

УДК 621.391

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕХОПЛЕННЯ ОДИНИЧНОГО СТРИБКА СИГНАЛУ ПЕРЕДАВАЧА З ППРЧ¹

*Єрохін В. Ф., д.т.н., проф.; Рома О. М., д.т.н., с.н.с.;
Василенко С. В.; Бездрабко Д. Є.*

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна
sirx0308@gmail.com*

MATHEMATICAL MODEL OF INTERCEPT SINGLE SIGNAL HOP TRANSMITTER WITH FHSS

*V. Yerokhin Doctor of Engineering, Professor; O. Roma, Doctor of Engineering, Senior
Researcher; S. Vasylenko; D. Bezdrabko*

*Institute of Special Communication and Information Protection of
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

Постановка проблеми

Системи і засоби військового радіозв'язку функціонують в складній радіоелектронній обстановці, що зумовлюється природними і навмисними завадами, які діють в каналі, та завмираннями сигналів внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль. З метою підвищення завадозахищеності та завадостійкості сучасних систем радіозв'язку широкого поширення отримують засоби з використанням режиму псевдовипадкового переналаштування робочої частоти (ППРЧ). Відповідно до цього передавач і приймач одночасно за невідомим постановнику завад псевдовипадковим законом переходять на нову радіочастоту.

Аналіз публікацій. Дослідженню систем радіозв'язку (СРЗ) з ППРЧ присвячено багато публікацій. Зокрема, ці видання містять детальний аналіз завадостійкості радіоліній з ППРЧ при впливі різних видів завад [1, 2].

З аналізу широкопasmових методів передачі видно, що завадозахищеність сигналів для різних методів відносно оптимальних (для кожного методу) завад приблизно однакова. При використанні режиму ППРЧ для СРЗ оптимальними (в класі гаусівських шумових з обмеженою потужністю) є завади, спектр яких зосереджений в частині робочої смуги (так звана «завада у відповідь») [3]. Ефективного впливу завад на СРЗ з ППРЧ можна досягнути лише за умови знання постановником завад відповідних параметрів сигналів СРЗ – зокрема, центральних частот каналів, швидкості стрибків частоти, ширини загальної смуги частот, потужностей сигналу й завади в точці прийому. Вказані параметри постановник завад отримує, як прави-

¹ <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1166>

ло, безпосередньо за допомогою станцій радіотехнічної розвідки (РТР), а також шляхом перерахунку виміряних та відомих апріорі параметрів в інші, функціонально пов'язані з ними, характеристики [4]. Прикладом є сучасні пошукові приймачі компанії Rohde & Schwarz (R&S) та аналізатори спектра RTSA, які в реальному масштабі часу дозволяють здійснювати більше 48000 вимірів за секунду. Для порівняння зазначимо, що звичайні спектральні аналізатори минулих поколінь здатні здійснювати не більше 50 вимірювань спектра за секунду. Зазначимо також, що крім локалізації прихованих сигналів, аналізатор RTSA здатний відслідковувати сигнали з розширеним спектром та сигнали з стрибками частоти [5].

Метою статті є аналіз відомої методики виявлення сигналів передавача з ППРЧ [6] та розширення меж використання даної методики у випадку, коли смуги частот передавача придушеної СРЗ та скануючого приймача станції РТР не співпадають.

Вихідні дані. Предметом дослідження є пошуковий приймач компанії Rohde & Schwarz (R&S), який здійснює пошук сигналу передавача з режимом ППРЧ та аналізатор спектра RTSA.

Обмеження та припущення. Введемо наступні позначення:

M_{FH} – кількість частотних позицій передавача з режимом ППРЧ;

M_{SC} – кількість частотних позицій сканування пошукового приймача;

M_g – кількість частотних позицій передавача і пошукового приймача, що співпадають;

T_h – час перебування передавача у одній частотній позиції;

T_{SC} – час сканування приймачем всіх частотних позицій;

T_d – час затримки приймача на одній частотній позиції;

T_{syn} – час переналаштування приймача на певну частотну позицію;

T_i – час інтегрування (накопичення) вхідного сигналу приймачем;

ΔF_{FH} – ширина смуги загального діапазону стрибків сигналу з ППРЧ;

Δf_{FH} – ширина смуги одного стрибка сигналу з ППРЧ;

ΔF_{SC} – ширина смуги загального діапазону сканування пошукового приймача;

Δf_{SC} – ширина смуги одного сканування пошукового приймача.

