

Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК [623.611:621.396]:519.876.5

А.П. Волобуєв¹, О.А. Усачова², Д.А. Бухал¹

¹Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИЯВЛЕННЯ СИСТЕМОЮ РАДІОРОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, ЯКА ЗАСТОСОВУЄ ШУМОПОДІБНІ СИГНАЛИ З ЧАСТОТНО-ФАЗОВОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ПСЕВДОВИПАДКОВОЮ ПОСЛІДОВНІСТЮ

У статті розглядається математичне моделювання виявлення системою радіорозвідки противника системи радіозв'язку військового призначення, яка застосовує шумоподібні сигнали з частотно-фазовою модуляцією псевдовипадковою послідовністю. Моделювання здійснюється відповідно до основних положень електродинаміки і теорії антен та базується на апараті тензорного числення з урахуванням особливостей систем радіорозвідки нового покоління та наявністю хибних радіомереж, що дозволяє коректно вирішувати завдання оцінювання рівня радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення, спираючись на запропоновані показники рівня радіомаскування та критерії замаскованості систем радіозв'язку військового призначення.

Ключові слова радіорозвідка, частотно-фазова модуляція, електродинаміка, тензорне числення.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Гібридна війна Російської Федерації проти України [1] та, особливо, її інформаційна складова [2] змушують керівництво Збройних Сил (ЗС) України приділяти значно більше уваги питанням розв'язальної захищеності систем радіозв'язку військового призначення. Але, враховуючи стрімкий розвиток систем радіорозвідки в ЗС провідних країн світу і появу систем радіорозвідки нового покоління [3–4] та відставання України у питаннях створення сучасних розвідзахищених систем радіозв'язку військового призначення, вимоги до яких у світі стали більш жорсткими [5–7], легко бачити невідповідність між наявними спроможностями систем радіозв'язку військового призначення ЗС України щодо боротьби з системами радіорозвідки та спроможностями, які потрібні для боротьби з системами радіорозвідки нового покоління. Тобто не забезпечується необхідний рівень радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення. Надання рекомендацій стосовно боротьби систем радіозв'язку військового призначення з системами радіорозвідки з метою забезпечення необхідного рівня радіомаскування є завданням теорії радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення. Означена мета досягається розв'язанням низки часткових завдань, одним з яких є оцінювання рівня радіомаскування системи радіозв'язку військового призначення в процесі оцінювання радіоелектронної обстановки в

операційному районі [8], що вимагає застосування відповідного методичного апарату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження, пов'язані з розроблянням методичного апарату оцінювання рівня радіомаскування систем (засобів) радіозв'язку військового призначення, в різні часи проводилися такими науковцями як Палій А.І., Сіфоров В.І., Ізюмов Н.М., Вартанесян В.А., Цветнов В.В., Демін В.П., Купріянов А.І., Макаренко С.І., Каневський З.М., Літвіненко В.П., Макаров Г.В. та іншими [9–17]. У відомих публікаціях даних авторів пропонується оцінювання рівня радіомаскування системи (засобу) радіозв'язку військового призначення здійснювати за такими показниками: ймовірність виявлення засобу радіозв'язку за заданий час; математичне сподівання часу виявлення засобу радіозв'язку із заданими параметрами; ймовірність пеленгування засобу радіозв'язку із заданими параметрами; математичне сподівання кількості викритих засобів радіозв'язку; ймовірність спостереження заданої кількості засобів радіозв'язку; ймовірність визначення місцеположення засобу радіозв'язку; ймовірність визначення місцеположення заданої кількості засобів радіозв'язку за заданий час; ймовірність викриття засобу радіозв'язку за заданий час; ймовірність викриття заданої кількості засобів радіозв'язку із заданою вірогідністю за заданий час; умовна ймовірність

прийняття вірного рішення про наявність радіосигналу окремої радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки, за умови, що цей радіосигнал дійсно є; ймовірність контакту у часі засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за умови роботи всіх радіостанцій системи; ймовірність енерго-часового контакту засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за умови роботи всіх радіостанцій системи радіозв'язку; ймовірність викриття системи радіозв'язку військового призначення за час проведення радіорозвідки; ймовірність контакту у часі засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за умови однієї працюючої радіостанції; співвідношення потужності радіосигналу окремої радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки до потужності еквівалентного джерела шуму на вході приймача засобу радіорозвідки; дальність радіорозвідки (в різноманітних частотних діапазонах); ймовірність радіоперехоплення; а також усі вищезгадані показники, віднесені до вартості вирішення цих завдань тощо.

Тобто авторами запропоновано більш ніж два десятки показників. Зазначені показники мають переважно ймовірнісний характер, що пояснюється авторами тими міркуваннями, що приймання радіосигналів систем радіозв'язку військового призначення можливе лише на фоні завад, в умовах змін параметрів операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль та дії інших непередбачуваних факторів. Тому виявлення радіосигналів систем радіозв'язку військового призначення є випадковим, помилки визначення параметрів радіосигналів – випадкові, а висновки та рішення, які радіорозвідка приймає на основі результатів приймання та оброблення радіосигналу, можуть бути помилковими. Але ймовірнісним показникам притаманний суттєвий недолік, а саме, перевірка адекватності аналітичних співвідношень для таких показників вимагає суттєвих обсягів статистичного матеріалу, що далеко не завжди можливо. Крім того, застосування зазначених показників ускладнюється тим фактом, що системи радіорозвідки нового покоління спроможні викривати засоби радіозв'язку майже миттєво з ймовірністю, близькою до одиниці за умови їх розвідувальної доступності [3–4].

