

УДК [623.611:621.396]:519.876.5

А.П. ВОЛОБУЄВ, канд. техн. наук (Центр. наук.-дослід ін-т Збройних Сил України, м. Київ),

М.Ю. ЯКОВЛЄВ, д-р техн. наук, **О.В. ФЕДІН**, канд. техн. наук
(Акад. сухопут. військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львов)

МЕТОД МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ДОСТУПНОСТІ ПЕРСПЕКТИВНОЇ РУХОМОЇ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Запропоновано метод математичного моделювання електромагнітної доступності перспективної рухомої системи радіозв'язку військового призначення на основі подання об'єкту типу «перспективна рухома система радіозв'язку військового призначення – операційний район – система радіорозвідки противника» квазі-кристалом, що дозволяє вирішити завдання щодо створення математичної моделі електромагнітної доступності системи радіозв'язку.

Предложен метод математического моделирования электромагнитной доступности перспективной подвижной системы радиосвязи военного назначения на основе представления объекта типа «перспективная подвижная система радиосвязи военного назначения – операционный район – система радиоразведки противника» квазикристаллом, что позволяет решить задание по созданию математической модели электромагнитной доступности системы радиосвязи.

The paper proposes a method of mathematical modeling of electromagnetic availability promising mobile radio system, military-based representation of the object type «promising mobile radio communication system, military – operating area – signal monitoring system of the enemy» quasicrystals that can solve the task of creating a mathematical model electromagnetic radio system availability.

Постановка проблеми в загальному вигляді.

Сьогодні на озброєнні в збройних силах у країнах, які розвинено у воєнному відношенні, знаходяться сучасні засоби та системи радіорозвідки згідно робіт [1-7], які з високою ефективністю спроможні викривати системи військового радіозв'язку, що розгортаються в інтересах різних ланок управління Збройних Сил України. Враховуючи те, що найбільш дієвим напрямом щодо зниження ефективності систем радіорозвідки противника (СРРП) є радіомаскування, як зазначено в роботі [8], можна зробити висновок про наявність об'єктивного протиріччя між необхідним рівнем радіомаскування сучасних систем військового радіозв'язку та можливостями систем радіозв'язку щодо забезпечення необхідного рівня між ним. З метою розв'язання цього протиріччя, враховуючи фізичне та моральне старіння існуючого в Збройних Силах України парку засобів радіозв'язку, доцільно створення перспективної рухомої системи радіозв'язку

військового призначення (ПРСР ВП), в якій би здійснювалося адаптивне управління рівнем радіомаскування з метою забезпечення необхідного рівня. ПРСР ВП може бути система рухомого радіозв'язку, що самоорганізується, з динамічною структурою, всі радіостанції якої рухомі та здійснюють обмін інформацією зі застосуванням ретрансляції згідно робіт [9-12]. Такі системи передбачають широку автоматизацію процесів та децентралізацію управління.

Отже, забезпечення необхідного рівня радіомаскування ПРСР ВП є актуальна наукова проблема.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що проблемою радіомаскування займалися ціла низька вчених, як зазначено в роботах [13-17], але вони розглядали її із боку радіорозвідки та радіоелектронної боротьби. З позиції зв'язківців ця проблема розглядалася лише на рівні організаційно-технічних заходів, які пов'язано з запровадженням режиму радіомовчання, роботою на

