

УДК 621.391

СЕРГІЙ ВАСИЛЕНКО

**ЙМОВІРНІСТЬ ПЕРЕХОПЛЕННЯ ОДИНОЧНИХ СТРИБКІВ ПЕРЕДАВАЧА З ПСЕВДОВИПАДКОВИМ ПЕРЕНАЛАШТУВАННЯМ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОШУКОВОГО ПРИЙМАЧА**

Ведення сучасних бойових дій тісно пов'язано з використанням цілого ряду рознесених у просторі засобів розвідки, управління та вогневого ураження. При цьому невід'ємною складовою таких комплексних систем є використання високонадійних радіоліній управління. Одним з ефективних методів підвищення заводо захищеності радіоліній при впливі навмисних завад є застосування псевдовипадкового переналаштування робочої частоти. У статті розглядається ймовірність перехоплення одиночних стрибків передавача за допомогою пошукового приймача впродовж одного вимірювання. У результаті досліджень отримано аналітичні вирази для розрахунку ймовірностей перехоплення одиночних стрибків передавача з псевдовипадковим переналаштуванням робочої частоти за допомогою пошукових приймачів фірми Rohde & Schwarz.

**Ключові слова:** канал зв'язку, заводо захищеність, стрибки частоти, псевдовипадкове переналаштування робочої частоти (ППРЧ), ймовірність перехоплення, пошуковий приймач.

**Постановка проблеми.** Ведення сучасних бойових дій тісно пов'язано з використанням цілого ряду рознесених у просторі засобів розвідки, управління та вогневого ураження. Невід'ємною складовою таких комплексних систем є використання високонадійних радіоліній управління. Вони застосовуються для передачі команд, повідомлень, дистанційного керування електромеханічними пристроями та ін. Особливо високі вимоги по надійності і достовірності прийому команд (повідомлення) висуваються до систем радіоуправління спеціального (відомчого) призначення, в яких часто використовується одностороння передача, що дає змогу покращити електромагнітну сумісність, зменшити енергоспоживання та масогабаритні показники, зробити неможливим викриття місця знаходження приймача. Продуктивність безпроводового каналу зв'язку підвищується шляхом уникнення завад та багатопроменевого замирання.

Одним з ефективних методів підвищення заводо захищеності радіозасобів (РЗ) при впливі навмисних завад є застосування псевдовипадкового переналаштування робочої частоти (ППРЧ) [1]. У РЗ з ППРЧ розширення спектра в межах заданої смуги частот здійснюється за допомогою стрибкоподібної зміни частоти сигналу за псевдовипадковим законом, який невідомий постановнику завад.

**З аналізу останніх досліджень і публікацій** відомо, що для систем з псевдовипадковим переналаштуванням робочої частоти оптимальними (в класі гаусівських шумових) являються завади, спектр яких зосереджений в частині робочої смуги [2]. Зосереджена перешкода при попаданні в частотний підканал прийому призводить до повного ураження інформаційного блоку, що істотно знижує ефективність роботи системи зв'язку. Отже, першим питанням, яке потрібно розглянути при проектуванні радіоліній з ППРЧ, є питання заводо захищеності.

**Метою статті** є оцінка ймовірності перехоплення одиночного стрибка системи з ППРЧ за допомогою пошукового приймача.

Відомо, що обчислення ймовірності перехоплення стрибків частоти сигналу за допомогою пошукових приймачів здійснюється на загальній основі. Особливої уваги потребують багатоканальні приймачі, які перекривають весь частотний діапазон пошуку.

У статті також розглядається синхронізація послідовності приймача, яка збігається з послідовністю стрибків передавача. Заради простоти прийняті ідеальні умови [3].

У випадку передачі швидкої послідовності пошукові приймачі можуть здійснювати спроби перехоплення сигналу передавача в широкому діапазоні. У цьому випадку виявлені сигнали характеризуються середньою частотою, яка є постійною в часі. Виділення виявлених частот окремих передавачів ускладнюється присутністю в одній смузі частот сигналів від різних передавачів. Дане завдання може бути спрощене за допомогою сканування радіопеленгатором.

При виявленні сигналу передавача за допомогою пошукового приймача чи радіопеленгатора послідовності стрибків передавача і сканування приймача співпадають. Враховуючи випадкову послідовність даних стрибків, така послідовність може бути описана тільки ймовірністю перехоплення.