Отже, авторами за допомогою різноманітних методів математичного моделювання отримані відповідні аналітичні співвідношення для зазначених показників. Детальний аналіз даних співвідношень дозволяє зробити висновок, що математичні моделі систем радіорозвідки противника, які використовувалися авторами під час отримання аналітичних співвідношень для показників рівня радіомаскування систем (засобів) радіозв'язку військового призначення, не відповідають системам радіорозвідки нового покоління. Зокрема, не враховуються взаємодія космічних, стратосферних, повітряних, наземних та

морських засобів радіорозвідки, що суперечить світовій практиці згідно з [18–19], та сучасні тенденції ведення електронних війн [3; 4; 20], які, зокрема, полягають у набутті спроможностей системами радіорозвідки нового покоління щодо виявлення і перехоплення складних (шумоподібних) радіосигналів (зокрема радіосигналів із частотно-фазовою модуляцією (ЧФМ) псевдовипадковою послідовністю (ПВП)), сигналів малої тривалості та сигналів, які передаються за протоколами маршрутизації пакетів, у реалізації методу однопозиційного виявлення місцеположення. До того ж, у відомих аналітичних співвідношеннях для показників рівня радіомаскування не враховуються координати місцеположення засобів радіозв'язку військового призначення та засобів радіорозвідки противника (як відомі, так і передбачувані), наявність хибних радіомереж.

Таким чином, оцінювання рівня радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення за допомогою відомих аналітичних співвідношень для показників рівня радіомаскування, особливо в умовах високої динаміки обстановки на полі бою та застосування систем радіорозвідки нового покоління, не дозволить отримати коректні оцінки. Насамперед через відсутність у складі відомого методичного апарату оцінювання рівня радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення математичних методів і моделей, спроможних відобразити та врахувати розвідувальні спроможності систем радіорозвідки нового покоління, що обумовлює потребу у розроблянні подібних методів і моделей.

Мета статті полягає в розробці методу математичного моделювання виявлення системи радіозв'язку військового призначення системою радіорозвідки противника, який враховує наявність хибних радіомереж, координати місцеположення засобів радіозв'язку військового призначення та засобів радіорозвідки противника (як відомі, так і передбачувані), спроможність систем радіорозвідки нового покоління виявляти шумоподібні сигнали з ЧФМ ПВП і може бути використаним для вирішення завдання оцінювання рівня радіомаскування системи радіозв'язку військового призначення під час забезпечення необхідного рівня радіомаскування.

Виклад основного матеріалу дослідження

Будемо вважати, що система радіорозвідки нового покоління розгорнута на Q засобах радіорозвідки, а система радіозв'язку військового призначення розгортається на M програмно керованих радіостанціях, що застосовують сигнали з ЧФМ ПВП, та дозволяють програмно управляти режимами їх роботи, наприклад за методикою [21]. Крім того, додатково розгортаються хибні радіомережі на $M_{\text{хиб}}$ хибних радіостанціях.

Всі види засобів радіорозвідки, а саме космічні, стратосферні, повітряні, наземні та морські, працюють як єдина система, що обумовлює необхідність оцінювання розвідувальних доступностей радіостанцій для всіх засобів радіорозвідки, спираючись на координати місць їх розміщення, відомі від своєї розвідки або передбачувані нею.

$$F = \begin{pmatrix} 0 & \left(\frac{\partial}{\partial t} A_1 - \frac{\partial}{\partial x} A_0\right) & \left(\frac{\partial}{\partial t} A_2 - \frac{\partial}{\partial y} A_0\right) & \left(\frac{\partial}{\partial t} A_3 - \frac{\partial}{\partial z} A_0\right) \\ -\left(\frac{\partial}{\partial t} A_1 - \frac{\partial}{\partial x} A_0\right) & 0 & -\left(\frac{\partial}{\partial y} A_1 - \frac{\partial}{\partial x} A_2\right) & \left(\frac{\partial}{\partial x} A_3 - \frac{\partial}{\partial z} A_1\right) \\ -\left(\frac{\partial}{\partial t} A_2 - \frac{\partial}{\partial y} A_0\right) & \left(\frac{\partial}{\partial y} A_1 - \frac{\partial}{\partial x} A_2\right) & 0 & -\left(\frac{\partial}{\partial z} A_2 - \frac{\partial}{\partial y} A_3\right) \\ -\left(\frac{\partial}{\partial t} A_3 - \frac{\partial}{\partial z} A_0\right) & -\left(\frac{\partial}{\partial x} A_3 - \frac{\partial}{\partial z} A_1\right) & \left(\frac{\partial}{\partial z} A_2 - \frac{\partial}{\partial y} A_3\right) & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $(A_0, A_1, A_2, A_3) = \mathbf{A}$ – потенціал електромагнітного поля, створеного радіостанцією.

Сигнали з ЧФМ ПВП утворюються в результаті маніпуляції несучою одночасно за частотою і фазою. Застосування таких сигналів надає змогу створювати великі ансамблі ортогональних сигналів з підвищеною структурною скритністю, відносно просто отримувати великі значення бази сигналу, спроможність перекрити великі діапазони частот, можливість окремого вибору законів модуляції фази і частоти з метою створення сигналів з заданими кореляційними властивостями.