© А.П. ВОЛОБУЄВ, М.Ю. ЯКОВЛЄВ, 2015

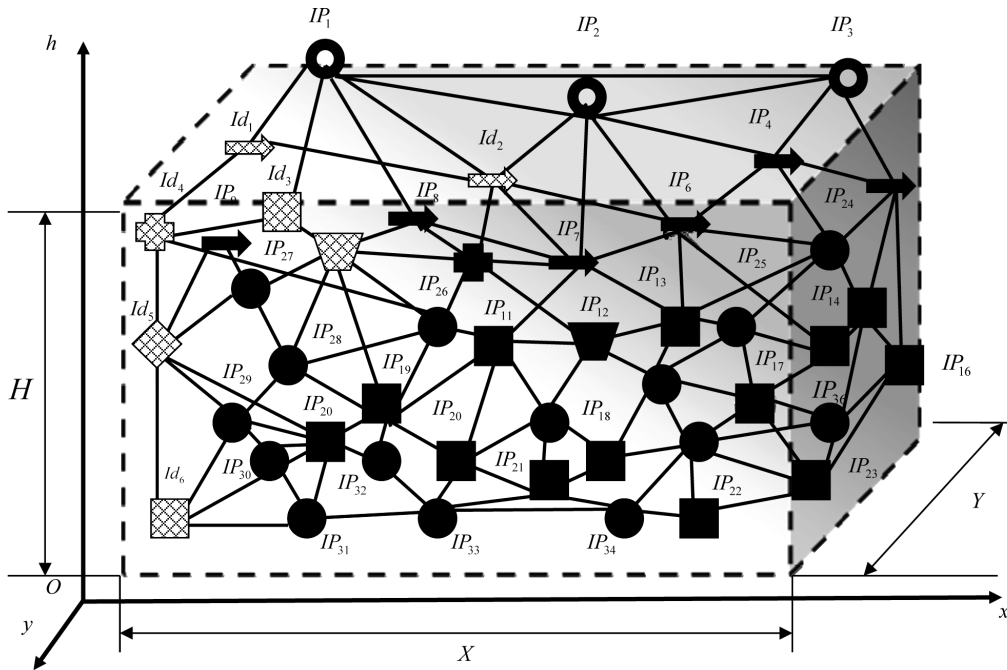


Рисунок. Квазікристал, як модель об'єкта типу «ІРСР ВП – операційний район – СРРП»

- | | |
|---|---|
| ◆ – наземна стаціонарна радіостанція; | ■ – наземна стаціонарна радіостанція; |
| ⊕ – радіостанція вертольоту; | ● – портативна радіостанція; |
| ▼ – радіостанція морського базування; | ➔ – радіостанція повітряного базування; |
| ○ – супутниковий ретранслятор; | ◊ – наземний стаціонарний засіб СРРП; |
| ▨ – наземний рухомий засіб СРРП; | ⊞ – вертолітний засіб СРРП; |
| ➔ – засіб повітряного базування СРРП; | ◊ – засіб морського базування СРРП; |
| (IP_N) – адреси радіостанцій ІРСР ВП; | (Id_M) – ідентифікаційні коди засобів СРРП. |

знижених потужностях передавачів, застосуванням вузько спрямованих антен, зменшенням часу роботи на передачу. Оцінка рівня радіомаскування та адаптивне управління рівнем його рухомих систем радіозв'язку військового призначення уваги не приділялося. Тим не менше зрозуміло, що з метою практичної реалізації переваг ІРСР ВП необхідно відповідне алгоритмічне забезпечення децентралізованої системи управління ІРСР ВП, зокрема управління рівнем радіомаскування. В роботі [18] було запропоновано показником рівня радіомаскування обрати розвідувальну доступність ІРСР ВП, під якою будемо розуміти легкість, із якою СРРП може встановити факт виходу в ефір радіостанцій ІРСР ВП, їхнє місцезоположення, оперативно-тактичну приналежність (призначення).

Розвідувальна доступність ІРСР ВП буде визначатися відповідно електромагнітною доступністю, доступністю щодо визначення місцезоположення та доступністю щодо визначення оперативно-тактичної приналежності (призначення). Отже, існує потреба у методах математичного моделювання, які б вирішували завдання щодо створення математичних моделей електромагнітної доступності, доступності щодо визначення місцезоположення та доступності щодо визначення оперативно-тактичної приналежності (призначення).

Мета статті полягає в розробленні методу математичного моделювання електромагнітної доступності ІРСР ВП, що дозволяє вирішити завдання щодо створення математичної моделі електромагнітної доступності ІРСР ВП, й яка разом

із математичною моделлю об'єкту типу «ПРСР ВП – операційний район – СРРП» згідно роботи [18], та моделями доступності щодо визначення місцеположення та доступності щодо визначення оперативного-тактичної приналежності (призначення) може бути взято за основу у разі розроблення алгоритмічного забезпечення децентралізованої системи управління ПРСР ВП, зокрема управління рівнем радіомаскування.

