

УДК 551.508.85 (551.576 +551.577) DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.106-115

**FINITE-DIMENSIONAL DISTRIBUTIONS AT RADIO-
LOCATION SUPERVISION OF NAVIGATION OBJECTS****КІНЦЕВОМІРНІ РОЗПОДІЛИ ПРИ РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ
СПОСТЕРЕЖЕННІ НАВІГАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ****D. Korban, PhD, I. Burmaka, PhD****Д.В. Корбан, к.т.н., доцент, І.О. Бурмака, к.т.н., доцент***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

The uncertainty arising when using the characteristics of a system of radar signals reflected from marine objects in the presence or absence of atmospheric formations, which interfere with the radar allocation of echo signals of navigation objects on the ship's radar indicators of, is considered. In this case, it becomes necessary to isolate completely defined signal structures and structures with uncertainty, which include fluctuating signals that have random deviations from their average equilibrium states. A mechanism is distinguished in structures with uncertainty, which is an internal property of a ship's radar system that is not associated with the action of any random forces, i.e. chaos. Chaos introduces a certain risk when the operator makes a final decision that the echo signal on the indicator of the ship's radar is created only by the navigation object and the measured coordinates belong only to the navigation object.

To reduce the risk from uncertainty in the homing of the echo signal with the navigation object located in the atmospheric area of education for non-stationary echo (partially polarized echo signal) uncertainty is set to the actual Stokes parameters in combination with their conversion according to deterministic rules. A mathematical model of the random process represented by job family, of course dimensional distributions using the mathematical expectations of the Stokes parameters and coherence matrix. In the marine radar the time interval of averaging is finite, therefore, as applied to polarimetric radar the tasks used, the Stokes vector, represented by a matrix with blocks describing statistical relations between components of a random process at fixed time points and are interpreted as the energy characteristics of the original random process. It is shown that the amount of information in the polarization echo signals with uncertainty in their temporal and polarization structures does not depend on the decomposition and determines the correlation function and the statistics of the time error samples of the system echoes. It is established that due to the process of radar surveillance with navigation facilities preventing reflections from atmospheric formations, the uncertainty of the effect on polarization parameters of the echo signal and the temporary provisions of the system echoes. It is shown that the model of echo signal together reflected from the navigation object and atmospheric education is the period of a random function

defined by the time interval the sum of a finite number of elements of the decomposition. The probabilistic characteristics of a stationary random process and random errors are determined by multidimensional normal distribution laws, centered on their average values. The amount of radar information in the polarization echo signal with uncertainty in the temporal and polarization structures is determined by the dispersion of orthogonally polarized components, the form of the correlation function defined by the Stokes polarization parameters and the statistics of the time errors of the readings of the radar signal system. When analyzing radar information on the indicators of the ship's radar about the polarization system of the echo signals of a navigation object located in the zone of atmospheric formation, a classification system of procedures is used, according to which a decision is made on the principle of "certainty - risk - uncertainty".

Keywords: radar system, polarization parameters of echo signals, navigation object, atmospheric formation, uncertainty, decision making.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами

В даний час невизначеність використовується для опису характеристик системи радіолокаційних сигналів, яка представляє сукупність типових для суднової РЛС сигналів, об'єднаних єдиним правилом їх формування (генерування) при утворенні системи [1]. Механізм формування луна-сигналів навігаційного об'єкта радіолокаційного спостереження має характеристики, що змінюються випадковим чином через наявність в їх структурі великого числа ступенів свободи, які можна назвати хаосом, що впливає на прийняття рішень оператором суднової РЛС. Випадковий і хаотичний механізм невизначеності, яка спостерігається судновою РЛС системи луна-сигналів, пов'язаний з несингулярністю характеристик даної системи, що складається з окремих сигналів, які формуються різними відбивачами в межах радіолокаційного обсягу. Дослідження системи сигналів включає виявлення механізму появи нової якості, яка до теперішнього часу в судових РЛС не використовується. Тому питання, пов'язані з урахуванням невизначеності в системі луна-сигналів суднової РЛС, є актуальними, що й обумовлює вибір теми статті.

