_{\text{ц}}^{\text{зад}}(n, Q_0^2), \quad (1)$$

де $P_{\text{пом}}(n, Q^2)$ – ймовірність помилкового приймання інформаційного повідомлення з кількістю символів n при відношенні сигнал-завада на вході Q^2 , меншому ніж порогове відношення Q_0^2 , яке визначається необхідною достовірністю приймання одного символу (біту) – $P_6(Q_0^2)$; $T_{\text{ц}}$ – поточне значення тривалості циклу управління; $T_{\text{ц}}^{\text{зад}}$ – задане значення тривалості циклу управління при відсутності навмисних завад при прийманні одного символу повідомлення з необхідною достовірністю $P_6(Q_0^2)$.

В радіоканалі помилки при прийманні елементарного символу (біту) повідомлення виникають незалежно з незмінною в часі ймовірністю $P_6(Q_0^2)$, яка є однаковою для будь-якого символу повідомлення. Ймовірність правильного приймання інформаційного повідомлення з n символів за один цикл управління визначається співвідношенням [7]:

$$P_{\text{прав}}(n, Q^2) = (1 - P_6(Q^2))^n. \quad (2)$$

Вплив зміни ймовірності помилки в прийманні елементарного символу $P_6(Q^2)$ при $Q^2 \leq Q_0^2$ на ймовірність правильного приймання інформаційного повідомлення з n символів ілюструється залежностями, наведеними на рис. 1.

Зміна ймовірності помилки $P_6(Q_0^2)$ при біноміальному законі розподілу помилок в каналі визначає зміну середніх значень інформаційних втрат за один сеанс передачі повідомлення [7] і середні відносні втрати на символ:

$$n_{\text{втрат}}(Q^2) = nP_6(Q^2), \quad \rho(Q^2) = \frac{n_{\text{втрат}}(Q^2)}{n} = P_6(Q^2), \quad (3)$$

де при $Q^2 = Q_0^2$ величина $\rho(Q_0^2)$ визначає рівень допустимих інформаційних втрат на символ.

Визначимо потенційну оцінку впливу завад на середній час затримки прийняття рішення. Ймовірність правильного приймання оперативного повідомлення (2) при його повторенні може наступити на будь-якому з $k + 1$ сеансів передачі. У цьому випадку випадкове значення $k(Q^2) = \Delta t_{\text{зад}}(Q^2) / \Delta t_{\text{зад}}$ можна інтерпретувати як відносно випадковий час затримки у прийманні повідомлення $k(Q^2)$ тривалістю $\Delta t_{\text{с}}$, при k -му його повторенні. Як показано в [4] ймовірність того, що після k невдач настане успіх, визначається геометричним розподілом [8]:

$$p(k) = P_{\text{прав}}(n, Q^2) P_6^k(n, Q^2); \quad (4)$$

$$F(s, Q^2) = \frac{P_{\text{прав}}(n, Q^2)}{1 - sP_6(n, Q^2)}, \quad |s| < 1. \quad (5)$$

Використовуючи вирази (2), (3) і (4), середнє значення (математичне очікування) і дисперсію часу відносної затримки прийняття рішення в радіолінії записуємо у вигляді:

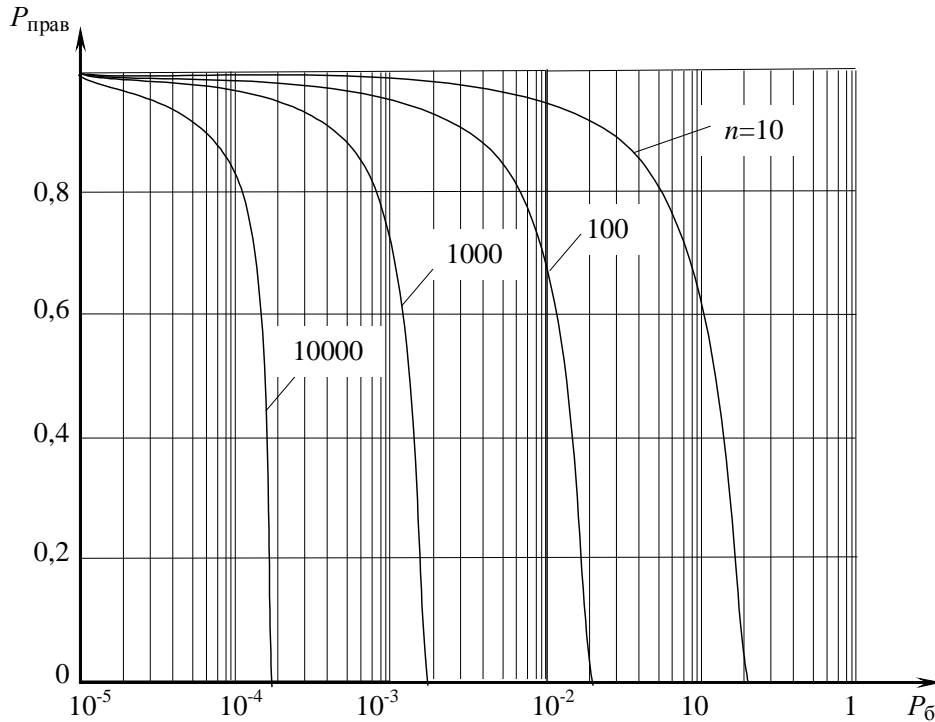


Рис. 1. Залежності ймовірності правильного приймання інформаційного повідомлення з n символів від ймовірності помилки в прийманні елементарного символу