Метод математичного моделювання електромагнітної доступності ПРСР ВП будемо розробляти на основі математичної моделі об'єкту типу «ПРСР ВП – операційний район – СРРП» у вигляді квазікристалу (рисунок) згідно роботи [18], з урахуванням із не пустої підмножини радіостанцій ПРСР ВП із відповідними поточними координатами

$$A = \{a_1(x_{a_1}, y_{a_1}, h_{a_1}), a_2(x_{a_2}, y_{a_2}, h_{a_2}), \dots, a_N(x_{a_N}, y_{a_N}, h_{a_N})\}$$

та не пустої підмножини засобів радіорозвідки СРРП із відповідними поточними координатами:

$$B = \{b_1(x_{b_1}, y_{b_1}, h_{b_1}), b_2(x_{b_2}, y_{b_2}, h_{b_2}), \dots, b_j(x_{b_j}, y_{b_j}, h_{b_j}), \dots, b_M(x_{b_M}, y_{b_M}, h_{b_M})\}$$

Введемо поняття електромагнітної доступності окремої радіостанції ПРСР ВП. Нехай електромагнітне поле, яке створюється на виході передавача a_i -ї радіостанції ПРСР ВП і задається вектором потужності \mathbf{P}_{a_i} , впливає на квазікристал. Тоді в різних точках квазікристалу виникає вектор Умова-Пойнтінга $\mathbf{\Pi}_R$ (R – відстань від a_i -ї радіостанції ПРСР ВП). З цим у місці знаходження b_j -го засобу СРРП на вході його приймача може виникати вектор потужності $\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}}$. Отже, можна записати, що

$$\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}} = \mathbf{d}_{ем}(a_i) \mathbf{P}_{a_i}, \quad (1)$$

де $\mathbf{d}_{ем}(a_i)$ – електромагнітна доступність a_i -ї радіостанції ПРСР ВП.

Розкладемо вектори потужностей $\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}}$ та \mathbf{P}_{a_i} за вісями системи координат $Ox_1y_1z_1$ (рис. 1), яку введено на операційному районі:

$$\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}} = (P_{нрм_{a_i b_j x}}, P_{нрм_{a_i b_j y}}, P_{нрм_{a_i b_j h}}),$$

$$\mathbf{P}_{a_i} = (P_{a_i x}, P_{a_i y}, P_{a_i h}).$$

Так як квазікристал є анізотропним у відношенні електромагнітної доступності радіостанцій ПРСР ВП, тоді залежності між компонентами векторів $\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}}$ та \mathbf{P}_{a_i} виглядатимуть таким чином:

$$\begin{aligned} P_{нрм_{a_i b_j x}} &= d_{ем_{xx}}(a_i) P_{a_i x} + d_{ем_{xy}}(a_i) P_{a_i y} + d_{ем_{xh}}(a_i) P_{a_i h}; \\ P_{нрм_{a_i b_j y}} &= d_{ем_{yx}}(a_i) P_{a_i x} + d_{ем_{yy}}(a_i) P_{a_i y} + d_{ем_{yh}}(a_i) P_{a_i h}; \\ P_{нрм_{a_i b_j h}} &= d_{ем_{hx}}(a_i) P_{a_i x} + d_{ем_{hy}}(a_i) P_{a_i y} + d_{ем_{hh}}(a_i) P_{a_i h}. \end{aligned} \quad (2)$$

Кожна компонента $\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}}$ лінійно залежить від усіх трьох компонентів \mathbf{P}_{a_i} . Звідки слідує, що в загальному випадку вектор $\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}}$ не співпадає за напрямом із вектором \mathbf{P}_{a_i} .

Кожна з компонент $\mathbf{d}_{ем}(a_i)$ має конкретний фізичний зміст. Наприклад, якщо потужність випромінюється a_i -ю радіостанцією ПРСР ВП у напрямку Ox , то $\mathbf{P}_{a_i} = (P_{a_i x}, 0, 0)$ і рівняння (2) приймають вигляд:

$$\begin{aligned} P_{нрм_{a_i b_j x}} &= d_{ем_{xx}}(a_i) P_{a_i x}; \\ P_{нрм_{a_i b_j y}} &= d_{ем_{yx}}(a_i) P_{a_i x}; \\ P_{нрм_{a_i b_j h}} &= d_{ем_{hx}}(a_i) P_{a_i x}. \end{aligned} \quad (3)$$

Тобто, повздовжня компонента $\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}}$ визначається $d_{ем_{xx}}(a_i)$, а дві поперечні – $d_{ем_{yx}}(a_i)$ та $d_{ем_{hx}}(a_i)$. Аналогічно, коефіцієнт $d_{ем_{yh}}(a_i)$ визначає компоненту $\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}}$, паралельну осі Oy , коли потужність випромінюється a_i -ю радіостанцією ПРСР ВП в напрямі Oh .