Комплексна огибаюча сигналу з ЧФМ, період якого включає I радіоімпульсів тривалістю T_0 , відносним частотним зсувом кожного такого імпульсу на величину $N_j \Delta f$ та внутрішньо імпульсною фазою маніпуляцією за законом двійкової послідовності можна подати у вигляді [23–24]:

$$J(t) = Jd(t) \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K b_k^j u[t - (k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n] \times \exp\left[i2\pi(N_j - D)\Delta f(t - (k-1)\tau_n - T_0(j-1))\right], \quad (2)$$

де J – амплітуда сигналу ($J = \sqrt{2P}$, P – потужність сигналу);

$$d(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq t \leq T_b; \\ 0 & \text{при } t \notin [0, T_b], \end{cases}$$

T_b – тривалість передавання одного біта інформації;
 K – кількість елементів кодової послідовності на

$$(A_1)_{mq} = \frac{\mu L_{mq}}{4\pi} d(t) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K j_{m_n} b_k^j u[t - (k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n] \times \exp\left[i2\pi(N_j - D)\Delta f_m(t - (k-1)\tau_n - T_0(j-1))\right] \times \frac{\exp\left(-i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} \sqrt{(x_{z_{pq}} - x_{m_n})^2 + (y_{z_{pq}} - y_{m_n})^2 + (z_{z_{pq}} - z_{m_n})^2}\right)}{\sqrt{(x_{z_{pq}} - x_{m_n})^2 + (y_{z_{pq}} - y_{m_n})^2 + (z_{z_{pq}} - z_{m_n})^2}}, \quad (3)$$

В основу методу математичного моделювання покладене положення електродинаміки [22], згідно з яким електромагнітне поле в будь-якій точці простору подається антисиметричним 4-тензором 2 рангу, так званим тензором поля:

тривалість біта інформації ($K = T_b/\tau_n$);

τ_n – тривалість елементу кодової послідовності;

b_k^j – кодова послідовність; $D = (K+1)/2$;

$$u[t - (k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n] =$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{при } [(k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n] \leq t \leq k\tau_n - Kj\tau_n; \\ 0 & \text{при } t < [(k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n], t > k\tau_n - Kj\tau_n, \end{cases}$$

– функція одиничного стрибка;

$N_j \in \overline{1, K}$; $N_s = N_g$ при $s \neq g$ – числова послідов-

ність; $\Delta f = cf_t$ – дискрет частоти (для цілих чисел c); f_t – тактова частота вироблення сигналу генератором тактової частоти.

Тривалість, ширина спектру та база сигналу можуть бути визначені як

$$T = KI\tau_n; F = (1/\tau_n)[1 + D'(I-1)];$$

$$B = 2FT = 2KI[1 + D'(I-1)],$$

де $D' = \Delta f\tau_n$.

Частковими випадками сигналу (2) є ДЧМ сигнал при $K = 1$, та ФМ сигнал при $I = 1$.

Спираючись на [22–25], складові потенціалу електромагнітного поля в реальних (або передбачуваних) місцях знаходження засобів радіорозвідки противника для радіостанцій з антенною решіткою, що застосовують складні (шумоподібні) сигнали з ЧФМ ПВП можна подати таким чином:

$$(A_2)_{mq} = \frac{\mu L_{mq}}{4\pi} d(t) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K j_{m_{ny}} b_k^j u[t - (k-1)\tau_{и} - K(j-1)\tau_{и}] \times \exp[i2\pi(N_j - D)\Delta f_m(t - (k-1)\tau_{и} - T_0(j-1))] \times \exp\left[-i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} \sqrt{(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2}\right] \times \frac{1}{\sqrt{(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2}}, \quad (4)$$

$$(A_3)_{mq} = \frac{\mu L_{mq}}{4\pi} d(t) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K j_{m_{nz}} b_k^j u[t - (k-1)\tau_{и} - K(j-1)\tau_{и}] \times \exp[i2\pi(N_j - D)\Delta f_m(t - (k-1)\tau_{и} - T_0(j-1))] \times \exp\left[-i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} \sqrt{(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2}\right] \times \frac{1}{\sqrt{(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2}}, \quad (5)$$

$$(A_0)_{mq} = \frac{\frac{\partial}{\partial x_{зpq}}(A_1)_{mq} + \frac{\partial}{\partial y_{зpq}}(A_2)_{mq} + \frac{\partial}{\partial z_{зpq}}(A_3)_{mq}}{-i2\pi\varepsilon\mu \sum_{j=1}^I [(N_j - D)\Delta f_m]}, \quad (6)$$

де $((A_0)_{mq}, (A_1)_{mq}, (A_2)_{mq}, (A_3)_{mq}) = \mathbf{A}_{mq}$ – потенціал електромагнітного поля, створеного m -ю радіостанцією в реальному (або передбачуваному) місці знаходження q -го засобу радіорозвідки;

μ – абсолютна магнітна проникність операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль, Гн/м (якщо антена радіостанції знаходиться у повітрі $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

L_{mq} – функція ослаблення електромагнітної хвилі в напрямку від m -ї радіостанції на q -й засіб радіорозвідки;

N – кількість випромінювачів в антенній решітці радіостанції;

$(j_{m_{nx}}, j_{m_{ny}}, j_{m_{nz}})$ – проекції вектору амплітуди щільності електричного струму в n -му випромінювачеві антенної решітки m -ї радіостанції;

$$i = \sqrt{-1};$$

ε – абсолютна діелектрична проникність операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль, ф/м (якщо антена радіостанції знаходиться у повітрі $\varepsilon = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ ф/м);

$(x_{m_n}, y_{m_n}, z_{m_n})$ – координати n -го випромінювача антенної решітки m -ї радіостанції;

$(x_{зpq}, y_{зpq}, z_{зpq})$ – реальні (або передбачувані) координати q -го засобу радіорозвідки.