**Вихідні дані.** Предметом дослідження є одноканальний пошуковий приймач компанії Rohde & Schwarz (R&S), який здійснює пошук сигналу передавача з режимом ППРЧ. При розгляді даного питання час перебування приймача у миттєвій частотній позиції не враховується [4, 5].

**Припущення.** Поведінка передавача з режимом ППРЧ є випадковою і має наступні характеристики:

- канали діапазону стрибків ( $M_{FH}$ ) та поточний канал обираються випадково та незалежно один від одного;
- ймовірність вибору всіх  $T_h$  каналів однакова ( $1/M_{FH}$ );
- час затримки на частоті випромінювання позначається  $T_h$ ;
- у разі зміни часу стрибка,  $T_h$  являється середнім значенням тривалості стрибка;
- для простоти вважаємо, що суміжні каналні інтервали знаходяться в одному діапазоні, який вільний від будь-яких інших сигналів.

Характеристики пошукового приймача:

- передбачається, що приймач систематично сканує певний частотний діапазон з тим же частотним інтервалом, що і передавач;
- центральні частоти відсканованих каналів ( $M_{Sc}$ ) з часом можуть перейти в лінійну (лінійні сходінки) або псевдовипадкову послідовності (див. рис.1);
- у випадку, коли всі частотні стрибки обраних  $M_{Sc}$  каналів використовуються тільки один раз за період сканування, випадкова послідовність стрибків перестає бути стохастичним процесом. При цьому систематичний пошук здійснюється із складною синхронізацією, оскільки кожного разу відбувається повне сканування всіх  $M_{Sc}$  каналів. Тривалість такого сканування дорівнює  $T_{Sc}$ ;

- незалежно від типу сканування ймовірність роботи приймача в кожному з  $M_{Sc}$  каналів протягом довільного випадкового часу визначається як  $1/M_{Sc}$ ;

– кожній частотній позиції приймача присвоєна затримка часу перебування на даній частоті  $T_d$  (див. рис. 1), яка складається з часу інтегрування  $T_i$  та періоду який залишився  $T_{Syn}$ .  $T_{Syn}$  містить час установки синтезуючого приймача і час, який потрібен для обробки сигналу:  $T_{Syn} = T_d - T_i$ .

- для виявлення сигналу його довжина повинна складати  $T_h > T_i$  (сигнали з тривалістю  $T_h \leq T_i$  розглядаються як не виявлені).

Виходячи з характеристик приймача отримані стрибки частоти повинні мати достатню потужність для виявлення моменту, коли час принаймні однієї інтеграції  $T_i$  знаходиться в межах інтервалу синхронізації  $T_h$ . При цьому частоти передавача та приймача повинні бути однакові. Це один з досить простих способів наближення до процедури перехоплення. У цьому випадку відношення ймовірностей помилкової тривоги, порогового перехоплення та

відношення сигнал/шум ( $S/N$ ), не беруться до уваги. Таким чином, для отримання постійного відношення  $S/N$  на вході пристрою детектування (при короткому часі інтеграції  $T_i$ ) напруженість поля повинна бути збільшена пропорційно  $\sqrt{1/T_i}$ .

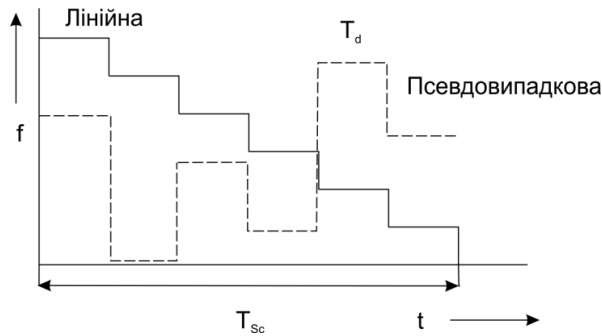


Рисунок 1 – Пошукові послідовності приймача

Для виявлення сигналу частотні діапазони передавача і приймача повинні частково перекриватися по ряду каналів  $M_g$  в загальній смузі частот (див. рис. 2).

