

УДК [623.611:621.396]:519.876.5

Анатолій Петрович Волобуєв

Дмитро Анатолійович Бухал

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИЯВЛЕННЯ СИСТЕМОЮ РАДІОРОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, ЯКА ЗАСТОСОВУЄ ШУМОПОДІБНІ СИГНАЛИ З ДИСКРЕТНОЮ ЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ПСЕВДОВИПАДКОВОЮ ПОСЛІДОВНІСТЮ

У статті запропоновано метод математичного моделювання виявлення системою радіорозвідки систем радіозв'язку військового призначення, які застосовують шумоподібні сигнали з дискретною частотною модуляцією псевдовипадковою послідовністю. Зазначена задача математичного моделювання вирішується в інтересах оцінювання рівня радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення відносно до систем радіорозвідки нового покоління провідних країн світу, яким притаманні суттєво ширші розвідувальні спроможності. Застосовуючи апарат тензорного числення для моделювання, вдалося покласти в основу оцінювання рівня радіомаскування підходи, притаманні електродинаміці, і забезпечити прийнятну адекватність моделі виявлення. Крім того, наряду з радіостанціями, які застосовують шумоподібні сигнали дискретною частотною модуляцією псевдовипадковою послідовністю, під час моделювання розглянуто розгортання хибних радіомереж в інтересах забезпечення необхідного рівня радіомаскування системи радіозв'язку військового призначення.

**Ключові слова:** система радіорозвідки, система радіозв'язку військового призначення, математичне моделювання, електромагнітне поле, рівень радіомаскування, шумоподібні сигнали.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Стрімкий розвиток систем радіорозвідки в збройних силах розвинутих у воєнному відношенні країн світу і появу систем радіорозвідки нового покоління [1-2] та відставання України у питаннях створення сучасних розвідуваних систем радіозв'язку військового призначення, викликав невідповідність між наявними спроможностями систем радіозв'язку військового призначення 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, що вимагає застосування відповідного методичного апарату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, пов'язані з розробленням 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., Варганєв 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 [3-11]. У відомих публікаціях даних авторів пропонується оцінювання рівня

радіомаскування системи (засобу) радіозв'язку військового призначення здійснювати за більш ніж двадцятьма ймовірнісними показниками, такими як ймовірність виявлення засобу радіозв'язку за заданий час; математичне очікування часу виявлення засобу радіозв'язку із заданими параметрами; ймовірність пеленгування засобу радіозв'язку із заданими параметрами тощо. До появи систем радіорозвідки нового покоління застосування даних показників можна вважати обґрунтованим, тому 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, а системи радіорозвідки нового покоління набули спроможностей щодо викриття засобів радіозв'язку майже миттєво з ймовірністю близькою до одиниці за умови їх розвідувальної доступності [1].

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 враховується той факт, що всі види сучасних засобів радіорозвідки, а саме космічні, стратосферні, повітряні, наземні та морські, працюють як єдина система радіорозвідки, що дозволяє забезпечити безпрецедентну розвідувальну доступність систем радіозв'язку військового призначення. Зазначеним системам притаманний також високий рівень автоматизації, використання сучасної високопродуктивної розвідувальної радіоелектронної апаратури (підвищеної чутливості) та програмного забезпечення. Системи радіорозвідки нового покоління набули спроможності щодо виявлення і перехоплення складних (шумоподібних) радіосигналів (зокрема радіосигналів із дискретною частотною модуляцією (ДЧМ) псевдовипадковою послідовністю (ПВП)), сигналів малої тривалості та сигналів які передаються за протоколами маршрутизації пакетів. Реалізовано метод 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 методів математичного і математичних моделей, спроможних відобразити та врахувати розвідувальні спроможності

систем радіорозвідки нового покоління, що обумовлює потребу у розроблянні подібних методів і моделей.

**Мета** статті полягає в розроблянні 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 ДЧМ ПВП і може бути використаним для вирішення завдання оцінювання рівня радіомаскування системи радіозв'язку військового призначення під час забезпечення необхідного рівня радіомаскування.