Умови ведення радіорозвідки зазвичай такі, що засобом радіорозвідки достеменно невідомо, з яким сигналом вони будуть мати справу. Тому єдиною ознакою наявності сигналу на вході приймача засобу радіорозвідки може служити те, в якій ступені потужність цього коливання перевищує потужність власних шумів приймача. Судити про рівень потужності прийнятого коливання можна по її оцінці, сформованій за деякий час спостереження T .

Для вирішення подібних задач застосовується, як відомо [23–24; 26], приймач, оптимальний для виявлення невідомого сигналу лише по оцінці потужності (енергії) процесу, що спостерігається. Цей приймач фільтрує вхідне коливання у визначеній полосі частот, детектує квадратичним детектором та інтегрує за час спостереження T . Нормований до T результат інтегрування – є оцінкою потужності вхідного коливання. Вона порівнюється в компараторі з наперед обраним порогом. Якщо поріг перевищено, то приймається рішення про наявність на вході приймача засобу радіорозвідки корисного сигналу. Таким чином, можна ввести коефіцієнт електромагнітної доступності m -ї радіостанції для q -го засобу радіорозвідки:

$$\Theta_{mq} = \frac{\int_0^T P_{mq}(t) dt}{P_{порq} T}, \quad (7)$$

де $P_{mq}(t)$ – миттєва потужність електромагнітного поля, яке створює m -а радіостанція в місці знаходження q -го засобу радіорозвідки;

$P_{порq}$ – поріг для q -го засобу радіорозвідки.

Як відомо з [22]:

$$P_{mq}(t) = \frac{E_{mq}^2(t) + H_{mq}^2(t)}{4\pi}, \quad (8)$$

де $E(t)$, $H(t)$ – відповідно миттєві напруженості електричного та магнітного полів.

При чому

$$E_{mq}^2(t) = E_{mq_x}^2(t) + E_{mq_y}^2(t) + E_{mq_z}^2(t), \quad (9)$$

$$H_{mq}^2(t) = H_{mq_x}^2(t) + H_{mq_y}^2(t) + H_{mq_z}^2(t), \quad (10)$$

де $(E_{mq_x}(t), E_{mq_y}(t), E_{mq_z}(t))$,

$$\Theta_{mq} = \frac{\int_0^T (F_{mq01}^2(t) + F_{mq02}^2(t) + F_{mq03}^2(t) + F_{mq32}^2(t) + F_{mq13}^2(t) + F_{mq21}^2(t)) dt}{4\pi P_{порq} T}, \quad (11)$$

або через потенціал електромагнітного поля

$$\Theta_{mq} = \frac{1}{4\pi P_{порq} T} \int_0^T \left[\left(\frac{\partial}{\partial t}(A_1)_{mq} - \frac{\partial}{\partial x_{зpq}}(A_0)_{mq} \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial t}(A_2)_{mq} - \frac{\partial}{\partial y_{зpq}}(A_0)_{mq} \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial t}(A_3)_{mq} - \frac{\partial}{\partial z_{зpq}}(A_0)_{mq} \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial z_{зpq}}(A_2)_{mq} - \frac{\partial}{\partial y_{зpq}}(A_3)_{mq} \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial x_{зpq}}(A_3)_{mq} - \frac{\partial}{\partial z_{зpq}}(A_1)_{mq} \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y_{зpq}}(A_1)_{mq} - \frac{\partial}{\partial x_{зpq}}(A_2)_{mq} \right)^2 \right] dt. \quad (12)$$

Враховуючи (2–6), складові коефіцієнту електромагнітної доступності m -ї радіостанції для q -го засобу радіорозвідки матимуть такий вигляд (на-

$(H_{mq_x}(t), H_{mq_y}(t), H_{mq_z}(t))$ – відповідно проекції миттєвих напруженостей електричного та магнітного полів в обраній системі координат.

Зазначені проекції є компонентами тензору електромагнітного поля (1), що дозволяє подати коефіцієнт електромагнітної доступності m -ї радіостанції для q -го засобу радіорозвідки так:

приклад для $F_{mq01}(t) = \frac{\partial}{\partial t}(A_1)_{mq} - \frac{\partial}{\partial x_{зpq}}(A_0)_{mq}$,

решта складових розраховується аналогічно):

$$\frac{\partial}{\partial t}(A_1)_{mq} = \frac{\mu L_{mq}}{4\pi} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K \exp \left[i2\pi(N_j - D)\Delta f_m(t - (k-1)\tau_n - T_0(j-1)) \right] \times \\ \times i2\pi j_{m_{n_x}} b_k^j u \left[t - (k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n \right] (N_j - D)\Delta f_m \times \\ \times \frac{\exp \left(-i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} \sqrt{(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2} \right)}{\sqrt{(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2}}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_{зpq}}(A_0)_{mq} = \frac{1}{-i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \varepsilon\mu} \frac{\partial}{\partial x_{зpq}} \left(\frac{\partial}{\partial x_{зpq}}(A_1)_{mq} + \frac{\partial}{\partial y_{зpq}}(A_2)_{mq} + \frac{\partial}{\partial z_{зpq}}(A_3)_{mq} \right), \quad (14)$$