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато розв'язання даної проблеми та висвітлювання нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Пропозиція використовувати розподіл Уїшарта для щільності розподілу оцінювання матриці когерентності вперше було розглянуто В.О. Потехіним і В.О. Саричевим в [1] з метою підвищення перешкодозахищеності радіолокаційних систем. В роботі [2] при моделюванні полів складної поляризаційної структури розглянуто безліч параметрів, характеристик, обмежень цілей і стратегій. Однак уречевлення матриці спектральної щільності проводилося без використання параметрів Стокса. В роботі [3] представлені математичні структури для аналізу невизначеності, які близькі до підходу

академіка А.М. Колмогорова, де невизначеність зв'язується з неалгоритмізуючістю і з неможливістю змоделювати цей процес на ЕОМ.

Формулювання мети статті (постановка задачі)

Метою даної статті є розгляд можливостей обліку наявної в судновій радіолокаційній системі невизначеності луна-сигналів для прийняття правильного рішення оператором РЛС.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

При аналізі сигналів суднової РЛС можна виділити повністю певні структури і структури з невизначеністю. До структур з невизначеністю відносяться флюктуруючі сигнали (випадкові відхилення спостережуваних величин і характеристик механізмів від середніх рівноважних станів) і ще один механізм – хаос, який є внутрішньою властивістю радіолокаційної системи і який не пов'язаний з дією яких-небудь випадкових сил [1-3]. Хаотичний механізм прояву непередбачуваності спостережуваної системи радіолокаційних сигналів пов'язаний з несингулярністю, тобто принципово необчисліваністю її характеристик. Сингулярний механізм прояву невизначеності має принципово пізнавальні і передбачувані характеристики, наприклад, поляризаційні характеристики луна-сигналів навігаційного об'єкта. Однак при наявності луна-сигналів атмосферних утворень та морської поверхні в сумарному луна-сигналі інформаційні ресурси суднової РЛС не дозволяють поки що оцінити ці характеристики роздільно, тому тут також фіксується невизначеність, хоча є перспективи її подолання. В якості першого наближення до опису системи використовується поляризаційний багатовимірний (векторний) сигнал, сформований з окремих поляризаційних сигналів суднової радіолокаційної системи, що викликає певний якісний стрибок в її властивостях. Нові властивості з'являються через те, що кожен поляризаційний луна-сигнал доставляє нову інформацію про своє джерело. Надмірність поляризаційної структури системи луна-сигналів використовується для отримання оцінювання характеристик джерел при поділі луна-сигналів за певною поляризацією. Радіолокаційна судова система, що формує надмірність луна-сигналів, отримує нові властивості, що забезпечують подолання невизначеності. Луна-сигнали можна розділити на стаціонарні та нестаціонарні. У стаціонарних луна-сигналів поляризаційні характеристики їх структури, що оцінюються при радіолокаційному вимірюванні, не залежать від часу і від динаміки луна-сигналів. У детермінованих стаціонарних луна-сигналах всі їх поляризаційні часові відліки передбачувані, а у разі невизначеності, передбачуваними будуть тільки деякі усереднені поляризаційні параметри.

Для нестаціонарних луна-сигналів невизначеність задається стаціонарними методами в поєднанні з перетворенням за детермінованим правилом. У судових радіолокаційних системах використовуються імпульсні сигнали, і всі стани випадкового процесу належать множині станів електричного вектору

E і ця множина може бути записана у вигляді:

$$E(r, t, \xi) = [E_1(r, t, \xi), E_2(r, t, \xi) \dots E_n(r, t, \xi)]^T, \quad (1)$$

де $E_k(r, t, \xi)$ - парціальні сигнали, у яких $k = 1, 2 \dots n$;

r – радіус вектор точки спостереження;

t – поточний час;

n – розмірність системи сигналів;

ξ – параметр, що враховує невизначеність щодо фіксованої реалізації луна-сигналу.