### Методи дослідження

У ході дослідження були застосовані основні положення математичного апарату тензорного числення на основі теорії електродинаміки та теорії зв'язку.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Будемо вважати, що система радіорозвідки нового покоління розгорнута на  $Q$  засобах радіорозвідки, а система радіозв'язку військового призначення розгортається на  $M$  радіостанціях, що застосовують сигнали з ДЧМ ПВП. 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.

В основу методу математичного моделювання покладене положення електродинаміки [12], згідно з яким електромагнітне поле в будь-якій точці простору подається антисиметричним 4-тензором 2 рангу, так званим тензором поля:

$$F = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{c} \frac{\partial A_1}{\partial t} - \frac{1}{r_x} A_0 & \frac{1}{c} \frac{\partial A_2}{\partial t} - \frac{1}{r_y} A_0 & \frac{1}{c} \frac{\partial A_3}{\partial t} - \frac{1}{r_z} A_0 \\ \frac{1}{c} \frac{\partial A_1}{\partial t} - \frac{1}{r_x} A_0 & 0 & -\frac{1}{c} \frac{\partial A_1}{\partial t} - \frac{1}{r_x} A_2 & \frac{1}{c} \frac{\partial A_1}{\partial t} - \frac{1}{r_x} A_3 \\ \frac{1}{c} \frac{\partial A_2}{\partial t} - \frac{1}{r_y} A_0 & -\frac{1}{c} \frac{\partial A_1}{\partial t} - \frac{1}{r_x} A_2 & 0 & -\frac{1}{c} \frac{\partial A_2}{\partial t} - \frac{1}{r_y} A_3 \\ \frac{1}{c} \frac{\partial A_3}{\partial t} - \frac{1}{r_z} A_0 & \frac{1}{c} \frac{\partial A_1}{\partial t} - \frac{1}{r_x} A_3 & -\frac{1}{c} \frac{\partial A_2}{\partial t} - \frac{1}{r_y} A_3 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

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

Сигнали з ДЧМ ПВП утворюються в результаті стрибкоподібної зміни несучої частоти за законом деякої періодичної числової послідовності при

$$J(t) = Jd(t) \prod_{k=1}^K u \dot{\xi} - (k-1)t_u \dot{\xi} \exp \dot{\xi} 2p(f_0 + (N_k - D)Df)t + y_0 \dot{\xi}, \quad 0 \leq t \leq Kt_u, \quad (2)$$

незмінних амплітуді та кроці квантування за частотою і часом. Вираз, що описує один період  $[0, T]$  сигналу з ДЧМ ПВП та відсутністю стрибків фази в моменти переключення частоти можна подати у вигляді [13,14]:

де  $J$  – амплітуда сигналу ( $J = \sqrt{2P}$ ,  
 $P$  – потужність сигналу);  
 $d(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq t \leq T_b \\ 0 & \text{при } t \in [0, T_b] \end{cases}$ ;  
 $T_b$  – тривалість передавання одного біта інформації;  
 $K$  – кількість елементів кодової послідовності на тривалість біта інформації ( $K = T_b/t_u$ );  
 $t_u$  – тривалість елемента кодової послідовності;  
 $u_{\xi} - (k-1)t_u = \begin{cases} 1 & \text{при } (k-1)t_u \leq t \leq kt_u \\ 0 & \text{при } t < (k-1)t_u, t > kt_u \end{cases}$  – функція одиничного стрибка;  
 $f_0 = sf_t$  (для цілих чисел  $s$ ) – несуча частота;

$f_t$  – тактова частота вироблення сигналу генератором тактової частоти;  
 $Df = cf_t$  – дискрет частоти (для цілих чисел  $c$ );  
 $N_k \in \overline{1, K}$ ;  $N_s = N_g$  при  $s = 1$  – число послідовність;  
 $D = (K+1)/2$ ;  
 $y_0$  – початкова фаза сигналу ( $y_0 \in [0, 2\pi]$ ).