де

$$\frac{\partial}{\partial x_{зpq}} \left(\frac{\partial}{\partial x_{зpq}}(A_1)_{mq} \right) = \frac{\mu L_{mq}}{4\pi} d(t) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K j_{m_{n_x}} b_k^j u \left[t - (k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n \right] \times \\ \times \exp \left[i2\pi(N_j - D)\Delta f_m(t - (k-1)\tau_n - T_0(j-1)) \right] \times \\ \times \exp \left(-i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} \sqrt{(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2} \right) \times \\ \times \left\{ \frac{3(x_{зpq} - x_{m_n})^2}{\left[(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2 \right]^{\frac{5}{2}}} - \frac{1 - 4\pi^2((N_j - D)\Delta f_m)^2 \varepsilon\mu (x_{зpq} - x_{m_n})^2}{\left[(x_{зpq} - x_{m_n})^2 + (y_{зpq} - y_{m_n})^2 + (z_{зpq} - z_{m_n})^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\} +$$

$$+ \left. \frac{i6\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} (x_{zpq} - x_{m_n})^2}{\left[(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2 \right]^2} - \frac{i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu}}{\left[(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2 \right]^2} \right\}, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_{zpq}} \left(\frac{\partial}{\partial y_{zpq}} (A_2)_{mq} \right) &= \frac{\mu L_{mq}}{4\pi} d(t) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K j_{m_{ny}} b_k^j u [t - (k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n] \times \\ &\quad \times \exp [i2\pi(N_j - D)\Delta f_m (t - (k-1)\tau_n - T_0(j-1))] \times \\ &\quad \times \exp \left(-i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} \sqrt{(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2} \right) \times \\ &\quad \times \left\{ \frac{3(x_{zpq} - x_{m_n})(y_{zpq} - y_{m_n})}{\left[(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2 \right]^{\frac{5}{2}}} - \frac{4\pi^2 ((N_j - D)\Delta f_m)^2 \varepsilon\mu (x_{zpq} - x_{m_n})(y_{zpq} - y_{m_n})}{\left[(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2 \right]^{\frac{3}{2}}} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{i6\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} (x_{zpq} - x_{m_n})(y_{zpq} - y_{m_n})}{\left[(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2 \right]^2} \right\}, \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_{zpq}} \left(\frac{\partial}{\partial z_{zpq}} (A_3)_{mq} \right) &= \frac{\mu L_{mq}}{4\pi} d(t) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K j_{m_{nz}} b_k^j u [t - (k-1)\tau_n - K(j-1)\tau_n] \times \\ &\quad \times \exp [i2\pi(N_j - D)\Delta f_m (t - (k-1)\tau_n - T_0(j-1))] \times \\ &\quad \times \exp \left(-i2\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} \sqrt{(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2} \right) \times \\ &\quad \times \left\{ \frac{3(x_{zpq} - x_{m_n})(z_{zpq} - z_{m_n})}{\left[(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2 \right]^{\frac{5}{2}}} - \frac{4\pi^2 ((N_j - D)\Delta f_m)^2 \varepsilon\mu (x_{zpq} - x_{m_n})(z_{zpq} - z_{m_n})}{\left[(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2 \right]^{\frac{3}{2}}} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{i6\pi(N_j - D)\Delta f_m \sqrt{\varepsilon\mu} (x_{zpq} - x_{m_n})(z_{zpq} - z_{m_n})}{\left[(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2 \right]^2} \right\}. \quad (17) \end{aligned}$$

Для радіостанцій, які застосовують сигнали з ЧФМ ПВП, приймемо такий критерій замаскованості:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{mq} < 1 \\ \tau_m / \tau_{zpq} < 1 \\ f_{m\phi m} / f_{пор\phi m} < 1 \\ f_{m_{дчм}} / f_{пор_{дчм}} < 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

де τ_m – тривалість роботи на передачу m -ї радіостанції; τ_{zpq} – час реакції q -го засобу радіорозвідки; $f_{m_{дчм}}$ – тактова частота ПВП, яка модулює частоту сигналу m -ї радіостанції; $f_{пор_{дчм}}$ – порогове значення тактової частоти ПВП, яка модулює частоту сигналу радіостанції, вище якого q -й засіб радіорозвідки не спроможний виявляти роботу радіоста-

ній, що працюють в режимі ДЧМ ПВП; $f_{m_{\text{ФМ}}}$ – тактова частота ПВП, яка модулює фазу сигналу m -ї радіостанції; $f_{\text{пор}_{\text{ЧФМ}}}$ – порогове значення тактової частоти ПВП, яка модулює фазу сигналу радіостанції, вище якого q -й засіб радіорозвідки не спроможний виявляти роботу радіостанцій, які працюють в режимі ФМ ПВП.

Якщо умови (18) не виконуються одночасно для трьох різних засобів радіорозвідки, то радіостанція вважається незамаскованою, що пов'язано з потребою у трьох пеленгах на радіостанцію для визначення її місцеположення системою радіорозвідки. В окремих випадках, зокрема для КХ радіостанцій та наявності в системі радіорозвідки противника засобів радіорозвідки, спроможних реалізувати метод однопозиційного визначення місцеположення, достатньо невиконання умов (18) для одного засобу радіорозвідки.

Таким чином, застосовуючи запропонований критерій (18) можна оцінити кількість замаскованих радіостанцій в системі радіозв'язку військового призначення $M_{\text{зм}}$. При цьому рівень радіомаскування системи радіозв'язку військового призначення для системи радіорозвідки противника пропонується оцінювати за показником розвідувальної доступності, а саме:

$$R = \frac{M_{\text{зм}} + M_{\text{хиб}}}{M} 100\%, \quad (19)$$

де $M_{\text{хиб}}$ – кількість хибних радіостанцій, які розгортаються з метою радіомаскування поза межами загальної кількості радіостанцій в системі радіозв'язку M .