Ансамбль $E(r, t, \xi)$ є випадковим процесом. Стан випадкового процесу можна оцінити значенням прийнятої реалізації $E(t, \xi)$ у фіксований момент часу t , а всі стани випадкового процесу належать певної множині станів E . В радіолокаційних вимірюваннях радіолокаційний сигнал в кожній точці простору характеризується компонентами фізичних характеристик електромагнітної хвилі: вектором напруженості електричного поля $E(r, t, \xi)$, вектором напруженості магнітного поля $H(r, t, \xi)$, електромагнітною індукцією $D(r, t, \xi)$, а також магнітною індукцією $B(r, t, \xi)$, електричним векторним потенціалом $A(r, t, \xi)$ і магнітним векторним потенціалом $A^m(r, t, \xi)$. При аналізі поляризаційного стану луна-сигналів, які спостерігаються судною РЛС об'єктів на досить великій відстані від антени, де виконуються умови апроксимації плоскої хвилі, стан електромагнітної хвилі характеризується двома із перерахованих векторних величин.

У дискретному часі випадковий процес представляється вектором:

$$E_t(\xi) = [E_{1t}(\xi), E_{2t}(\xi) \dots E_{nt}(\xi)]^T, \quad (2)$$

де E_{kt} - множина дискретних відліків компоненти E_{nt} в інтервалі $0 \leq t \leq n$.

Векторна функція $E(\xi)$ при фіксованому ξ є функція часу і є реалізацією деякого випадкового процесу. Математична модель цього процесу $E(t, \xi)$ представляється завданням сімейства кінцевомірних розподілів з описом випадкової векторної величини і її кінцевої послідовності. Для опису окремих властивостей кінцевомірних розподілів використовуються одномірні і двовимірні моментні функції, які для даного векторного процесу відповідають вектору математичних очікувань $M[S_k]$ і когерентній матриці $R_e(t)$ параметрів Стокса:

$$M[S_k] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_n(S_1, S_2, S_3, S_4) S_k dS_1 dS_2 dS_3 dS_4 + \\ + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_n(S_1, S_2, S_3, S_4) S_{k+1} dS_1 dS_2 dS_3 dS_4. \quad (3)$$

$$R_e(t) = C(t)C^*(t) = \begin{bmatrix} S_1(t)S_1(t)^* & S_1(t)S_2(t)^* & S_1(t)S_3(t)^* & S_1(t)S_4(t)^* \\ S_2(t)S_1(t)^* & S_2(t)S_2(t)^* & S_2(t)S_3(t)^* & S_2(t)S_4(t)^* \\ S_3(t)S_1(t)^* & S_3(t)S_2(t)^* & S_3(t)S_3(t)^* & S_3(t)S_4(t)^* \\ S_4(t)S_1(t)^* & S_4(t)S_2(t)^* & S_4(t)S_3(t)^* & S_4(t)S_4(t)^* \end{bmatrix}, \quad (4)$$

або з урахуванням математичних очікувань вектору параметра Стокса когерентна матриця запишеться у вигляді:

$$R_{st}(t) = M[S(t)]M[S^*(t)] = \begin{bmatrix} M[S_{1st}(t)]M[S_{1st}^*(t)] & M[S_{1st}(t)]M[S_{2st}^*(t)] \\ M[S_{2st}(t)]M[S_{1st}^*(t)] & M[S_{2st}(t)]M[S_{2st}^*(t)] \\ M[S_{3st}(t)]M[S_{1st}^*(t)] & M[S_{3st}(t)]M[S_{2st}^*(t)] \\ M[S_{4st}(t)]M[S_{1st}^*(t)] & M[S_{4st}(t)]M[S_{2st}^*(t)] \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} M[S_{1st}^*(t)]M[S_{3st}(t)] & M[S_{1st}^*(t)]M[S_{4st}(t)] \\ M[S_{2st}^*(t)]M[S_{3st}(t)] & M[S_{2st}^*(t)]M[S_{4st}(t)] \\ M[S_{3st}^*(t)]M[S_{3st}(t)] & M[S_{3st}^*(t)]M[S_{4st}(t)] \\ M[S_{4st}^*(t)]M[S_{3st}(t)] & M[S_{4st}^*(t)]M[S_{4st}(t)] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11st}(t) & S_{12st}(t) & S_{13st}(t) & S_{14st}(t) \\ S_{21st}(t) & S_{22st}(t) & S_{23st}(t) & S_{24st}(t) \\ S_{31st}(t) & S_{32st}(t) & S_{33st}(t) & S_{34st}(t) \\ S_{41st}(t) & S_{42st}(t) & S_{43st}(t) & S_{44st}(t) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