Спираючись на [12-15], складові потенціалу електромагнітного поля в реальних (або передбачуваних) місцях знаходження засобів радіорозвідки противника для радіостанцій з антенною решіткою, що застосовують складні (шумоподібні) сигнали з ДЧМ ПВП можна подати таким чином:

$$(A_1)_{mq} = \frac{mL_{mq}}{4\rho} \prod_{n=0}^{N-1} \prod_{k=1}^K j_{m_{n_x}} u_{\xi} - (k-1)t_u \exp \left\{ i2\pi \left( f_{0_m} + (N_k - D)Df_m \right) t + y_{0_{m_{n_x}}} \right\} \cdot \frac{\exp \left\{ i2\pi \left( f_{0_m} + (N_k - D)Df_m \right) \sqrt{em} \sqrt{(x_{z_{p_q}} - x_{m_n})^2 + (y_{z_{p_q}} - y_{m_n})^2 + (z_{z_{p_q}} - z_{m_n})^2} \right\}}{\sqrt{(x_{z_{p_q}} - x_{m_n})^2 + (y_{z_{p_q}} - y_{m_n})^2 + (z_{z_{p_q}} - z_{m_n})^2}}, \quad (3)$$

$$(A_2)_{mq} = \frac{mL_{mq}}{4\rho} \prod_{n=0}^{N-1} \prod_{k=1}^K j_{m_{n_y}} u_{\xi} - (k-1)t_u \exp \left\{ i2\pi \left( f_{0_m} + (N_k - D)Df_m \right) t + y_{0_{m_{n_y}}} \right\} \cdot \frac{\exp \left\{ i2\pi \left( f_{0_m} + (N_k - D)Df_m \right) \sqrt{em} \sqrt{(x_{z_{p_q}} - x_{m_n})^2 + (y_{z_{p_q}} - y_{m_n})^2 + (z_{z_{p_q}} - z_{m_n})^2} \right\}}{\sqrt{(x_{z_{p_q}} - x_{m_n})^2 + (y_{z_{p_q}} - y_{m_n})^2 + (z_{z_{p_q}} - z_{m_n})^2}}, \quad (4)$$

$$(A_3)_{mq} = \frac{mL_{mq}}{4\rho} \prod_{n=0}^{N-1} \prod_{k=1}^K j_{m_{n_z}} u_{\xi} - (k-1)t_u \exp \left\{ i2\pi \left( f_{0_m} + (N_k - D)Df_m \right) t + y_{0_{m_{n_z}}} \right\} \cdot \frac{\exp \left\{ i2\pi \left( f_{0_m} + (N_k - D)Df_m \right) \sqrt{em} \sqrt{(x_{z_{p_q}} - x_{m_n})^2 + (y_{z_{p_q}} - y_{m_n})^2 + (z_{z_{p_q}} - z_{m_n})^2} \right\}}{\sqrt{(x_{z_{p_q}} - x_{m_n})^2 + (y_{z_{p_q}} - y_{m_n})^2 + (z_{z_{p_q}} - z_{m_n})^2}}, \quad (5)$$

$$(A_0)_{mq} = \frac{\prod_{x_{z_{p_q}}} (A_1)_{mq} + \prod_{y_{z_{p_q}}} (A_2)_{mq} + \prod_{z_{z_{p_q}}} (A_3)_{mq}}{-i2\pi em \prod_{k=1}^K \left( f_{0_m} + (N_k - D)Df_m \right)}$$

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) місті знаходження  $q$ -го засобу радіорозвідки;  
 $m$  – абсолютна магнітна проникність операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль, Гн/м (якщо антена радіостанції знаходиться у повітрі  $m = 4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м);  
 $N$  – кількість випромінювачів в антенній решітці радіостанції;  
 $L_{mq}$  – функція ослаблення електромагнітної хвилі в напрямку від  $m$ -ї радіостанції на  $q$ -й засіб радіорозвідки;