Висновки з дослідження і перспективи подальших досліджень у цьому напрямку

Запропонований метод математичного моделювання дозволяє оцінити рівень радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення, які застосовують шумоподібні сигнали з ЧФМ ПВП, з урахуванням розвідувальних спроможностей систем радіорозвідки нового покоління, координат місцеположення засобів радіозв'язку військового призначення та засобів радіорозвідки противника (як відомих так і передбачуваних), параметрів шумоподібних сигналів з ЧФМ ПВП та наявності хибних радіомереж. В майбутніх роботах доцільно зосередити зусилля на проблемах математичного моделювання виявлення системами радіорозвідки нового покоління систем радіозв'язку військового призначення, що застосовують інші види шумоподібних сигналів.

Список літератури

1. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 19-25.
2. Певцов Г.В. Реалізація підходів інформаційної війни Російською Федерацією в сучасному інформаційному просторі України / Г.В. Певцов, С.В. Залкін, С.О. Сідченко, К.І. Хударковський, А.М. Гордієнко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 2. – С. 10-13.
3. Меньшаков Ю.К. Виды и средства иностранных технических разведок: учебное пособие [Текст] / под ред. М.П. Сычева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. – 656 с.
4. Оружие и технологии России: энциклопедия. XXI век в 13 т. [Текст] / под ред. зам. пред. прав-ва РФ Министра обороны РФ С. Иванова. – М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2006. – Т. XIII: Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы. – 695 с.
5. Joint Tactical Radio System. Operational requirements document. Version 3.2. – USA: United States Department of Defense, Joint requirements oversight council (JROC), 2003. – 146 p.
6. Saarnisaari H. Future military mobile radio communication systems from electronic warfare perspective / Harri Saarnisaari; Timo Bräysy // International Conference on Military Communications and Information Systems (Oulu, Finland): IEEE, 2017. – P.1-8. – doi: 10.1109/ICMCIS.2017.7956494.
7. Huchton S. Secure mobile distributed file system: Thesis / Scott Huchton. – Monterey, California, USA: Naval post-graduate school, 2011. – 43 p.
8. Лупандін В.А. Основні особливості щодо розроблення інформаційно-розрахункових задач з оцінювання радіоелектронної обстановки в інтересах Повітряних Сил ЗС України / В.А. Лупандін, С.В. Закіров, А.О. Феклістов, О.В. Сторожук, А.Г. Леушин // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУНС, 2017. – Вип. 3(149). – С. 19-23.
9. Цветнов В.В. Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита [Текст] / В.В. Цветнов, В.П. Демин, А.И. Куприянов. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 240 с.
10. Макаренко С.И. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты [Текст]: монография / С.И. Макаренко, М.С. Иванов, С.А. Попов. – СПб.: Свое изд-во, 2013. – 166 с.
11. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба (средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем) [Текст] / А.И. Палий. – М.: Воениздат, 1981. – 320 с.
12. Цветнов В.В. Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие [Текст] / В.В. Цветнов, В.П. Демин, А.И. Куприянов. – М.: Изд-во МАИ, 1998. – 248 с.

13. Варганесян В.А. Радиозлектронная разведка [Текст] / В.А. Варганесян. – М.: Воениздат, 1975. – 255 с.
14. Варганесян В.А. Радиопеленгация [Текст] / В.А. Варганесян, Э.Ш. Гойхман, М.И. Рогаткин. – М.: Воениздат, 1966. – 248 с.
15. Куприянов А.И. Теоретические основы радиозлектронной борьбы [Текст] / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
16. Курочкин П.М. и др. Основы радиопротиводействия [Текст]: учебник для слушателей ВВНЗ СВ / П.М. Курочкин, А.И. Химченко, И.В. Дьяков и др. – М.: Воен. акад. им. М. В. Фрунзе, 1962. – 268 с.
17. Каневский З.М. Теория скрытности. Часть 1. Основы теории скрытности: учеб. пособие. [Текст] / З.М. Каневский, В.П. Литвиненко, Г.В. Макаров. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 92 с.
18. AMSP-01(8) – NATO modelling and simulation standards profile. Edition (B). Version 1. – Brussels, Belgium: NATO standardization agency (NSA), 2012. – 124 p.
19. Tolk A. Engineering principles of combat modeling and distributed simulation / Andreas Tolk. – New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012. – 888 p.
20. Adamy D. Introduction to electronic warfare modeling and simulation / David L. Adamy. – Boston, USA: Artech house, Inc., 2003. – 228 p.
21. Шишацкий А.В. Методика управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку / А.В. Шишацкий, О.Г. Жук, Р.М. Животовський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 2. – С. 135-137.
22. Ландау Л.Д. Краткий курс теоретической физики в 3 кн. Кн.1: Механика. Электродинамика [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука: Глав. ред. физ.-мат. лит., 1969. – 271 с.
23. Тузов Г.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами [Текст] / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др.; под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
24. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью [Текст] / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, Н.П. Мухин, Г.С. Нахмансон; под ред. В.И. Борисова. – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.
25. Зелкин Е.Г. Методы синтеза антенн: Фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрытием [Текст] / Е.Г. Зелкин, В.Г. Соколов. – М.: Сов. радио, 1980. – 296 с.
26. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами [Текст] / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