Як відомо, поведінка передавача з режимом ППРЧ є статистично випадковою і має наступні характеристики [6]:

частотні позиції передавача (із числа M_{FH}) обираються випадково та незалежно одна від одної;

ймовірність вибору частотних позицій рівномірна ($1 / M_{FH}$);

інтервал оновлення частот діапазону передачі неперервний.

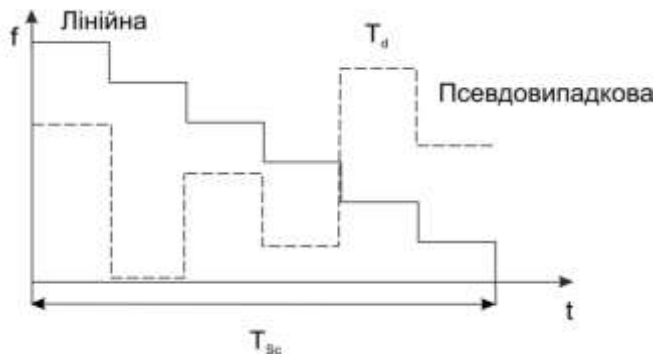


Рис. 1. Пошукові послідовності приймача

разового використання всіх частотних позицій приймача за один період сканування дана послідовність перестає бути стохастичним процесом. У цьому випадку відбувається повне сканування всіх частотних позицій приймача.

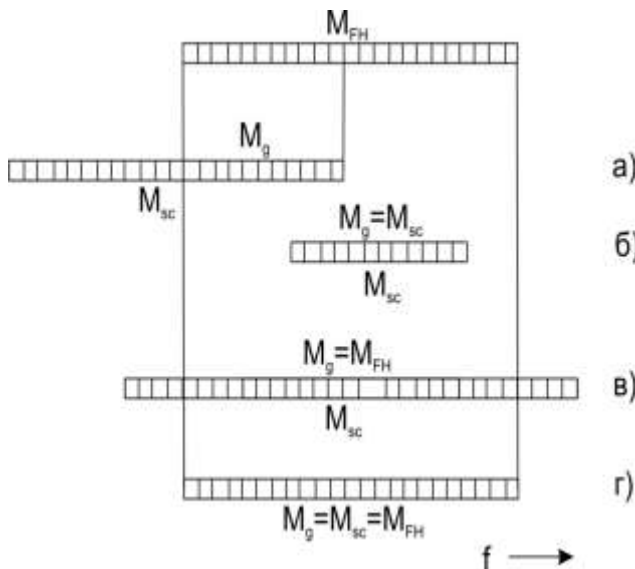


Рис. 2. Смуги частот передавача і приймача:

- а) частотний діапазон приймача частково перекриває частотний діапазон передавача;
- б) частотний діапазон приймача повністю всередині частотного діапазону передавача ($M_{FH} > M_{sc}$);
- в) частотний діапазон передавача повністю всередині частотного діапазону приймача ($M_{sc} > M_{FH}$);
- г) частотний діапазон приймача дорівнює частотному діапазону передавача.

Характеристики пошукового приймача:

пошуковий приймач періодично здійснює лінійне сканування всього частотного діапазону передавача; центральні частоти позицій, що відскановані приймачем (M_{sc}), з часом переходять в лінійну або псевдовипадкову послідовності (рис. 1); у випадку одно-

разового використання всіх частотних позицій приймача за один період сканування дана послідовність перестає бути стохастичним процесом. У цьому випадку відбувається повне сканування всіх частотних позицій приймача. Тривалість такого сканування дорівнює T_{sc} ; ймовірність роботи приймача в кожній частотній позиції протягом довільного випадкового часу визначається як $1/M_{sc}$;

Як відомо, виявлення стрибка сигналу відбувається у разі збігу частотних позицій передавача та пошукового приймача в певний момент часу. Можливі варіанти перекриття смуг частот передавача та приймача зображені на рис. 2.