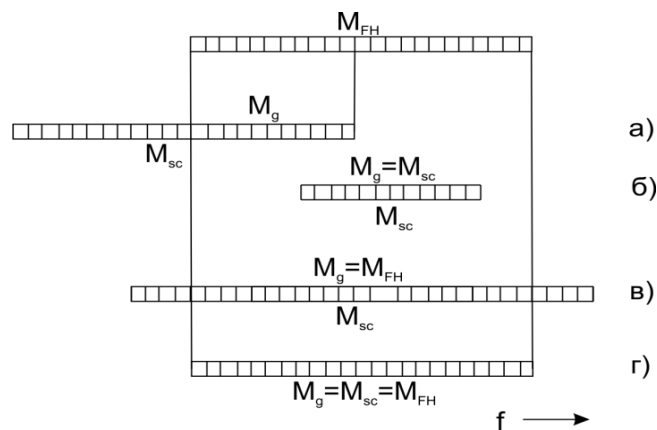


Рисунок 2 – Смути частот передавача і приймача:

- а) загальне перекриття;
- б) діапазон пошуку повністю всередині діапазону стрибків;
- в) діапазон стрибків повністю всередині діапазону пошуку;
- г) діапазон пошуку дорівнює діапазону стрибків.

З цифрової обробки сигналів відомо, що канали багатоканальних приймачів з використанням паралельних ідентичних фільтрів/детекторів можуть бути реалізовані за допомогою швидкого перетворення Фур'є. У цьому випадку під час блокування приймачем певної частоти, фільтри/детектори  $K$  повинні бути активними.

**Ймовірність перехоплення одиночних стрибків впродовж одного випробування.** Спочатку розглянемо ймовірність перехоплення сигналів FH-передавача для одиночних стрибків. Даний метод також підходить для виявлення будь-якого одиночного стрибка (будь-якого сигналу з довжиною  $T_h$ , що відбувається один раз протягом тривалого періоду спостереження  $T_i$ ).

Розглянувши рис. 2 бачимо, що у процесі радіообміну передавач може використовувати будь-який з  $M_{FH}$  каналів, а приймач, в свою чергу, може знаходитися на будь-якому з  $M_{sc}$  каналів. У цьому випадку, можлива кількість комбінацій становить  $M_{FH} \times M_{sc}$ . Така кількість комбінацій дає можливість абонентам зустрітися в одному загальному каналі  $M_g$ . Якщо вважати, що число  $M_g$  – число можливих збігів між передавачем і приймачем, то ймовірність перехоплення одного стрибка в єдиному випробуванні дорівнює:

$$P_1 = M_g / M_{FH} M_{sc} \quad (1)$$

Для багатоканальних приймачів ймовірність стрибка в одному з  $K$  каналів збільшується на коефіцієнт  $K$  :

$$P_i = KM_g / M_{FH} M_{Sc} \quad (2)$$

Даний вираз використовується у тому випадку, коли число паралельних каналів приймача менше ніж число загальних каналів приймача та передавача ( $K < M_g$ ). При  $K \geq M_g$ , у рівнянні (2)  $K$  заміняють на  $M_g$ . Далі будемо вважати, що використання багатоканального приймача передбачається загальним випадком.

Розглянемо окремі випадки:

1. Частотний діапазон стрибків передавача більший діапазону сканування приймача та перекриває останній повністю ( $M_{FH} > M_{Sc}$ ) (див. рис. 2б). Якщо вважати, що  $M_g = M_{Sc}$ , то вираз (2) набуває наступного вигляду:

$$P_i = K / M_{FH} \quad (3)$$

У випадку використання одно каналного приймача:

$$P_i = 1 / M_{FH} \quad (4)$$

2. Частотний діапазон сканування приймача більший діапазону стрибків передавача та перекриває останній повністю ( $M_{Sc} > M_{FH}$ ) (див. рис. 2в) Якщо  $M_g = M_{FH}$  отримуємо наступний вираз:

$$P_i = K / M_{Sc} \quad (5)$$

Виконання приймачем вимірів за межами діапазону частот передавача значно знижує ймовірність його перехоплення.

**Висновки.** Таким чином, за результатами досліджень отримано аналітичні вирази для розрахунку ймовірностей перехоплення одиночних сигналів одно- та багатоканальних передавачів з псевдовипадковим переналаштуванням робочої частоти за допомогою пошукових приймачів R&S.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Борисов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев ; под ред. В. И. Борисова. – [2-е изд.; перераб. и доп.]. – М. : РадиоСофт, 2008. – 512 с.
2. Биленко А. П. Сравнение помехозащищенных радиолиний с широкополосными сигналами / А. П. Биленко, Л. Н. Волков // Радиотехника. – 1986. – № 4. – С. 19-21
3. Oberbuchner E. Search Receiver ESMA – The ideal frontend for VHF-UHF monitoring systems / E. Oberbuchner // News from Rohde & Schwarz. – 1995. – No. 149. – P. 7-9.
4. Demmel F. Digital Scanning Direction Finders DDF0xS – Fast direction finding of broadband and shortterm signals / F. Demmel, W. Genal, U. Unselt // News from Rohde & Schwarz. – 1998. – No. 158. – P. 21-23.
5. Höring H. Probability of intercept for frequency hop signals using search receivers / H. Höring // News from Rohde & Schwarz. – 1998/IV. – No. 160. – P. 26-29.

