

Трофименко І.В.

ОСОБЛИВОСТІ ВИЯВЛЕННЯ МОРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ В СУДНОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

У ході використання радіолокаційних систем для оцінювання навігаційної обстановки, визначення безпечного курсу судна здійснюється на основі послідовного виконання кількох етапів, серед яких можна виділити пошук, виявлення і розпізнавання морського об'єкта з подальшою обробленням результатів радіолокаційних вимірювань. Найбільший інтерес виявляють етапи, пов'язані з перебуванням та ідентифікацією морського об'єкта. Тому в статті розглядаються особливості виявлення й ідентифікації морського об'єкта на основі визначення ефективної площі розсіювання.

***Ключові слова:** навігаційне забезпечення, судноводіння, радіолокаційні системи, радіолокаційний сигнал, навігаційна безпека.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та зв'язок її з важливішими практичними завданнями. Серед технічних засобів навігаційного забезпечення судна особливе місце посідають системи прокладання безпечного курсу, які визначають відстань між судами під час управління, а також щодо інших морських об'єктів на основі використання суднових РЛС [1–3]. Дані суднових РЛС завчасно здійснюють виявлення різних морських об'єктів і визначають відстань до судна в умовах обмеженої видимості.

Крім цього, суднові радіолокаційні засоби у відкритому морі дають можливість визначити навігаційне положення судна, берегову лінію в прибережних водах, де можна зустріти малі судна, яхти та інші морські об'єкти. Організація радіолокаційного спостереження, в тому числі в умовах хорошої видимості, повинна відповідати встановленим вимогам [4–7], щоб повністю оцінити ситуацію і забезпечити безпеку судноводіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури [1–11] засвідчив, що поряд з позитивними властивостями суднові РЛС мають низку недоліків пов'язаних з точністю визначення координат морських об'єктів, а також похибки вимірювань поточних параметрів. Усі ці недоліки пов'язані з радіолокаційним обладнанням і зокрема з умовами функціонування радіосистеми, що впливають на характеристики серед яких можна виділити такі як: радіоелектронні перешкоди; хвилювання моря; метеорологічні аномалії; мала зображувальна здатність деяких суден (морських об'єктів); радіолокаційний пеленг точного місцеположення судна; своєчасна оцінка зміни курсу судна на близькій відстані; тіньові зони РЛС.

Формулювання цілей статті. В результаті спостереження за радіолокаційним визначенням судна (морських об'єктів), необхідно оцінити наявність небезпеки судноводіння.

Тому об'єктом дослідження є визначення особливостей виявлення морських об'єктів в суднових радіолокаційних системах.

Виклад матеріалів дослідження.

Особливості науково-методологічного підходу до процесу виявлення судна з використанням суднових РЛС. Більшість алгоритмів оброблення відбитих сигналів радіолокацій отримано для математичних моделей сигналів і перешкод, що ідеалізуються. Як перешкоду зазвичай розглядався внутрішній шум приймального пристрою, що справедливо за відсутності зворотного розсіювання радіохвиль від схвильованої поверхні моря [8, 9].

Однак у ближній зоні огляду суднової РЛС останнє є основним джерелом перешкод і в багатьох випадках обмежує виявлення ехо-сигналів від морських об'єктів. Для розроблення

оптимальних алгоритмів виявлення й оцінення параметрів відбитих сигналів радіолокацій необхідне знання їх статистичних характеристик, а також параметрів зворотного розсіяння від схвильованої поверхні моря.

Наразі відомо кілька теорій, що пояснюють механізм зворотного розсіяння поверхнею моря електромагнітної енергії радіохвиль СВЧ діапазону: краплинна теорія, фацетна теорія, статистичний підхід і, нарешті, теорія вибіркового розсіяння [8 – 11]. Сфера застосування кожною з названих теорій обмежується низкою прийнятих допущень і припущень.

Теорія вибіркового розсіяння електромагнітних хвиль дрібнодисперсними елементами хвилювання (брижами) найкраще пояснює частотну, просторову й тимчасову експериментальні залежності для малих кутів ковзання, характерних для суднової радіолокації. Водночас різноманітність умов виявлень надводних об'єктів (тип об'єкта, хвилювання, дальність, пеленг) не дає можливості розробити узагальнену математичну модель зворотного розсіяння й отримати теоретичні характеристики ехо-сигналів від надводних об'єктів на тлі перешкод, що їх створює море.