Ймовірність перехоплення одиничних сигналів впродовж одного сканування.

У процесі радіообміну передавач може використовувати будь-яку з

M_{FH} частотних позицій, а приймач, в свою чергу, може знаходитися на будь-якій з M_{SC} позицій. У цьому разі можлива кількість комбінацій становить $M_{FH} \times M_{SC}$ (рис. 2). Якщо вважати, що M_g – число спільних частотних позицій передавача і приймача, то ймовірність перехоплення одного сигналу передавача під час одного сканування дорівнює відношенню числа спільних позицій передавача і приймача до загальної кількості можливих комбінацій позицій:

$$P_1 = \frac{M_g}{M_{FH} M_{SC}}. \quad (1)$$

Для багатоканальних приймачів з K каналами, що працюють паралельно, ймовірність виявлення сигналу за одне сканування буде відрізнятись. В першу чергу, обернено пропорційно до K зміниться кількість позицій сканування, тобто буде дорівнювати M_{SC} / K . Зміниться також і кількість позицій передавача і приймача, які співпадають, але ця зміна вже не буде пропорційною до K . Введемо коефіцієнт $\gamma = \Delta f_{FH} / \Delta f_{SC}$, що є співвідношенням ширини смуг одного стрибка сигналу та одного сканування приймача. За результатами комбінаторних досліджень встановлено, що з точністю не гірше 0.05 шукана ймовірність буде знаходитися в межах:

$$\frac{K + \gamma - 2}{\gamma} \times \frac{M_g}{M_{FH} M_{SC}} < P_1 \leq \frac{K + \gamma - 1}{\gamma} \times \frac{M_g}{M_{FH} M_{SC}}, \text{ де } K < M_{SC}. \quad (2)$$

Для визначення ймовірності виявлення сигналу можна користуватися лише верхньою межею оцінки (2), яка точно співпадає з виразом для одноканального приймача.

Даний вираз використовується у разі, якщо кількість паралельних каналів приймача менша ніж число спільних частотних позицій приймача та передавача ($K < M_g$).

У типовому випадку сканування за допомогою пошукового приймача час перебування передавача на одній частотній позиції більший часу затримки на одній частотній позиції пошукового приймача ($T_d < T_h$). Іншими словами, з однією і тією ж частотною позицією сигналу можуть співпадати декілька частотних позицій сканування пошукового приймача. При цьому розглянемо окремі випадки:

1. Частотний діапазон передавача ΔF_{FH} (містить M_{FH} частотних позицій) не менший, ніж частотний діапазон приймача ΔF_{SC} (містить M_{SC} частотних позицій) та перекриває останній повністю (рис. 2б, 2г). Можна показати, що в цьому разі $M_g = M_{SC}$, а вираз (2) набуває наступного вигляду:

$$P_1 = \frac{K + \gamma - 1}{\gamma} \times \frac{1}{M_{FH}}. \quad (3)$$

У випадку використання одноканального приймача вираз (3) матиме наступний вигляд:

$$P_1 = \frac{1}{M_{FH}}. \quad (4)$$

2. Частотний діапазон приймача не перекриває частотний діапазон передавача (рис. 2а, 2в). Тоді загальне число позицій сканування пошукового приймача складається з позицій, які збігаються з можливими позиціями сигналу (M_{SC+}), та які не збігаються (M_{SC-}), $M_{SC} = M_{SC+} + M_{SC-}$. Очевидно, що $M_g = M_{SC+}$. Отже вираз (2) набуває наступного вигляду:

$$P_1 = \frac{K + \gamma - 1}{\gamma} \times \frac{M_{SC+}}{M_{FH} M_{SC}} = \frac{K + \gamma - 1}{\gamma M_{FH}} \times \left(1 - \frac{M_{SC-}}{M_{SC}} \right). \quad (5)$$