$(j_{m_{n_x}}, j_{m_{n_y}}, j_{m_{n_z}})$  – проекції вектору амплітуди щільності електричного струму в  $n$ -му випромінювачеві антенної решітки  $m$ -ї радіостанції;  
 $i = \sqrt{-1}$ ;  
 $f_{0_m}$  – несуча частота випромінювання  $m$ -ї радіостанції (Гц);  
 $y_{0_{m_{n_x}}}, y_{0_{m_{n_y}}}, y_{0_{m_{n_z}}}$  – проекції вектору початкових фаз щільності електричного струму в  $n$ -му випромінювачеві антенної решітки  $m$ -ї радіостанції;  
 $e$  – абсолютна діелектрична проникність операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль, ф/м (якщо антена радіостанції знаходиться у повітрі  $e = \frac{10^{-9}}{36\rho}$  ф/м);

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

$(x_{zpq}, y_{zpq}, z_{zpq})$  – 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 [13,14,16], 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  $\square$  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:

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

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 [12]

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

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

$(H_{mq_x}(t), H_{mq_y}(t), H_{mq_z}(t))$  – 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:

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

або через потенціал електромагнітного поля

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{mq} = & \frac{1}{4\rho P_{порq} T} \int_0^T \left( \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq}^2} (A_1)_{mq} - \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq} \partial y_{zpq}} (A_0)_{mq} + \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial y_{zpq}^2} (A_2)_{mq} - \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial y_{zpq} \partial z_{zpq}} (A_0)_{mq} + \right. \\ & \left. + \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial z_{zpq}^2} (A_3)_{mq} - \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial z_{zpq} \partial x_{zpq}} (A_0)_{mq} + \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq} \partial y_{zpq}} (A_2)_{mq} - \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial y_{zpq} \partial z_{zpq}} (A_3)_{mq} + \right. \\ & \left. + \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq}^2} (A_3)_{mq} - \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial z_{zpq} \partial x_{zpq}} (A_1)_{mq} + \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq} \partial y_{zpq}} (A_1)_{mq} - \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq} \partial z_{zpq}} (A_2)_{mq} \right) dt \end{aligned} \quad (12)$$

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

(наприклад для  $F_{mq01}(t) = \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq}^2} (A_1)_{mq} - \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq} \partial y_{zpq}} (A_0)_{mq}$ , решта складових розраховується аналогічно):

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq}^2} (A_1)_{mq} = & \frac{mL_{mq}}{4\rho} \int_0^T \int_{n=0}^{N-1} \int_{k=1}^K \exp \left( i 2\pi (f_{0m} + (N_k - D) Df_m) t + y_{0m_{n_x}} \dot{\varphi} + i 2\pi j_{m_{n_x}} u \dot{\varphi} - (k - l) t u \dot{\varphi} (f_{0m} + (N_k - D) Df_m) \right) \\ & \cdot \frac{\exp \left( i 2\pi (f_{0m} + (N_k - D) Df_m) \sqrt{em} \sqrt{(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2} \right) \ddot{\varphi}}{\sqrt{(x_{zpq} - x_{m_n})^2 + (y_{zpq} - y_{m_n})^2 + (z_{zpq} - z_{m_n})^2}}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq} \partial y_{zpq}} (A_0)_{mq} = \frac{1}{-i 2\pi f_{0m} em} \left( \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial x_{zpq}^2} (A_1)_{mq} + \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial y_{zpq}^2} (A_2)_{mq} + \frac{\partial^2 \varphi_{mq}}{\partial z_{zpq}^2} (A_3)_{mq} \right) \ddot{\varphi}, \quad (14)$$



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  $M_{zm}$ . При цьому рівень радіомаскування системи радіозв'язку військового призначення для системи радіорозвідки противника пропонується оцінювати за показником розвідувальної доступності, а саме:

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

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

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Запропонований метод математичного моделювання дозволяє оцінити рівень радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення, які застосовують шумоподібні сигнали з ДЧМ 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 ДЧМ 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.

### Література

1. **Меньшаков, Ю. К.** Виды и средства иностранных технических разведок: учебное пособие [Текст] / под ред.