Отже, щоб визначити електромагнітну доступність a_i -ї радіостанції ПРСР ВП, ми маємо завдати дев'ять коефіцієнтів

$$\mathbf{d}_{ем}(a_i) = \begin{pmatrix} d_{ем_{xx}}(a_i) & d_{ем_{xy}}(a_i) & d_{ем_{xh}}(a_i) \\ d_{ем_{yx}}(a_i) & d_{ем_{yy}}(a_i) & d_{ем_{yh}}(a_i) \\ d_{ем_{hx}}(a_i) & d_{ем_{hy}}(a_i) & d_{ем_{hh}}(a_i) \end{pmatrix}$$

тензору електромагнітної доступності a_i -ї радіостанції ПРСР ВП.

З теорії розповсюдження радіохвиль згідно роботи [19] відомо, що:

$$\mathbf{P}_{нрм_{a_i b_j}} = S_{\delta_{нрм_{a_i b_j}}} \eta_{нрм_{a_i b_j}} \mathbf{\Pi}_{a_i b_j}, \quad (4)$$

де $S_{\delta_{нрм_{a_i b_j}}}$ – діюча площа приймальної антени b_j -го засобу СРРП; $\eta_{нрм_{a_i b_j}}$ – коефіцієнт корисної дії системи передавання енергії від приймальної антени b_j -го засобу СРРП на вхід приймача; $\mathbf{\Pi}_{a_i b_j}$ – вектор Умова-Пойнтінга на відстані $R_{a_i b_j}$ від a_i -ї радіостанції ПРСР ВП до b_j -го засобу СРРП.

Вектор Умова-Пойнтінга, на відстані $R_{a_i b_j}$ від a_i -ї радіостанції ПРСР ВП до b_j -го засобу СРРП можна визначити так:

$$\mathbf{\Pi}_{a_i b_j} = \frac{\mathbf{P}_{a_i} G_{a_i} \eta_{a_i}}{4\pi R_{a_i b_j}^2}, \quad (5)$$

де \mathbf{P}_{a_i} – вектор потужності на виході передавача a_i -ї радіостанції ПРСР ВП; G_{a_i} – коефіцієнт підсилення передавальної антени a_i -ї радіостанції ПРСР ВП; η_{a_i} – коефіцієнт корисної дії системи

передавання енергії від передавача a_i -ї радіостанції ПРСР ВП до її передавальної антени.

Тоді

$$\mathbf{P}_{\text{нрм}a_i b_j} = \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} \mathbf{P}_{a_i}, \quad (6)$$

де $G_{\text{нрм}b_j}$ – коефіцієнт підсилення передавальної антени b_j -го засобу СРПП; λ_{a_i} – довжина хвилі a_i -ї радіостанції ПРСР ВП.

З урахування реальних умов розповсюдження радіохвиль у просторі операційного району співвідношення (6) прийме вигляд:

$$\mathbf{P}_{\text{нрм}a_i b_j} = \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} \mathbf{L}_{a_i} \mathbf{P}_{a_i}, \quad (7)$$

де \mathbf{L}_{a_i} – множник ослаблення радіосигналу від a_i -ї радіостанції ПРСР ВП у просторі операційного району (враховує вплив поверхні Землі та неоднорідностей атмосфери в операційному районі) згідно роботи [20].

Спираючись на формулу (7), компоненти тензора електромагнітної доступності a_i -ї радіостанції ПРСР ВП будуть виглядати таким чином:

$$\mathbf{a}_{\text{ем}}(a_i) = \begin{pmatrix} \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,xx}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,xy}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,yy}^2 \\ \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,xy}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,yy}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,yh}^2 \\ \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,yh}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,hy}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,hh}^2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Показником рівня електромагнітної доступності a_i -ї радіостанції ПРСР ВП зручно обрати власне значення тензора її електромагнітної доступності χ_{a_i} , яке можна отримати з рівняння:

$$\begin{vmatrix} \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} (L_{a_i,xx}^2 - \chi_{a_i}) & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,xy}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,yy}^2 \\ \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,xy}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} (L_{a_i,yy}^2 - \chi_{a_i}) & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,yh}^2 \\ \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,yh}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} L_{a_i,hy}^2 & \frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} (L_{a_i,hh}^2 - \chi_{a_i}) \end{vmatrix} = 0 \quad (9)$$