Введемо коефіцієнт $\alpha = M_{SC-} / M_{SC}$, який визначає долю частотних позицій сканування пошукового приймача, які не збігаються з частотними позиціями сигналу. Цей коефіцієнт може слугувати мірою апріорних відомостей про сигнал з ППРЧ. Вираз (5) набуває вигляду:

$$P_1 = \frac{K + \gamma - 1}{\gamma M_{FH}} \times (1 - \alpha), \quad (6)$$

а для одноканального пошукового приймача

$$P_1 = \frac{1}{M_{FH}} \times (1 - \alpha). \quad (7)$$

Теоретично коефіцієнт α може приймати значення від 0 (усі позиції сканування розміщені всередині частотного діапазону сигналу з ППРЧ) до 1 (усі позиції сканування розміщені поза частотним діапазоном сигналу з ППРЧ). Проте для випадку, зображеному на рис. 2в, немає змоги розмістити усі частотні позиції сканування всередині частотного діапазону сигналу з ППРЧ, тому нижню межу коефіцієнта α можна оцінити як $1 - \Delta F_{FH} / \Delta F_{SC}$. Для випадку, зображеному на рис. 2а, ця оцінка додатково погіршиться.

Ймовірність перехоплення одиничних сигналів передавача впродовж декількох сканувань.

У випадку, коли час перебування передавача на одній частотній позиції більший часу затримки приймача ($T_d < T_h$), виникає можливість здійснити n вимірювань (рис. 3). Число n залежить від тривалості частотної позиції передавача T_h та часу затримки приймача T_d .

Для визначення середнього значення числа перехоплень \bar{n} за час перебування передавача у одній частотній позиції T_h використовуємо представ-

лення рис. 4.

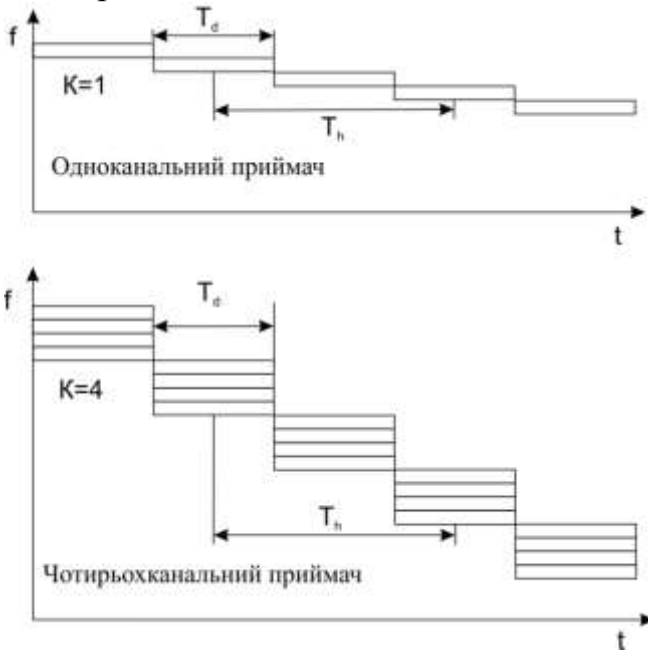


Рис.3. Пошукова послідовність приймача відносно тривалості частотній позиції передавача T_h

На діаграмах (рис. 4а, б) представлено інтервал частотної позиції передавача T_h та частину інтервалу частотної позиції приймача з часом затримки T_d та часом накопичення T_i , який змінюється в двох напрямках по відношенню до T_h . На рис. 4в представлена частина двозначної періодичної функції $n(t)$ по відношенню до T_h . Дана функція описує кількість допустимих спроб перехоплення за час перебування передавача у одній з частотних позиції.

Функцію $n(t)$ отримують

наступним чином. Максимальна кількість допустимих спроб перехоплення в положенні, зображеному на рис. 4а, визначається як $n_{\max} = \lceil T_h / T_d \rceil$, де $\lceil x \rceil$ – ціла частина числа x .