$$M\{k(n, Q^2)\} = \left. \frac{dF(s, Q^2)}{ds} \right|_{s=1} = \frac{P_б(n, Q^2)}{1 - P_б(n, Q^2)} = \frac{1 - (1 - k(Q^2))^n}{(1 - k(Q^2))^{2n}}, \quad (6)$$

$$D(k) = \left. \frac{d^2 F(s, Q^2)}{d^2 s} \right|_{s=1} + \left. \frac{dF(s, Q^2)}{ds} \right|_{s=1} - \left[\left. \frac{dF(s, Q^2)}{ds} \right|_{s=1} \right]^2 = \frac{1 - [1 - \rho(Q^2)]^n}{[1 - \rho(Q^2)]^{2n}}, \quad (7)$$

де $0 \leq \rho(Q^2) \leq 1$.

На рис. 2 наведено залежності, які ілюструють зміну відносної затримки від відносного рівня інформаційних втрат, що припадають на один символ повідомлення.

Як видно із залежностей, ефективність завад в інформаційних операціях зростає вже при обмежених можливостях протиборчої сторони, коли відносні інформаційні втрати на символ повідомлення $\rho(Q^2) \ll 1$, а кількість інформаційних символів в оперативних повідомленнях $n \gg 1$. В цьому випадку середній час затримки $M\{k(Q^2)\}$ зростає практично експоненційно, і залежності (3), (6) запишемо у вигляді:

$$P_{\text{пом}}(n, Q^2) \approx 1 - e^{-n\rho(Q^2)}, \quad n \gg 1, \quad \rho(Q^2) \ll 1; \quad (8)$$

$$M\{k(Q^2)\} \approx e^{-n\rho(Q^2)} - 1. \quad (9)$$

На рис. 2 залежність (9) наведена у вигляді штрих пунктирною лінією ($n=100$). Як видно з формули (8), ймовірність помилкового приймання повідомлення з n символів пов'язана з середньою кількістю неправильно прийнятих символів $n_{\text{пом}}$ залежністю

$$n_{\text{пом}} = n\rho(Q^2) = \ln(1 - P_{\text{пом}}(n, Q^2)), \quad n_{\text{пом}} \ll n. \quad (10)$$

Оцінимо ймовірність своєчасного прийняття рішення при використанні оперативної інформації з необхідним рівнем достовірності.

Ймовірність прийняття рішення при використанні оперативної інформації з необхідним рівнем достовірності приймання повідомлення:

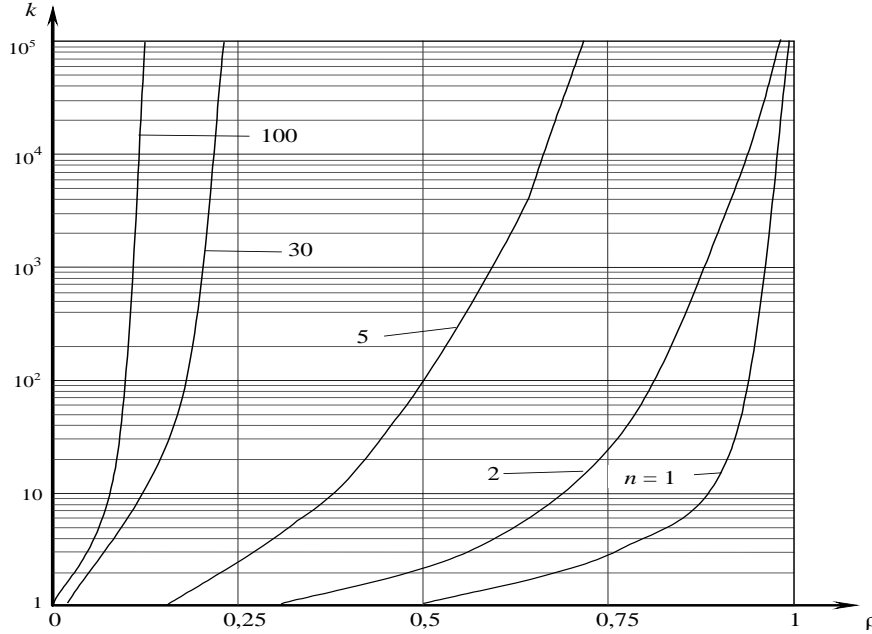


Рис. 2. Залежності відносної затримки від відносного рівня інформаційних втрат, що припадають на один символ повідомлення

$$P_{\text{ріш}} = P(T_{\text{ц}} \leq T_{\text{ц}}^{\text{зад}}) = P(k \leq C_{\text{важ}}) = \sum_{j=0}^{C_{\text{важ}}} P(k(Q^2), n, Q^2), \quad (11)$$