References

1. Alimpiyev, A.M. and Pevtsov, G.V. (2017), "Osoblyvosti hibrydnoyi viyny RF proty Ukrayiny. Dosvid, otrymanyi Povitryanymy Sylamy Zbroynykh Syl Ukrayiny" [The features of the hybrid war of the Russian Federation against Ukraine. Experience received by the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2, pp. 19-25.
2. Pyevtsov, H.V., Zalkin, S.V., Sidchenko, S.O., Khudarkovskyy, K.I. and Hordiyenko, A.M. (2014), "Realizatsiya pidkhodiv informatsiynoyi viyny Rosiys'koyu Federatsiyeyu v suchasnomu informatsiynomu prostori Ukrayiny" [Realization of approaches of information war of Russian Federation in the modern information space of Ukraine], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2, pp. 10-13.
3. Men'shakov, Yu. K. and Sychev, M.P. (2009), "Vidy i sredstva inostrannykh tekhnicheskikh razvedok" [Kinds and means of foreign technical intelligences], Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, Moscow, 656 p.
4. Ivanov, S. (2006), "Oruzhie i tehnologii Rossii: entsiklopediya. XXI vek v 13t. T. XIII: Sistemy upravleniya, svyazi i radioelektronnoy borby" [Arms and Technologies of Russia: encyclopedia. XXI Century in 13 t. T. XIII: Command, control, communication and electronic warfar system], Izd. dom "Oruzhie i tehnologii", Moscow, 695 p.
5. (2003), *Joint Tactical Radio System. Operational requirements document. Version 3.2.*, USA: United States Department of Defense, Joint requirements oversight council (JROC), 146 p.
6. Saarnisaari, H. and Bräysy, T. (2007), Future military mobile radio communication systems from electronic warfare perspective, *International Conference on Military Communications and Information Systems* (Oulu, Finland): IEEE, pp. 1-8. – doi: 10.1109/ICMCIS.2017.7956494.
7. Huchton, S. (2011), *Secure mobile distributed file system: Thesis*, Naval postgraduate school, Monterey, USA, 43 p.
8. Lupandin, V.A., Zakirov, S.V., Feklistov, A.O. Storozhuk, O.V. and Leushyn, A.H. (2017), "Osnovni osoblyvosti rozrobky informatsiyno-rozrakhunkovykh zadach z otsinky radioelektronnoyi obstanovky v interesakh Povitryanykh Syl ZS Ukrayiny" [The main features of development information and analytical tasks for the assessment of radioelectronic situation for the Air Forces of Ukraine], *Information Processing Systems*, No. 3(149), pp. 19-23.
9. Tsvetnov, V.V., Demin, V.P. and Kupriyanov, A.I. (1999), "Radioelektronnaya borba: radiomaskirovka i pomehozaschita" [Electronic warfare: radio camouflage and immunity], Izd-vo MAI, Moscow, 240 p.
10. Makarenko, S.I., Ivanov, M.S. and Popov, S.A. (2013), "Pomehozaschishchennost sistem svyazi s psevdosluchaynoy perestroykoy rabochey chastoty" [Noise immunity of the communication system with pseudorandom frequency hopping], Svoe izd-vo, Sankt-Peterburg, 166 p.
11. Paliy, A.I. (1981), "Radioelektronnaya borba (sredstva i sposobyi podavleniya i zaschityi radioelektronnykh sistem)" [Electronic warfare (the means and methods of jamming and protection of radioelectronic systems)], Voenizdat, Moscow, 320 p.

12. Tsvetnov, V.V., Demin, V.P. and Kupriyanov, A.I. (1998), "Radioelektronnaya borba: radiatorazvedka i radio-?rotivodeystvie" [Electronic warfare: signal intelligence and radio counteraction], Izd-vo MAI, Moscow, 248 p.
13. Vartanesyan, V.A. (1975), "Radioelektronnaya razvedka" [Signal intelligence], Voenizdat, Moscow, 255 p.
14. Vartanesyan, V.A., Goyhman, E.Sh. and Rogatkin, M.I. (1966), "Radiopelengatsiya" [Radio direction finding], Voenizdat, Moscow, 248 p.
15. Kupriyanov, A.I. and Saharov, A.V. (2007), "Teoreticheskie osnovyi radioelektronnoy borby" [Theoretical foundations of electronic warfare], Vuzovskaya kniga, Moscow, 356 p.
16. Curochkin, P.M., Himchenko, A.I. and Dyakov, I.V. (1962), "Osnovyi radioprotivodeystviya: Uchebnyk dlya slushateley VVNZ SV" [Basics of radio counteraction], Voen. akad. im. M.V. Frunze, Moscow, 268 p.
17. Kanevskiy, Z.M., Litvinenko, V.P. and Makarov, G.V. (2003), "Teoriya skrytnosti. Chast' 1. Osnovy teorii skrytnosti" [The theory of stealth. Part 1. Fundamentals of the theory of stealth], Voronezh. gos. tekhn. un-t, Voronezh, 92 p.
18. (2012), AMSP-01(8) – NATO modelling and simulation standards profile, Edition (B). Version 1, NATO standardization agency (NSA), Brussels, Belgium, 124 p.
19. Tolk, A. (2012), Engineering principles of combat modeling and distributed simulation, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 888 p.
20. Adamy, D. (2003), Introduction to electronic warfare modeling and simulation, Artech house, Inc., Boston, USA, 228 p.
21. Shishatskiy, A.V., Zhuk, O.G. and Zhivotovsky, R.M. (2016), "Metodyka upravlinnya rezhymamy roboty prohr-?movanykh zasobiv radiozv'yazku" [Method of controlling modes of work programmable radio equipment], Science and Technology of the Air Force of Ukraine, No. 2, pp. 135-137.
22. Landau, L.D. and Lifshic, E.M. (1969) "Kratkiy kurs teoreticheskoy fiziki v 3 kn. Kn.1: Mehanica. Electrodynamic" [Theoretical physics short course in 3 t. T.1: Mechanics. Electrodynamics], Glav. red. phiz-mat. lit-ri, Moscow, 271 p.
23. Tuzov, G.I., Sivova, V.A. and Prytkov, V.I. (1985), "Pomekhozashchishchennost radiosistem so slozhnyimi signalami" [Interference immunity of radio systems with complex signals], Radio and communication, Moscow, 264 p.
24. Borisov, V.I., Zinchuk, V.M., Limarev, A.Ye., Mukhin, N.P. and Nakhmanson, G.S. (2003), "Pomekhozashchishchennost sistem radiosvyazi s rasshireniyem spektra signalov modulyatsiyey nesushchey psevdosluchaynoy posledovatel'nost'yu" [Interference immunity of radiocommunication systems with expansion of the spectrum of signals by modulation of a carrier by pseudo-random sequence], Radio i svyaz', Moscow, 640 p.
25. Zelkin, E.G. and Sokolov, V.G. (1980), "Metodi synteza anten: Phazirovannye antenny reshetki i anteny s neprerivnim raskrivom" [Antennas synthesis methods: Phased-array antennas and continuous antenna aperture], Sov. Radio, Moscow, 296 p.
26. Varakin, L.Ye. (1985), "Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami" [Communication systems with noise-like signals], Radio i svyaz', Moscow, 384 p.