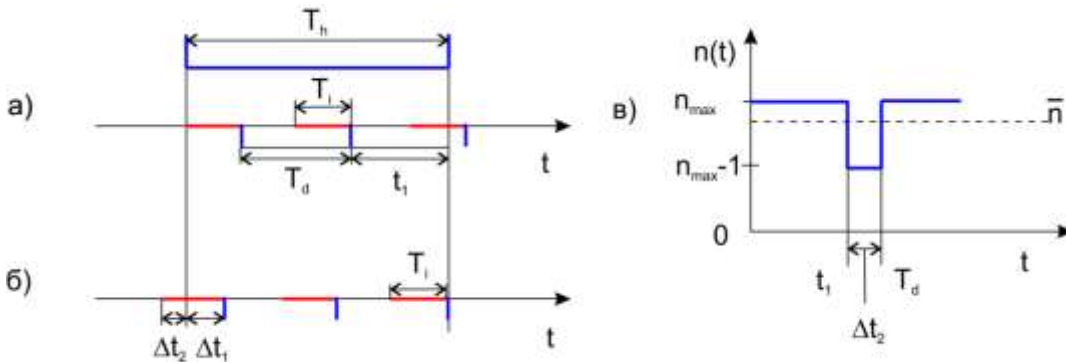


Рис. 4. Часова діаграма передавача та приймача

На рис. 4а тільки один часовий інтервал T_i містить зміну частоти (кінець частотної позиції передавача), отже тільки одна зі спроб є недійсною.

Середня кількість допустимих спроб перехоплення отримана наступним чином. У випадку, коли послідовність приймача зміщується в напрямку осі t , n_{\max} залишається незмінним до того часу, поки не буде досягнуто положення, зображене на рис. 4б, тобто протягом часу t_1 . Зсув послідовності приймача в напрямку t за стан, зображений на рис. 4б, приносить дві невдалі спроби перехоплення. Отже, відбудеться $n_{\max} - 1$ дійсних спроб

перехоплення. Ця ситуація триває до того часу, поки загальне зміщення відповідає періоду затримки T_d , після чого послідовність роботи приймача повертається у початкове положення. Отже $n(t) = n_{\max} - 1$ зберігається протягом часу Δt_2 .

Середнє арифметичне $n(t)$ визначає середнє число дійсних спроб перехоплення:

$$\bar{n} = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} n(t) dt = \frac{n_{\max} t_1 + (n_{\max} - 1) t_2}{T_d}. \quad (8)$$

Підставивши у вираз (8) змінні ($\Delta t_1 = T_h - n_{\max} T_d$, $\Delta t_2 = T_i - \Delta t_1$ та $t_1 = T_d - T_i + \Delta t_1$), отримуємо вираз у наступному вигляді:

$$\bar{n} = \frac{n_{\max} (T_d - T_i + T_h - n_{\max} T_d) + (n_{\max} - 1) (T_i - T_h + n_{\max} T_d)}{T_d} = \frac{T_h - T_i}{T_d}. \quad (9)$$

У процесі пошуку кожна спроба перехоплення приймачем проводиться в різних частотних позиціях. Іншими словами, за час одного стрибка сигналу число спільних частотних позицій передавача і приймача у порівнянні з виразом (1) чи (2) збільшується у \bar{n} разів. Ймовірність перехоплення стрибка з \bar{n} дійсних спроб на інтервалі T_h визначається виразом:

$$P_{1h} = P_1 \times \frac{\bar{n}}{\gamma} = \frac{K + \gamma - 1}{\gamma^2} \times \frac{M_g}{M_{FH} M_{SC}} \times \left(\frac{T_h - T_i}{T_d} \right), \quad (10)$$

чи, з урахуванням коефіцієнту α ,

$$P_{1h} = \frac{K + \gamma - 1}{\gamma^2 M_{FH}} \times (1 - \alpha) \times \left(\frac{T_h - T_i}{T_d} \right). \quad (11)$$

Вирази (10) та (11) мають наступні обмеження:

сигнал може бути виявлений тільки у разі, якщо його тривалість більша, ніж час накопичення сигналу ($T_h / T_i > 1$);

\bar{n} може виявитися більшим за кількість частотних позицій сигналу, тому ймовірність P_{1h} , отримана за виразом (10) чи (11), теоретично може бути більшою 1.