**Математическое моделирование обнаружения системой радиоразведки противника системы радиосвязи военного назначения, использующей шумоподобные сигналы с дискретной частотной модуляцией псевдослучайной последовательностью**

*Анатолий Петрович Волобуев  
Дмитрий Анатольевич Бухал*

*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины*

*В статье предложен метод математического моделирования выявления системой радиоразведки систем радиосвязи военного назначения, которые функционируют с использованием шумоподобных сигналов с дискретной частотной модуляцией псевдослучайной последовательностью. Предложенная задача математического моделирования решается в интересах оценивания уровня радиомаскировки систем радиосвязи военного назначения относительно систем радиоразведки нового поколения ведущих стран мира, которым присущи более широкие разведывательные возможности. За счёт использования аппарата тензорного исчисления в интересах моделирования, удалось положить в основу оценивания уровня радиомаскировки подходы, которые свойственны электродинамике, и обеспечить приемлемую адекватность предложенной модели. Кроме этого, наряду с радиостанциями, которые используют шумоподобные сигналы дискретной частотной модуляции псевдослучайной*

М. П. Сычева. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. – 656 с. 2. 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 технологи», 2006. – Т. XIII: Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы. – 695 с. 3. **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. 4. **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. 5. **Палий, А. И.** Радиоэлектронная борьба (средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем) [Текст] / А. И. Палий. – М.: Воениздат, 1981. – 320 с. 6. **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. 7. **Варганесян, В. А.** Радиоэлектронная разведка [Текст] / В. А. Варганесян. – М.: Воениздат, 1975. – 255 с. 8. **Варганесян, В. А.** Радиопеленгация [Текст] / В. А. Варганесян, Э. Ш. Гойхман, М. И. Рогаткин. – М.: Воениздат, 1966. – 248 с. 9. **Куприянов, А. И.** Теоретические основы радиоэлектронной борьбы [Текст] / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с. 10. Основы радиопротиводействия [Текст]: учебник для слушателей ВВНЗ СВ. – М.: Воен. акад. им. М. В. Фрунзе, 1962. – 268 с. 11. **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. 12. **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. 13. **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. 14. **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. 15. **Зелкин, Е. Г.** Методы синтеза антенн: Фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрывом [Текст] / Е. Г. Зелкин, В. Г. Соколов. – М.: Сов. радио, 1980. – 296 с. 16. **Варакин, Л.Е.** Системы связи с шумоподобными сигналами [Текст] / Л.Е.Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

последовательностью, во время моделирования рассмотрено разворачивание ложных радиосетей для обеспечения необходимого уровня радиомаскировки системы радиосвязи военного назначения.

**Ключевые слова:** система радиоразведки, система радиосвязи военного назначения, математическое моделирование, электромагнитное поле, уровень радиомаскировки, шумоподобные сигналы.

## MATHEMATICAL MODELING OF THE DETECTION BY THE RADIO RECONNAISSANCE SYSTEM OF ENEMY OF MILITARY RADIO COMMUNICATION SYSTEM THAT USES NOISE-TYPE SIGNALS WITH DISCRETE FREQUENCY MODULATION BY A PSEUDO-RANDOM SEQUENCE

Anatolii P. Volobuiev  
Dmytro A. Bukhal

Central Scientific Research Institute of UA Forces

The article proposes a method for mathematical modeling of the detection by the radio reconnaissance system military radio communication systems that using noise-type signals with discrete frequency modulation by a pseudo-random sequence. The proposed problem of mathematical modeling is solved in the interest of estimating the level of radiomasking of military radio communication systems concerning the new generation of radio reconnaissance systems of the leading countries of the world, which have broader reconnaissance capabilities. Due to using of the apparatus of tensor calculus in the interests of modeling, it was possible to base the estimation of the level of radiomasking approaches, which are typical for electrodynamics, and to provide with acceptable adequacy of the proposed model. In addition, together with stations that use noise-like signals of discrete frequency modulation with a pseudo-random sequence, the deployment of false radio networks is considered during simulation to provide the required level of radio masking of the military radio communication system.