Стаття надійшла до редакції 02.10.2015.

## REFERENCE

1. Borisov, V. I., Zinchuk, A. E., Limarev, V. M. (2008), *Pomekhozashchishchennost sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov metodom psevdosluchainoi perestroiki rabochei chastoty* [Immunity of radio systems to frequency hopping spread spectrum], RadioSoft Publ., Moscow, 512 p.
2. Bilenko, A. P., Volkov, L.H. (1986), *Sravnienie pomekhozashchishchennykh radiolinii s shirokopolosnymi signalami* [Comparison of anti-interference of radio signals with broadband], Radiotekhnika, No. 4, pp. 19-21.

3. Oberbuchner, E. (1995), *Search Receiver ESMA – The ideal frontend for VHF-UHF monitoring systems*, News from Rohde & Schwarz, No. 149, pp 7-9.

4. Demmel, F., Genal, W., Unselt, U. (1998), *Digital Scanning Direction Finders DDF0xS – Fast direction finding of broadband and shortterm signals*, News from Rohde & Schwarz, No. 158, pp 21-23.

5. Höring, H. (1998/IV), *Probability of intercept for frequency hop signals using search receivers*, News from Rohde & Schwarz, No. 160, pp 26-29.

СЕРГЕЙ ВАСИЛЕНКО

### **ВЕРОЯТНОСТЬ ПЕРЕХВАТА ОДИНОЧНЫХ СКАЧКОВ ПЕРЕДАТЧИКА С ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ С ПОМОЩЬЮ ПОИСКОВОГО ПРИЕМНИКА**

Ведения современных боевых действий тесно связано с использованием целого ряда разнесенных в пространстве средств разведки, управления и огневого поражения. При этом неотъемлемой составляющей таких комплексных систем является использование высоконадежных радиолиний управления. Одним из эффективных методов повышения помехозащищенности радиолиний при воздействии преднамеренных помех является применение псевдослучайной перенастройки рабочей частоты. В статье рассматривается вероятность перехвата одиночных скачков передатчика с помощью поискового приемника в течение одного измерения. В результате исследований получены аналитические выражения для расчета вероятностей перехвата одиночных скачков передатчика с псевдослучайной перенастройкой рабочей частоты с помощью поисковых приемников фирмы Rohde&Schwarz.

**Ключевые слова:** канал связи, помехозащищенность, скачки частоты, псевдослучайная перенастройка рабочей частоты (ППРЧ), вероятность перехвата, поисковый приемник.

SERGIY VASYLENKO

### **PROBABILITY OF INTERCEPT SINGLE HOP TRANSMITTER WITH FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM USING SEARCH RECEIVER**

Doing modern warfare is closely linked with a number of spaced reconnaissance, control and fire damage. At the same time an integral part of such complex systems is the use of highly reliable radio link control. One of the most effective methods of increasing the noise immunity of radio jamming when exposed to the use of frequency hopping spread spectrum technology. The article discusses the probability of intercept singles hops transmitter using a searcher receiver for a single trial. As a result of research submitted analytical expressions to calculate the probability of interception of single hops of frequency hopping spread spectrum transmitter using search receivers of Rohde & Schwarz.

**Keywords:** communication channel, noise immunity, jump frequency, frequency hopping spread spectrum (FHSS), the probability of interception, a searcher receiver.

**Сергій Вікторович Василенко**, аспірант, Державний заклад «Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна.

**E-mail:** [sirx0308@gmail.com](mailto:sirx0308@gmail.com).

**Сергей Викторович Василенко**, аспирант, Государственное учреждение «Институт специальной связи и защиты информации Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина.

**Serhii Vasylenko**, postgraduate student, State institution «Institute of special communication and information security of National technical university of Ukraine «Kyiv polytechnic institute», Kyiv, Ukraine.