Це рівняння можна привести до вигляду кубічного рівняння:

$$c_0 \chi^3 + c_1 \chi^2 + c_2 \chi + c_3 = 0, \quad (10)$$

$$\text{де } c_0 = \left(\frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} \right)^3;$$

$$c_1 = \left(\frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} \right)^3 (L_{a_i,yy}^2 + L_{a_i,hh}^2 - L_{a_i,xx}^2);$$

$$c_2 = \left(\frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} \right)^3 (L_{a_i,yh}^2 L_{a_i,hy}^2 + L_{a_i,xy}^2 L_{a_i,yx}^2 - L_{a_i,xx}^2 L_{a_i,yy}^2 - L_{a_i,xx}^2 L_{a_i,hh}^2 - L_{a_i,yy}^2 L_{a_i,hh}^2);$$

$$c_3 = \left(\frac{G_{a_i} G_{\text{нрм}b_j} \eta_{a_i} \eta_{\text{нрм}b_j} \lambda_{a_i}^2}{16\pi R_{a_i b_j}^2} \right)^3 (L_{a_i,xy}^2 L_{a_i,yx}^2 L_{a_i,hy}^2 +$$

$$+ L_{a_i,xy}^2 L_{a_i,yh}^2 L_{a_i,hx}^2 + L_{a_i,xx}^2 L_{a_i,yy}^2 L_{a_i,hh}^2 -$$

$$- L_{a_i,xx}^2 L_{a_i,yh}^2 L_{a_i,hy}^2 L_{a_i,yx}^2 L_{a_i,hh}^2 - L_{a_i,xy}^2 L_{a_i,yx}^2 L_{a_i,hx}^2).$$

З метою розв'язання рівняння (10) скористаємося роботою [21] та підстановкою $\chi_{a_i} = m - \frac{c_1}{3c_0}$ приведемо його до неповного виду:

$$m^3 + pm + q = 0, \quad (11)$$

$$\text{де } p = -\frac{c_1^2}{3c_0^2} + \frac{c_2}{c_0};$$

$$q = 2 \left(\frac{c_1}{3c_0} \right)^3 - \frac{c_1 c_2}{3c_0^2} + \frac{c_3}{c_0}.$$

та отримаємо корні неповного кубічного рівняння:

$$m_1 = V + W, \quad (12)$$

$$m_{2,3} = -\frac{V+W}{2} \pm i \frac{V-W}{2} \sqrt{3}, \quad (13)$$

$$\text{де } V = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}; W = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}; Q = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2.$$

Причому в якості V і W беруться будь-які значення кубічних коренів із відповідних комплексних чисел, які задовольняють співвідношенню $W = -\frac{p}{3}$.

Таким чином, рівень електромагнітної доступності a_i -ї радіостанції ПРСР ВП можна подати такою моделлю:

$$\chi_{a_i} = \sqrt[3]{-\frac{2\left(\frac{c_1}{3c_0}\right)^3 - \frac{c_1 c_2}{3c_0^2} + \frac{c_3}{c_0}}{2} + \sqrt{\left(\frac{-\frac{c_1^2}{3c_0^2} + \frac{c_2}{c_0}}{3}\right)^3 + \left(\frac{2\left(\frac{c_1}{3c_0}\right)^3 - \frac{c_1 c_2}{3c_0^2} + \frac{c_3}{c_0}}{2}\right)^2}} + \quad (12)$$

$$+ \sqrt[3]{-\frac{2\left(\frac{c_1}{3c_0}\right)^3 - \frac{c_1 c_2}{3c_0^2} + \frac{c_3}{c_0}}{2} - \sqrt{\left(\frac{-\frac{c_1^2}{3c_0^2} + \frac{c_2}{c_0}}{3}\right)^3 + \left(\frac{2\left(\frac{c_1}{3c_0}\right)^3 - \frac{c_1 c_2}{3c_0^2} + \frac{c_3}{c_0}}{2}\right)^2}} - \frac{c_1}{3c_0}$$

І, скориставшись постулатом першого узагальнення Крона, який викладено в роботі [22], електромагнітну доступність ПРСР ВП можна подати N -вимірною матрицею власних значень \div .

Висновок

Запропоновано метод математичного моделювання електромагнітної доступності перспективної рухомої системи радіозв'язку військового призначення. Метод базується на поданні об'єкта типу «перспективної рухомої системи радіозв'язку військового призначення – операційний район – систем радіорозвідки противника» квазікристалом. З цим електромагнітну доступність радіостанцій перспективної рухомої системи радіозв'язку військового призначення можна розглядати як певну властивість квазікристала, анізотропного по відношенню до неї, і подати її тензором другого рангу. В якості показника рівня радіомаскування зручно обрати власне значення даного тензора. В разі узагальнення на всю перспективної рухомої системи радіозв'язку військового призначення просто здійснюється перехід від власного значення тензора електромагнітної доступності радіостанції до N -вимірної матриці власних значень тензорів електромагнітних доступностей окремих радіостанцій.