**Key words:** radio reconnaissance system, military radio communication system, mathematical modeling, electromagnetic field, level of radiomasking, noise-type signals.

### References

- 1. Menshakov, Yu. K.** Types and means of foreign technical intelligence: textbook [Text] / ed. M.P. Sychev. - Moscow: Izd-vo MSTU them. N.E. Bauman, 2009. - 656 p.
- 2. Weapons** and technologies of Russia: encyclopedia. XXI century in 13 toms. [Text] / Ed. Minister of Defense of the Russian Federation S. Ivanov. - Moscow: Izd. House "Arms and Technologists", 2006. - T. XIII: Control systems, communications and electronic warfare. - 695 p.
- 3. Tsvetnov, V. V.** Radio-electronic warfare: radio-masking and noise protection [Text] / V.V. Tsvetnov, V.P. Demin, A.I. Kupriyanov. - Moscow: Izd-vo MAI, 1999. - 240 p.
- 4. Makarenko, S. I.** Interference immunity of communication systems with pseudo-random working frequency tuning [Text]: monograph / S.I. Makarenko, M.S. Ivanov, S.A. Popov. - S.Pb.: The publishing house, 2013. - 166 p.
- 5. Paliy, A. I.** Radio-electronic warfare (means and methods of suppression and protection of radio electronic systems) [Text] / A.I. Paliy. - Moscow: Military Publishing, 1981. - 320 p.
- 6. Tsvetnov, V. V.** Radio-electronic warfare: radio reconnaissance and radio counteraction [Text] / V.V. Tsvetnov, V.P. Demin, A.I. Kupriyanov. - Moscow: Izd-vo MAI, 1998. - 248 p.
- 7. Vartanesyan, V. A.** Radio-electronic reconnaissance [Text] / V.A. Vartanesyan. - Moscow: Military Publishing, 1975. - 255 p.
- 8. Vartanesyan, V. A.** Radio direction-finding [Text] / V.A. Vartanesyan, E.Sh. Goichmann, M.I. Rogatkin. - Moscow: Military Publishing, 1966. - 248 p.
- 9. Kupriyanov, A. I.** Theoretical foundations of electronic warfare [Text] / A.I. Kupriyanov, A.V. Sakharov. - Moscow: The University Book, 2007. - 356 p.
- 10. Fundamentals** of radiocountermeasures [Text]: textbook for students military academies. - Moscow: Mil. Acad. them. M.V. Frunze, 1962. - 268 p.
- 11. Kanevsky, Z. M.** The theory of security. Part 1. Fundamentals of the theory of security: tutorial. [Text] / Z.M. Kanevsky, V.P. Litvinenko, G.V. Makarov - Voronezh: Voronezh. State. Tech. Univ., 2003. - 92 p.
- 12. Landau, L. D.** A short course of theoretical physics in 3 books. Book 1: Mechanics. Electrodynamics [Text] / L.D. Landau, E.M. Lifshits. - Moscow: Science: Head. Ed. fiz.-mat. lit., 1969. - 271 p.
- 13. Tuzov, G. I.** Noise immunity of radio systems with complex signals [Text] / G.I. Tuzov, V.A. Sivov, V.I. Prytkov etc, Ed. G.I. Tuzov - Moscow: Radio and Communication, 1985. - 264 p.
- 14. Borisov, V. I.** Interference immunity of radio communication systems with spreading of the signal spectrum by modulation of a pseudo-random carrier by sequence [Text] / V.I. Borisov, V.M. Zinchuk, A.E. Limarev, N.P. Mukhin, G.S. Nakhmanson, ed. V.I. Borisov - Moscow: Radio and Communication, 2003. - 640 p.
- 15. Zelkin, E.G.** Methods for the synthesis of antennas: Phased antenna arrays and antennas with a continuous opening [Text] / E.G. Zelkin, V.G. Sokolov. - Moscow: Sov. radio, 1980. - 296 p.
- 16. Varakin, L.E.** Communication systems with noise-type signals [Text] / L.E. Varakin. - Moscow: Radio and Communication, 1985. - 384 p.