де $k(Q^2) = \Delta t_{\text{затр}} / \Delta t_{\text{с}}$ – відносний час затримки у прийманні повідомлення тривалістю $\Delta t_{\text{с}}$ з необхідною достовірністю $P_6(Q_0^2)$; $k(Q^2) = \overline{0, K}$; $C_{\text{важ}} = \Delta t_{\text{важ}} / \Delta t_{\text{с}}$ – відносний час важливості оперативної інформації; $P(k(Q^2), n, Q^2)$ – ймовірність того, що після k невдалих сеансів прийому повідомлення з необхідною достовірністю $P_6(Q_0^2)$ воно буде прийнято з нею на $(k + 1)$ -му сеансі. При випадковому характері часу затримки поточної інформації $k(Q^2)$ існує ймовірність несвоечасного прийняття правильного рішення. При $k(Q^2) > C_{\text{важ}}$ стан СРЗ і зовнішнього середовища зміниться і при новій ситуації потрібно нове рішення. У цьому випадку, враховуючи вирази (4), (8), (11), ймовірність своєчасно і правильно прийнятих рішень запишеться у вигляді:

$$P_{\text{ріш}} = P(T_{\text{ц}} \leq T_{\text{ц}}^{\text{зад}}) = 1 - \left(1 - e^{-n\rho(Q^2)}\right)^{C_{\text{важ}}}, \quad \rho(Q^2) \ll 1, \quad n \gg 1. \quad (12)$$

На рис. 3 наведені залежності, що ілюструють вплив відносної тривалості інтервалу оперативної важливості інформації $C_{\text{важ}}$ на ймовірність своєчасного прийняття рішення при різній середній кількості помилково прийнятих символів $n_{\text{пом}}$. Як бачимо з наведених залежностей на оперативність управління в умовах інформаційного протиборства істотно впливає тривалість оперативної важливості поточної інформації, що визначає темп оновлення прийнятих рішень.

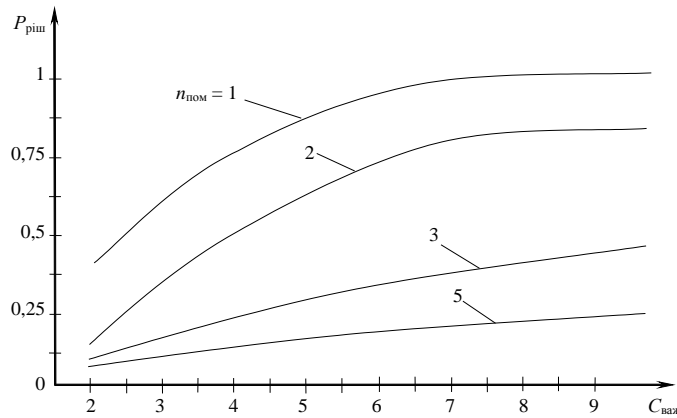


Рис. 3. Ймовірність своєчасного прийняття рішення при різній середній кількості помилково прийнятих символів

Отримані співвідношення дозволяють для заданої ймовірності своєчасно і правильно прийнятих рішень $P_{\text{реш}}$ і апіорі відомою відносної тривалості важливості оперативної інформації $C_{\text{важ}}$ визначити вимоги до допустимих середніх інформаційних втрат $n_{\text{пом}}$ при прийманні поточної інформації.

Висновки. Таким чином, отримані нові математичні співвідношення, які враховують вплив відносної тривалості інтервалу оперативної важливості інформації на ймовірність своєчасного прийняття рішення та забезпечують оцінку показників оперативності управління радіолінією в умовах радіоелектронного конфлікту.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка методів та методик підвищення завадозахищеності передачі службових повідомлень каналами зв'язку з навмисними завадами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Агафонов А. А. и др. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: „Радиотехника”, 2006. – 424 с.
2. Куприянов А. И., Сахаров А. В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учеб. пособие / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
3. Кондратьев А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 37 – 41.
4. Владимиров В.И., Владимиров И.В., Наметкин В.В. Избранные вопросы радиоэлектронного подавления цифровых каналов систем радиосвязи. – Воронеж: ВАИУ. – 2010. – 119 с.
5. Голяницкий И. А. Математические модели и методы в радиосвязи. под ред. Ю. А. Громакова. – М: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.
6. Гостев В. И. Динамическое управление радиоресурсом в системах связи / В. И. Гостев, В. Е. Федяев, Д. А. Худой. – К: Радиоаматор, 1998. – 412 с.
7. Григорьев В. А. Сети и системы радиодоступа / В. А. Григорьев, О. И. Лагутенко, Ю. А. Распаев. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.