Надійшла до редколегії 12.06.2017

Схвалена до друку 17.08.2017

Відомості про авторів:

Волобуєв Анатолій Петрович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу Центрального
науково-дослідного інституту Збройних Сил України,
Київ, Україна
orcid.org/0000-0001-9415-0736
e-mail: anvolobuiev@gmail.com

Усачова Ольга Анатоліївна

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник Харківського
національного університету Повітряних Сил
ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
orcid.org/0000-0003-0864-5017
e-mail: olusa01062013@gmail.com

Бухал Дмитро Анатолійович

кандидат військових наук
старший науковий співробітник Центрального
науково-дослідного інституту Збройних Сил України,
Київ, Україна
orcid.org/0000-0002-0173-8694
e-mail: voin2002@ukr.net

Information about the authors:

Volobuiev Anatolii

Candidate of Technical Sciences Senior Research,
Chief of Scientific Research Department of Central Research
Institute of Armed Forces of Ukraine,
Kiev, Ukraine
orcid.org/0000-0001-9415-0736
e-mail: anvolobuiev@gmail.com

Usahova Olga

Candidate of Technical Sciences Senior Research,
Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
orcid.org/0000-0003-0864-5017
e-mail: olusa01062013@gmail.com

Bukhal Dmitriy

Candidate of Military Sciences,
Senior Research Associate of Central Research Institute
of Armed Forces of Ukraine,
Kiev, Ukraine
orcid.org/0000-0002-0173-8694
e-mail: voin2002@ukr.net

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБНАРУЖЕНИЯ СИСТЕМОЙ РАДИОРАЗВЕДКИ ПРОТИВНИКА СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, КОТОРАЯ ПРИМЕНЯЕТ ШУМОПОДОБНЫЕ СИГНАЛЫ С ЧАСТОТНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ

А.П. Волобуев, О.А. Усачева, Д.А. Бухал

В статье рассматривается математическое моделирование обнаружение системой радиоразведки противника системы радиосвязи военного назначения, которая применяет шумоподобные сигналы с частотно-фазовой модуляцией псевдослучайной последовательностью. Моделирование осуществляется в соответствии с основными положениями электродинамики и теории антенн, и базируется на аппарате тензорного исчисления с учетом особенностей систем радиоразведки нового поколения и наличием ложных радиосетей, что позволяет корректно решать задачу оценивания уровня радиомаскировки систем радиосвязи военного назначения, опираясь на предложенные показатели уровня радиомаскировки та критерии замаскированности систем радиосвязи военного назначения.

Ключевые слова: радиоразведка, частотно-фазовая модуляция, электродинамика, тензорное исчисление.

**MATHEMATICAL MODELLING OF TACTICAL RADIO SYSTEM
(WITH FREQUENCY-PHASE-CODED BY PSEUDORANDOM SEQUENCE NOISE-LIKE SIGNALS)
DETECTION BY ADVERSARY SIGNAL INTELLIGENCE**

A. Volobuev, O. Usahova, D. Bukhal

In the paper mathematical modelling of tactical radio system (with frequency-phase-coded by pseudorandom sequence noise-like signals) detection by adversary signal intelligence was took up. In military operations adversary signal intelligence have tried to detect, classify and locate the transmitters of tactical radio system. As a consequence, the communicator has developed countermeasures to prevent these hostile actions. One sort of this countermeasures is radiodisguise. But new generation signal intelligence features came into the leading country armies and now UA tactical radio system potentialities of fighting with the signal intelligence features is not enough. Analysis of existing tactical radio system radiodisguise level indices, the indices functional dependences and mathematical models for finding the functional dependences was conducted. The mathematical models and the indices faults was detected. New tactical radio system radiodisguise level index was offered. Method of mathematical modelling of tactical radio system (with frequency-phase-coded by pseudorandom sequence noise-like signals) detection by adversary signal intelligence for the index was created. The method was developed on the basis classical electrodynamics, theory of antennas, tensor calculus and with respect to the new generation signal intelligence features potentialities. The method is for tactical radio radiodisguise level evaluation mission during required the level achieving.

Keywords: radio exploration, frequency-phase modulation, elecrodynamics, tensor number.