Зі збільшенням тривалості T_h найбільша ймовірність перехоплення $P_{1h\max} \leq 1$ досягається у випадку, коли пошуковий приймач має змогу сканувати всі частотні позиції M_{SC} за один період сканування (тривалість частотної позиції передавача у цьому випадку більша ніж тривалість повного сканування $T_h > T_{SC}$). При подальшому збільшенні T_h ймовірність перехоплення для однієї частотної позиції передавача не збільшується. Отже при $T_h > T_{SC}$ середнє число спроб перехоплення дорівнює $\bar{n} = \frac{M_{SC}}{K}$. Таким чи-

ном, за умови $\alpha = 0$ отримаємо $T_h \leq \frac{M_{SC}}{k} \times T_d + T_i$. Таким чином, отримуємо наступні обмеження:

$$T_i < T_h \leq \frac{M_{SC}}{K} \times T_d + T_i. \quad (12)$$

Максимально досяжна ймовірність перехоплення сигналу з ППРЧ в одній частотній позиції досягається за умови повного перекриття загальної смуги сигналу з ППРЧ смугою сканування пошукового приймача і в загальному випадку буде залежати тільки від коефіцієнта α :

$$P_{lh\max} = 1 - \alpha. \quad (13)$$

Порівняння виразів (11) і (6) показує, що збільшення ймовірності перехоплення може бути досягнуте тільки при достатньо високих швидкостях сканування:

$$n \geq 1 \text{ для } T_d + T_i \leq T_h. \quad (14)$$

Якщо вимога $T_i < T_h$ виконується, а (12) ні, то в середньому протягом часу T_h може бути здійснено менше однієї спроби перехоплення. У цьому випадку ймовірність перехоплення для однієї частотної позиції передавача зменшується відповідно до виразу (11), у порівнянні з виразом (6).

Приклад розрахунку ймовірності перехоплення одиничного сигналу впродовж декількох вимірювань.

Розрахуємо ймовірність виявлення та перехоплення одиничного сигналу радіостанції типу «Акведук» Р-168-0.5УЕ за допомогою аналізатора спектра RSA6114А.

Ймовірність перехоплення одиничного сигналу за одне сканування визначається кількістю частотних позицій передавача та значенням коефіцієнта α .

- Аналізатор спектра RSA6114А [5];
- ширина смуги сканування $\Delta F_{SC} = 40$ МГц;
- швидкість сканування $v_{SC} = 48828$ стр/с;
- тривалість затримки приймача на кожній частотній позиції $T_d = \frac{1}{v_{SC}} \approx 20.5$ мкс;
- використовуючи ідеалізований випадок сканування ($T_{syn} = 0$) час накопичення сигналу приймемо $T_i = T_d - T_{syn} = 20.5$ мкс.

Характеристики Р-168-0.5УЕ «Акведук» [7]:

- ширина смуги робочих частот $\Delta F_{FH} = 78$ МГц;
- крок сітки частот $\Delta f_{FH} = 25$ кГц;

- кількість можливих частотних позицій $M_{FH} = \frac{\Delta F_{FH}}{\Delta f_{FH}} = 3120$;
- швидкість стрибків $v_{FH} = 100$ стр/с;
- тривалість стрибка $T_h = \frac{1}{v_{FH}} = 10$ мс.

Якщо вся смуга сканування знаходиться всередині смуги стрибків сигналу ($\alpha = 0$), тоді

$$P_1 = \frac{1}{M_{FH}} \times (1 - \alpha) = \frac{1}{3120} \approx 0.00032,$$

яка лінійно спадає до $P_1 = 0$ при зростанні α до 1 .