Перспективою подальших досліджень у цьому напрямі є розроблення методів математичного моделювання решти складових розвідувальної доступності: доступності щодо визначення місцеположення та доступності щодо визначення операційно-тактичної приналежності (призначення) радіостанцій, як властивостей квазікристала.

Список літератури

1. *Оружие* и технологии России / Энциклопедия. – XXI век в 13 т. – Т. XIII. – Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы / Под ред. С. Иванова. – М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2006. – 695 с.
2. *Фиолентов А.* Французский авиационный комплекс радиоэлектронной разведки SARIG-NG / А. Фиолентов // Заруб. военное обозрение. – 2002. – № 4. – С. 44-46.
3. *Фароский А.* Средства радиоэлектронной войны ВМС Франции / А. Фароский // Заруб. военное обозрение. – 2001. – № 5-6. – С. 75-82.
4. *Стрелецкий А.* Мобильный автоматизированный комплекс радиоразведки сухопутных войск США / А. Стрелецкий // Заруб. военное обозрение. – 2001. – № 5-6. – С. 40-42.
5. *Стрелецкий А.* Система радиоэлектронной разведки сухопутных войск США «Гардрейл коммон сенсор» / А. Стрелецкий // Заруб. военное обозрение. – 2001. – № 9. – С. 23-26.
6. *Кондратьев А.* Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США «Профет» / А. Кондратьев // Заруб. военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 37-41.
7. *Стрелецкий А.* Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны «Вулфпак» / А. Стрелецкий // Заруб. военное обозрение. – 2002. – № 10. – С. 27-28.
8. *Военный энциклопедический словарь* / Пред. гл. ред. комиссии С.Ф. Ахромеев. – М.: Воениздат, 1986. – 863 с.
9. *Joint tactical radio system (JTRS) / Operational requirements document: version 3.2. – USA, JROC, 2003. – 146 p.*
10. *Міночкін А. І.* Перспективи побудови тактичних мереж зв'язку / А. І. Міночкін, В. А. Романюк // 36. матеріалів III Наук.-практ. конф. ВІТІ «Пріор. напрями розвитку телекомун. систем та мереж спец. призначення». – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2006. – С. 55-65.
11. *Бунин С. Г.* Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С. Г. Бунин, А. П. Войтер, М. Е. Ильченко, В. А. Романюк. – К.: НПП «Изд-во «Наукова думка» НАН України», 2012. – 444 с.
12. *Бунин С. Г.* Вычислительные сети с пакетной радиосвязью / С. Г. Бунин, А. П. Войтер. – К.: Техника, 1989. – 223 с.
13. *Цветнов В. В.* Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 240 с.
14. *Палий А. И.* Радиоэлектронная борьба (средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем) / А. И. Палий. – М.: Воениздат, 1981. – 320 с.
15. *Цветнов В. В.* Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М.: Изд-во МАИ, 1998. – 248 с.
16. *Вартанесян В. А.* Радиоэлектронная разведка / В. А. Вартанесян. – М.: Воениздат, 1975. – 255 с.
17. *Куприянов А. И.* Теоретические основы радиоэлектронной борьбы / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
18. *Волобуев А. П.* Кристаллографичний метод математичного моделювання об'єкта типу «перспективна рухома система радіозв'язку військового призначення – операційний район – система радіорозвідки противника» / А. П. Волобуев, М.Ю. Яковлев, О.В. Федін // Військово-техн. зб. – Львів: АСВ. – 2015. – Вип. 12. – С.13-22.
19. *Альперт Я. Л.* Распространение радиоволн / Я. Л. Альперт, В. Л. Гинзбург, Е. Л. Фейнберг. – М.: Гос. тех. изд-во техн.-теорет. лит-ры, 1953. – 883 с.
20. *Калинин А. И.* Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолоний / А. И. Калинин. – М.: Связь, 1979. – 296 с.
21. *Корн Г.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат лит-ры, 1974. – 832 с.
22. *Крон Г.* Тензорный анализ сетей / Г. Крон. – М.: Сов. радио, 1978. – 720 с.