За умови, що записані математичні очікування існують, стаціонарним можна назвати випадковий процес $E(t, \xi)$, для якого вектор математичного очікування не залежить від часу, тобто $m(t) = m$.

Майже всі спостережувані на практиці судновою РЛС процеси є не тільки стаціонарними, але також і ергодичними, тому в припущенні стаціонарності вимірювального процесу, усереднення за ансамблем, при визначенні його середнього значення, може бути замінено осередненням за часом:

$$M[S_{mn}(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T S_{mn}(t) dt. \quad (6)$$

Тимчасовий інтервал осереднення T при радіолокаційному спостереженні береться кінцевим. На практиці особливо зручним виявився метод блокових матриць стосовно радіолокаційним поляриметричним завданням з використанням вектору Стокса. Матричні блоки характеризують статистичні зв'язки компонентів випадкового процесу (1) у фіксовані моменти часу і інтерпретуються як енергетичні характеристики вихідного випадкового процесу. Діагональні елементи цих блоків визначають загальну потужність флуктуацій компонентів випадкового процесу, а недіагональні - ступінь їх статистичного зв'язку. Якщо компоненти луна-сигналу є стаціонарними і стаціонарно пов'язані випадковими процесами, то:

$$\begin{aligned} R_e(t_k) &= R_e(t_p) = R_e, \\ R_e(t_k, t_p) &= R_e(\tau), \end{aligned} \quad (7)$$

де $\tau = t_k - t_p$, причому $R_e(0) = R_e$ і будь-який недиагональний блок є достатньою в сукупності з вектором $E(t_k, t_p, \xi) = [E(t_k, \xi), E(t_p, \xi)]^T$ характеристикою випадкового процесу.

У разі стаціонарного випадкового процесу:

$$R_e(\tau) = M \left[E(t, (t+\tau)) E(t, (t+\tau))^T \right]. \quad (8)$$

Навігаційний об'єкт, що входить в досліджуваний радіолокаційний канал, перетворює випромінену хвилю $E_{\text{вун}}(t)$ і хвилю відбиту об'єктом $E_{\text{від}}(t)$ відповідно з матрицею розсіювання $S(t)$:

$$E_{\text{від}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t-\tau) E_{\text{вун}}(t) d\tau. \quad (9)$$

Більш переважно розглядати процес поданням електромагнітної хвилі на випромінювання і прийом чотирма дійсними параметрами Стокса $S_{1\text{вун}}, S_{2\text{вун}}, S_{3\text{вун}}, S_{4\text{вун}}$ і $S_{1\text{від}}, S_{2\text{від}}, S_{3\text{від}}, S_{4\text{від}}$. Причому кожна поляризаційна компонента випромінюваної хвилі (опромінюючої об'єкт) пов'язана з відповідною компонентою відбитої від навігаційного об'єкта хвилі через матрицю, що складається з 16 коефіцієнтів наступним співвідношенням, записаним в дискретному часі $t = 1, 2, \dots$:

$$\begin{bmatrix} S_{1\text{від}}(t) \\ S_{2\text{від}}(t) \\ S_{3\text{від}}(t) \\ S_{4\text{від}}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11}(t) & S_{12}(t) & S_{13}(t) & S_{14}(t) \\ S_{21}(t) & S_{22}(t) & S_{23}(t) & S_{24}(t) \\ S_{31}(t) & S_{32}(t) & S_{33}(t) & S_{34}(t) \\ S_{41}(t) & S_{42}(t) & S_{43}(t) & S_{44}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{1\text{вун}}(t) \\ S_{2\text{вун}}(t) \\ S_{3\text{вун}}(t) \\ S_{4\text{вун}}(t) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