Основним методом визначення статистичних характеристик ехо-сигналів залишаються натурні дослідження, за яких враховують всі чинники, що обумовлюють флуктуації ехо-сигналів від надводних об'єктів. Найважливішою характеристикою будь-якого об'єкта радіолокації є його ефективна площа розсіяння (ЕПР), яку визначають як деяку однорідну площу, розташовану в точці перебування об'єкта і яка створює в антені РЛС таку саму потужність відбитого сигналу, як і об'єкт радіолокації. Вона залежить від лінійних розмірів, форми й матеріалу об'єкта, а також від напрямку опромінення (ракурсу), довжини й поляризації електромагнітної хвилі. Ефективна площа розсіяння об'єктів простої форми з однорідного матеріалу, що ідеально відображає, може бути визначена аналітично.

Дослідження авторів [8–11] засвідчили, що ЕПР для надводних об'єктів простої форми можна розрахувати завдяки теоритичним розрахункам представленим у [32, 64], які можна використовувати на практиці. У таблиці 1 наведено аналітичні залежності ЕПР морських об'єктів простої форми залежно від різних геометричних форм.

Для цього визначається безпосередній вимір потужності відбитих ехо-сигналів залежно від відстанійі напрямку опромінення. Це пов'язано з особливостями побудови морських суден.

Таблиця 1

Аналітичні залежності ЕПР морських об'єктів простої форми

Тип морського об'єкта	Аналітичний вираз
Металева куля	$\sigma = 0,25\pi d_{\text{ш}}^2$
Квадратний металевий аркуш	$\sigma = 4\pi S^2 \lambda^{-2}$
Кутковий відбивач з трикутними гранями	$\sigma \approx 1,33\pi \alpha^4 \lambda^{-2}$
Кутковий відбивач з квадратними гранями	$\sigma = 4\pi \alpha^4 \lambda^{-2}$

Це призводить до того, що опромінювана поверхня змінюється у залежності від напрямку опромінення, яка впливає на потужність зворотного розсіяння. Ця залежність визначається експериментально [12].

У джерелах [12, 13, 14] на основі проведених натурних досліджень отримано колові діаграми ефективної площі розсіяння деяких типів суден. У цьому разі особливістю визначення ЕПР судна типу танкер є нестійкість по азимуту, яка наводить до максимального значення в разі опромінення з борту і мінімального в разі опромінення з носа або корми (при цьому різниця вимірів сягає до 8 дБ і може відрізнятися на 10 дБ за зміни напрямку опромінення на 30°) [15].

Значення ЕПР суден малого й середнього тоннажу в разі опромінення з корми більше, ніж з носа, і становить близько 10–15 %, а великотоннажних суден, особливо танкерів на 30–35 % [12, 15]. Такі зміни ЕПР пояснюються особливостями будови суднових надбудов.

Визначення ЕПР морських буїв з кутковими відбивачами радіолокацій – нерівномірно за азимутом: воно має яскраво виражені максимуми мінімуми в разі зміни напрямку опромінення на 45° і може відрізнятись до двох разів [6].

Крім цього, зазначено, що на малих дальностях ЕПР морських суден від відстані залежить мало. А в разі видалення відбувається різкіше зменшення ЕПР, причому в трисантиметровому діапазоні радіохвиль цей момент настає на великих дальностях [13]. Так середні значення ЕПР в ближній зоні огляду РЛС зменшуються на 3–5 дБ, а в далекій зоні – на 10–15 дБ [13].

Таку залежність ЕПР від дальності можна пояснити відмінностями в зміні функції послаблення в різноманітних діапазонах радіохвиль. Спадний характер залежності ЕПР від дальності пояснюється частковим зсувом рухомого морського об'єкта з зони опромінення нижньою пелюсткою діаграми спрямованості антени.

Визначаючи залежність ЕПР суден від інтенсивності хвилювання, необхідно враховувати, що флуктуації ЕПР відбуваються одночасно як за рахунок хитамиці, так і за рахунок ризання по курсу, яке призводить до зміни напрямку опромінення. Так, середня ЕПР для танкера на відстані 9–14 миль за збільшення хвилювання від 1 до 3 балів зменшується на 7,5 дБ [13]. У разі інтенсивного хвилювання залежність ЕПР танкера від дальності має рівномірний характер. Відмітною особливістю є також наявність зони пересікання на дальності близько 12–15 миль. Зменшення середньої ЕПР суден у разі хвилювання спричиняє зниження ймовірності їх виявлення. На рисунку 1 наведено залежність ймовірності виявлення танкера водотоннажністю 20 тис. т від інтенсивності хвилювання за опромінення з корми.