Ймовірність виявлення сигналу за час його перебування в одній частотній позиції дорівнює:

$$P_{1h} = \frac{1}{M_{FH}} \times (1 - \alpha) \times \left(\frac{T_h - T_i}{T_d} \right) = \frac{1}{3120} \times \left(\frac{10000 - 20.5}{20.5} \right) \approx 0.156.$$

Висновки

У статті здійснено аналіз та розширено межі використання методики виявлення сигналів з ППРЧ для випадків, коли смуги частотних позицій приймача та передавача не співпадають.

На основі даної методики здійснено розрахунок ймовірності виявлення одиничного сигналу радіостанції Р-168-0.5УЕ «Акведук» за допомогою аналізатора спектра RSA6114А. Розрахунок показав, що при достатньо високих швидкостях сканування ймовірність перехоплення сигналів передавача значно збільшується. Сучасні аналізатори спектра типу RTSA здатні здійснити перехоплення стрибка сигналу з ймовірністю 15,6% за 10 мс. Цього може бути достатньо для зриву початкової синхронізації (входження), якщо відповідні частоти не оновлювати з часом, а час перехоплення буде складати декілька сотень та навіть десятків мілісекунд.

Таким чином, існує потреба в розробці нових алгоритмів завадозахисту радіоліній з ППРЧ. Першочерговою задачею при цьому вважається завадозахист процедур входження в синхронізм радіоліній та радіомереж з ППРЧ. Тому перспективним напрямком подальших досліджень є пошук (розробка) алгоритмів входження в синхронізм на основі плинної зміни частот входження, коли одержана завадопостановником інформація про номінали частот синхронізації (входження) з часом стає застарілою.

Перелік посилань

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, Н. П. Мухин, В. И. Шестопалов. – М. : РадиоСофт, 2008. – 512 с.

2. Борисов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход / В. И. Борисов, В. М. Зинчук. – М. : Радиософт, 2008. – 260 с.
3. Биленко А.П. Сравнение помехозащищенных радиолиний с широкополосными сигналами / А. П. Биленко, Л. Н. Волков // Радиотехника. – 1986. – № 4. – с. 19-21.
4. Oberbuchner E. SearchReceiver ESMA – The ideal frontend for VHF-UHF monitoring systems // News from Rohde&Schwarz. – 1995. – No. 149. – pp. 7-9.
5. RTSA помагає об'являти підслуховуючі пристрої [Електронний ресурс] // Измерительные приборы и системы. – 2009. – № 4-5(9-10). – с. 92-94. – Режим доступа: <http://general-test.com.ua/articles/15>
6. Höring H.-Ch. Probability of intercept for frequency hop signals using search receivers // News from Rohde&Schwarz. – 1998. – No. 160. – pp. 26-29.
7. Каталог продукции АО концерн «Созвездие» [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sozvezdie.su/catalog/r16805ue>.

References

1. Borisov V.I., Zinchuk V.M., Limarev A.E., Mukhin N.P. and Shestopalov V.I. (2000) *[Pomekhozashchishchennost' sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov metodom psevdosluchainoi perestroiki rabochei chastoty](#)* [Immunity of radio systems to spread spectrum signals by frequency hopping spread spectrum], Moscow, RadioSoft, 512 p.
2. Borisov V. I. and Zinchuk V. M. (2008) *[Pomekhozashchishchennost' sistem radiosvyazi. Veroyatnostno-vremennoi podkhod](#)* [Immunity of radio communication systems. Probabilistic-time approach], Moscow, RadioSoft, 260 p.
3. Bilenko A. P. (1986) Sravnenie pomekhozashchishchennykh radiolinii s shirokopolosnymi signalami [Comparison of anti-interference of radio signals with broad-band]. *Radiotekhnika*, No. 4, pp. 19-21.
4. Oberbuchner E. (1995) SearchvReceiver ESMA – The ideal frontend for VHF-UHF monitoring systems. *News from Rohde&Schwarz*, no. 149, pp. 7-9.
5. (2009) RTSA pomagaet obnaruzhivat' podslushivayushchie ustroystva [RTSA helps to detect of eavesdropping devices]. *Izmeritel'nye pribory i sistemy*, No.4-5, pp. 92-94.
6. Höring Hans-Christoph (1998) Probability of intercept for frequency hop signals using search receivers. *News from Rohde&Schwarz*, No. 160, pp. 26-29.
7. *Product Catalogue of Concern "Constellation"*. Available at: <http://www.sozvezdie.su/catalog/r16805ue>.