де миттєві значення параметрів Стокса в лінійному базисі визначаються наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned} S_1 &= E_x^2 + E_y^2, \\ S_2 &= E_x^2 - E_y^2, \\ S_3 &= 2E_x E_y \cos \Phi_{xy}, \\ S_4 &= 2E_x E_y \sin \Phi_{xy}. \end{aligned} \quad (11)$$

тут Φ_{xy} - різниця фаз між ортогональними компонентами електромагнітної хвилі E_x і E_y .

За вимірними параметрами Стокса відбитої хвилі $S_{1\text{від}}(t)$, $S_{2\text{від}}(t)$, $S_{3\text{від}}(t)$, $S_{4\text{від}}(t)$ визначаються коефіцієнти матриці $|S_{11}(t) - S_{44}(t)|$, значення яких встановлюють розсіювальну здатність навігаційного об'єкта і атмосферного утворення, що є перешкодою при радіолокаційному спостереженні

навігаційного об'єкта судною РЛС на шляху судна. За час, характерний для вирішення завдання радіолокаційного спостереження судною РЛС навігаційного об'єкта, на вхід приймального пристрою надходить n імпульсів, кожний з яких характеризується мірним вектором параметрів Стокса - N . Параметризацію луна-сигналів об'єкта можна здійснити двома амплітудами E_1 , E_2 і тривалістями τ_1 , τ_2 для кожного поляризаційного параметра, а також різницею фаз між E_1 і E_2 . Це дозволяє перейти до чотирьох поляризаційних параметрів Стокса в (10). Тоді завдання статистичного опису луна-сигналів зводиться до завдання щільності ймовірності параметрів Стокса f_N та тривалості τ :

$$f_N(S_1, S_2, S_3, S_4, \tau_1, \tau_2). \quad (12)$$

Для щільності ймовірності амплітуди і тривалості огинаючої i - того радіолокаційного імпульсу без урахування поляризаційної структури луна-сигналів застосовується логонормальний закон:

$$f(E_i, \tau_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{E_i}E_i} \exp\left(-\frac{\ln^2 \frac{E_i}{E_i^0}}{2\sigma_{E_i}^2}\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\tau_i}\tau_u} \exp\left(-\frac{\ln^2 \frac{\tau_i}{\tau_i^0}}{2\sigma_{\tau_i}^2}\right), \quad (13)$$

де τ_u - тривалість випромінюваного імпульсу;

$E_i^0, \sigma_{E_i}, \tau_i^0, \sigma_{\tau_i}$ - параметри розподілу, пов'язані з математичними очікуваннями $\langle E_i \rangle$ та $\langle \tau_i \rangle$ і дисперсіями σ_{E_i} та σ_{τ_i} співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \langle E_i \rangle &= E_i^0 \exp \frac{\sigma_{E_i}^2}{2}; \\ \langle \tau_i \rangle &= \tau_i^0 \exp \frac{\sigma_{\tau_i}^2}{2}; \\ \sigma_{E_i} &= \langle E_i \rangle^2 \left(\left(\frac{\langle E_i \rangle^2}{E_i} \right) - 1 \right); \\ \sigma_{\tau_i} &= \langle \tau_i \rangle^2 \left(\left(\frac{\langle \tau_i \rangle^2}{\tau_i} \right) - 1 \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Щільності ймовірності параметрів Стокса з урахуванням того, що огинаючі ортогонально поляризованих компонент частково поляризованої хвилі, відбитої від навігаційного об'єкта і атмосферного утворення, підкоряються узагальненому релеевському розподілу записуються у вигляді:

$$W(S_1) = \frac{1}{4R} \left\{ \exp \left[-\frac{S_1}{2(1+R)} \right] - \exp \left[-\frac{S_1}{2(1-R)} \right] \right\}, \quad (15)$$