З аналізу рисунка 1 випливає, що на відстані 12–18 миль ймовірність виявлення зі збільшенням інтенсивності хвилювання різко зменшується. При цьому інтенсивність зворотного розсіяння опромінюваної схвильованої поверхні моря залежить від її властивостей і площі. Остання визначається роздільною здатністю суднової РЛС, а також дальністю до опромінюваної ділянки моря. Властивості морської поверхні, що відображають, залежать від інтенсивності хвилювання, кута між напрямом опромінення й фронтом морської хвилі, а також від довжини й поляризації електромагнітної хвилі.

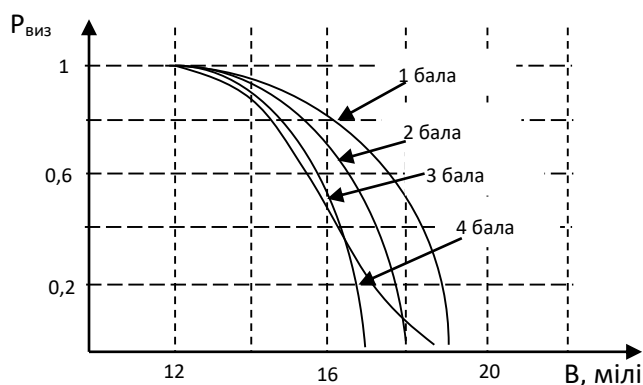


Рис. 1. Графік залежності виявлення судна в різних умовах хвилювання морської поверхні

Окрім цього, дослідження засвідчили, що зі зростанням хвилювання морської поверхні ЕПР морського об'єкта як при горизонтальній, так і при вертикальній поляризації електромагнітної хвилі змінюється [11].

При цьому є деякі критичне значення кута ковзання, після якого зміна ЕПР морського об'єкта сповільнюється. Згідно з теорією вибіркового розсіяння інтенсивність зворотного розсіяння поверхнею моря електромагнітної енергії визначається головним чином низькодисперсійними утвореннями, що виникають на поверхні великих гладких хвиль під

де Φ_t – коефіцієнт використання ЕПР морського об'єкта, що залежить від положення зондувального імпульсу ($0 \leq \Phi_t \leq 1$) щодо його виявлення та кількості точок потрапляють в заданий проміжок.

Таким чином, коефіцієнт використання ЕПР морського об'єкта можна охарактеризувати як

$$\sigma_t = AV_t \sigma_0, \quad (3)$$

де A – множник, що характеризує обвідну радіоімпульсу;

V_t – параметр виявлення морського об'єкта

Однак під час визначення повної ЕПР морського об'єкта у разі забезпечення навігаційної безпеки обчислення виразу (3) не має сенсу, оскільки є обчислювальні труднощі, що призводить до пошуку інших можливостей до обчислення заданої ЕПР.

Таким чином, питання визначення характеристик точкових, зосереджених і протяжних елементів моделей морського об'єкта доцільно розглядати окремо. При цьому необхідно враховувати їх геометричні характеристики щодо властивостей, які відображають морський об'єкт.

Зосереджений об'єкт.

Розглядаючи зосереджені РЛМ як різновид розподілених РЛМ, можна кожен з них уявити обмеженою кількістю M_0 точкових елементів (точкових РЛМ). При цьому їх геометричними характеристиками буде сукупність величин, які задають положення останніх щодо антени РЛС.

В цьому випадку для повної ЕПР зосередженої РЛМ σ_c будуть справедливо наведені в роботах [10–14] співвідношення

$$\sigma_c = \sum_{m=1}^{M_0} \sigma_m + 2 \sum_{m \neq m^*}^{M_0} \sqrt{\sigma_m \sigma_{m^*}} \cos \Delta \alpha_{mm^*}. \quad (4)$$

де $\Delta \alpha_{mm^*} = \alpha_m - \alpha_{m^*}$ – різниця фаз сигналів, відбитих від m -го та m^* -го точкового елементів.

Для конкретного об'єкта спостереження, який представляють зосередженою радіолокаційною моделлю, кількість точкових елементів M_0 є функцією ракурса: $M_0 = M_0(Q)$.