Єрохін В. Ф, Рома О. М., Василенко С. В, Бездрабко Д. Є. **Математична модель перехоплення одиничного стрибка сигналу передавача з ППРЧ.** У процесі ведення бойових дій системи та засоби військового радіозв'язку стикаються з низкою проблем по забезпеченню надійного функціонування систем зв'язку. Це пов'язано з складною радіоелектронною обстановкою, що зумовлюється природними і навмисними завадами. Одним з ефективних методів підвищення завадозахищеності радіоліній при впливі навмисних завад є застосування псевдовипадкового переналаштування робочої частоти (ППРЧ). У статті проводиться аналіз відомої методики виявлення сигналів передавача з ППРЧ та розширення меж використання даної методики у випадку, коли смуги частот передавача придушеної СРЗ та скануючого приймача станції РТР не співпадають.

Ключові слова: радіозв'язок, завадозахищеність, псевдовипадкове переналаштування робочої частоти (ППРЧ), пошуковий приймач, аналізатор спектра, ймовірність перехоплення.

Ерохин В. Ф., Рома. А. Н., Василенко С. В., Бездрабко Д. Е. **Математическая модель перехвата одиночного скачка сигнала передатчика с ППРЧ.** В процессе ведения боевых действий системы и средства военной радиосвязи сталкиваются с рядом проблем по обеспечению надежного функционирования систем связи. Это связано со сложной радиоэлектронной обстановкой, что обусловлено природными и преднамеренными помехами. Одним из эффективных методов повышения помехозащищенности радиолиний при воздействии преднамеренных помех является применение псевдослучайной перенастройки рабочей частоты (ППРЧ). В статье проводится анализ известной методики обнаружения сигналов передатчика с ППРЧ и расширение границ использования данной методики в случае, когда полосы частот передатчика подавляемой СРС и сканирующего приемника станции РТР не совпадают.

Ключевые слова: радиосвязь, помехозащищенность, псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ), поисковый приемник, анализатор спектра, вероятность перехвата

V. Yerokhin, O. Roma, S. Vasylenko, D. Bezdrabko. **Mathematical model of intercept single signal hop transmitter with frequency hopping spread spectrum (FHSS).**

Introduction. In the process of warfare the system and radio communications are used in a complex electronic environment. The former is created by the great amount of natural and man-made obstacles. Recently means of radio communication with a FHSS have become more widespread as they provide more reliable connection and protect the signal from obstacles. The effectiveness of hindrance influence on the radio communication system (RCS) with FHSS is achieved by intercepting the signal and determining its parameters. A malefactor obtains these parameters via electronic intelligence station (EIS). The aim of the article is to assess the probability of interception single signal transmitter hops from FHSS using searcher receiver. The subject of the study is a searcher, the product of Rohde & Schwarz (R&S) company, and a spectrum analyzer RTSA, which search for signals from a transmitter with hopping mode.

The probability of intercept for a single signal in a single trial. We consider the probability of intercepting signals of single- and multi-channel transmitter for single frequency hopping in different types of overlapping frequency ranges. For these cases the analytical expressions are presented.

The probability of intercept for a single signal in multiple testing. According to the presented analytical expressions, calculation of the probability of interception of single signal hop when scanning receiver for implementing a hop of more than one dimension is carried out.

Calculating the probability of intercepting a single signal during a few tests. We calculated the probability of signal interception from the station "Aqueduct" with the help of the spectrum analyzer RSA6114A during the test series.

Conclusions. As a result of research we analyzed the limits and expanded use of methods of detection signals FHSS mode for cases where the frequency band of the transmitter and the receiver position are not the same.

Key: radio communication, noise immunity, frequency hopping spread spectrum (FHSS), searcher receiver, spectrum analyzer, probability of intercept.