при $S_1 > 0$.

$$W(S_4) = \frac{1}{2\sqrt{\left(\frac{1}{h}+h\right)^2 - 4R^2}} \exp \left\{ \frac{S_4}{4(1-R^2)} \left[\left(\frac{1}{h}-h\right) - \sqrt{\left(\frac{1}{h}+h\right)^2 - 4R^2} \right] \right\}, \quad (16)$$

та при $S_4 < 0$:

$$W(S_4) = \frac{1}{2\sqrt{\left(\frac{1}{h}+h\right)^2 - 4R^2}} \exp \left\{ -\frac{S_4}{4(1-R^2)} \left[\left(\frac{1}{h}-h\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{h}+h\right)^2 - 4R^2} \right] \right\}, \quad (17)$$

де $h^2 = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$, а σ_1^2 і σ_2^2 - дисперсії ортогонально поляризованих компонент луна-сигналів.

Середнє значення і дисперсія параметра Стокса S_4 визначаються з умови:

Середнє значення і дисперсія параметра Стокса S_4 визначаються з умови:

умови:

$$m_{S_4} = 2 \left(\frac{1}{h} - h \right); \quad (18)$$

та

$$\sigma_{S_4}^2 = 4 \left(\frac{1}{h^2} + h^2 - 2R^2 \right). \quad (19)$$

Статистичні характеристики параметрів Стокса S_2 та S_3 в лінійних поляризаційних базисах інваріантні (16) і (17) параметра S_4 .

Кількість інформації в поляризаційних луна-сигналах з невизначеністю в їх тимчасової і поляризаційної структурах, не залежить від виду розкладання, а визначається відношенням h^2 , видом кореляційної функції процесу і статистикою часових похибок відліків системи луна-сигналів. Через те, що в процесі радіолокаційного спостереження навігаційних об'єктів виникають заважаючі відбиття від атмосферних утворень, невизначеність позначається на поляризаційних параметрах луна-сигналу і на тимчасових положеннях системи луна-сигналів. Спостережувані судновою РЛС навігаційні об'єкти поляризаційно не ізотропні, тому відбита електромагнітна хвиля повторює тимчасову структуру випромінюваного антеною суднової РЛС сигналу і її поляризаційний стан відрізняється від поляризаційного стану випромінюваної хвилі. Тоді моделлю луна-сигналу в сукупності відбитих імпульсів від навігаційного об'єкта і атмосферного утворення є відрізок випадкової функції $E_{\text{сид}}(t)$, заданої на інтервалі $0 \dots T$, сумою кінцевого числа n елементів розкладання:

$$E_{eio}(t) = \sum_{i=1}^n E_{eio}(t_i) \varphi(t-t_i), \quad (20)$$

де $E_{eio}(t)$ і $E_{eio}(t_i)$ - двокомпонентні вектори, зумовлені моментом появи імпульсів t_i ;

$\varphi(t-t_i)$ - фазова складова тимчасової структури поляризаційних компонент луна-сигналу навігаційного об'єкта.

При наявності атмосферного утворення в процесі радіолокаційного прийому антеною суднової РЛС його луна-сигналу, як заважаючого впливу, з'являється невизначеність $E_{np}(t, \xi)$, яка позначається на поляризаційних параметрах сигналу і на тимчасових положеннях системи радіолокаційних сигналів:

$$E_{np}(t, \xi) = \sum_{i=1}^n E^{Sc} \left(t_i + \lambda_{\xi}^i \right) \varphi \left(t_i - \lambda_{\xi}^i \right), \quad (21)$$

де ξ - випадкові похибки, що відповідають луна-сигналам атмосферного утворення;

λ_{ξ}^i - коефіцієнти часових похибок вибірок.

Імовірнісні характеристики стаціонарного випадкового процесу (20) і випадкових похибок ξ і λ_{ξ}^i визначаються багатовимірними нормальними законами розподілу, центрованими своїми середніми значеннями.

Тоді кількість інформації $I(E_{np}, E_{np}(\xi))$, що міститься в луна-сигналі $E_{np}(t, \xi)$ про вихідний сигнал $E_{np}(t)$, визначається наступним чином [2,3]:

$$I(E_{np}, E(\xi)) = \frac{1}{2} \ln \frac{B_{E(\xi)} E(\xi)}{\left| B_{E(\xi)E(\xi)} - B_{E(\xi)} B_{EE}^{-1} B_{EE(\xi)} \right|}, \quad (22)$$

де $B_{EE}, B_{E(\xi)E(\xi)}, B_{EE(\xi)}, B_{E(\xi)E}$ - кореляційні матриці, елементи яких знаходяться як скалярні добутки відповідних векторів E_{np} и $E_{np}(\xi)$.

Відповідно до (22) кількість радіолокаційної інформації в поляризованому луна-сигналі з невизначеністю в тимчасовій і поляризаційній структурах визначається відношенням h^2 , видом кореляційної функції, що задається поляризаційними параметрами Стокса і статистикою часових похибок відліків системи радіолокаційних сигналів.

При аналізі інформації на індикаторі суднової РЛС або дисплеї комп'ютера щодо поляризаційної системи луна-сигналів навігаційного об'єкта, який знаходиться в зоні атмосферного утворення, можна скористатися системою класифікації процедур прийняття рішення за принципом «визначеність-ризик-невизначеність».

Рішення при визначеності:

- якщо відносно кожного значення параметрів Стокса луна-сигналу на виході приймальної системи суднової РЛС приймається рішення про наявність тільки луна-сигналу навігаційного об'єкта.

Рішення при ризику:

- якщо кожне значення параметрів Стокса луна-сигналу на виході приймальної системи суднової РЛС призводить до одного з декількох рішень, причому кожне рішення має відому ймовірність прийнятого рішення.

Рішення при невизначеності:

- відмінне від рішення при ризику тим, що немає стійких статистичних закономірностей і тому вірогідність результатів для приймаючого рішення за значеннями параметрів Стокса оператору суднової РЛС відомо.

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

Використання матриці розсіювання, елементами якої є дійсні параметри Стокса, що дозволяють отримувати характеристики невизначеності усередненням вибіркової реалізації даного ансамблю луна-сигналів на кінцевому просторово-часовому інтервалі, підвищує надійність прийняття рішення за луна-сигналом на індикаторах суднової РЛС про наявність зустрічного навігаційного об'єкта в екстремальних умовах середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Потехин В. А. Программно-целевые методы создания бортовых радиолокационных систем. [В кн. Поляризация сигналов в сложных транспортных радиоэлектронных комплексах; под ред. А. И. Козлова, В. А. Сарычева] / В.А. Потехин, В.А. Сарычев. - СПб.: Хронограф, 1994. – С. 57-97.
2. Авишев В. Б. Моделирование полей сложной поляризационной структуры. [В кн. Поляризация сигналов в сложных транспортных радиоэлектронных комплексах; под ред. А. И. Козлова, В.А. Сарычева] / В.Б. Авишев, Ю.И. Палагин, В.А. Сарычев. – СПб.: Хронограф, 1994. – С. 312-341.
3. Авишев В. Б. Анализ неопределенности при исследовании поляризационного состояния сигналов транспортных радиоэлектронных комплексов. [В кн. Поляризация сигналов в сложных транспортных радиоэлектронных комплексах; под ред. А. И. Козлова, В. А. Сарычева] / В. В. Авишев, О.М. Исаева, В.А. Сарычев, А.А. Семенов. – СПб.: Хронограф, 1994. – С.418-454.