Таким чином, зосереджену радіолокаційну модель морського об'єкта спостереження можна подати у вигляді сукупності обмеженої кількості незалежних точкових елементів, кількість, фази вторинних полів і ЕПР яких, більш-менш, залежать від його ракурсу.

Наразі досліджені тільки окремі випадки такої моделі, наприклад модель з нескінченно великою кількістю незалежних точкових елементів (модель Делано) [12] та гантельна модель [13].

У будь-який заданий момент часу в формуванні відбитого від зосередженої РЛМ сигналу бере участь не вся її ЕПР σ_c , а лише ЕПР сукупності точкових елементів σ_{tc} , що знаходяться в зоні опромінення. Величини σ_c та σ_{tc} при $A=1$ з'язуються співвідношенням

$$\sigma_{tc} = V_{tc} \sigma_c. \quad (5)$$

Вираз для величини σ_{tc} можна також отримати шляхом заміни (4)

$$\sigma_{tc} = \sum_{m_p=1}^{M_p} \sigma_{m_p} + 2 \sum_{m_p \neq m_p^*}^{M_p} \sqrt{\sigma_{m_p} \sigma_{m_p^*}} \cos \Delta \alpha_{m_p m_p^*} . \quad (6)$$

де $M_0 \geq M_p > 0$.

Заміна індексу m на m_p обумовлена різним порядком нумерації точкових елементів РЛМ у співвідношеннях (4) і (6).

Підставивши вирази (4) і (6) в (5), помічаємо, що множник B_{tc} знаходиться в складній функційній залежності від величин M_0 , M_p , σ_m та $\Delta \alpha_{mm^*}$. Для відомих об'єктів спостереження і навігаційної РЛС з незмінними параметрами зондувального поля, зазначену функційну залежність величини B_{tc} можна представити у вигляді

$$B_{tc} = B_{tc}(Q, D_0, h_0, h_A, D_{MO} - D_0, \varphi_{MO} - \varphi_0, \psi_{MO} - \psi_0) , \quad (7)$$

де $D_{MO}, \varphi_{MO}, \psi_{MO}$ – відносні координати геометричного центру імпульсного обсягу суднового РЛС.

Таким чином, з виразу (7) очевидно, що навіть в разі спостереження за допомогою суднових РЛС з незмінними параметрами зондувального поля нерухомої зосередженої РЛМ ($\sigma_c = \text{const}$) величина ЕПР σ_{tc} в процесі огляду буде змінюватися за рахунок зміни в часі положення імпульсного обсягу суднової РЛС (де $D_{MO}, \varphi_{MO}, \psi_{MO}$ – змінні величини).

Набір статистичних характеристик σ_c та σ_{tc} може бути отримано за методикою, аналогічною наведеній для точкової РЛМ. При цьому з виразу (7) випливає, що в i -й проміжку часу, коли $M_0 = \text{const}$, а $\sigma_{tc}(t)$ утворює стаціонарний процес; внаслідок зміни модулюючого множника B_{tc} процес зміни величини, а σ_{tcc} в загальному випадку буде нестаціонарним.

Протяжний об'єкт.

ЕПР i -го точкового елемента протяжної РЛМ можна визначити з виразу

$$\sigma_{yDm} = \frac{\sigma_m}{\Psi_T} , \quad (8)$$

де Ψ_T – величина частини об'єкта спостереження, що подається m - точковим елементом.

Залежно від типу радіолокаційної моделі морського об'єкта (об'ємної, поверхневої або лінійної) ця величина має відповідну розмірність: m^3 , m^2 або m .

Підставивши σ_m з (8) в (6), отримаємо вираз для ЕПР $\sigma_{tП}$ протяжної РЛМ, що бере участь у формуванні відбитого сигналу [12, 15]

$$\sigma_{tП} = \Psi_T \left(\sum_{m_p=1}^{M_p} \sigma_{yDm_p} + 2 \sum_{m_p \neq m_p^*}^{M_p} \sqrt{\sigma_{yDm_p} \sigma_{yDm_p^*}} \cos \Delta \alpha_{m_p m_p^*} \right) . \quad (9)$$

Якщо потім провести статичне усереднення за умови, що величини $\Delta\alpha_{m_p m_p^*}$ в інтервалі $0 - 2\pi$ розподілені рівномірно, то для середнього значення параметра $\sigma_{t\Pi}$ отримаємо вираз

$$\bar{\sigma}_{t\Pi} = \psi_T \sum_{m_p=1}^{M_p} \bar{\sigma}_{yДmp} = \psi_T M_p \bar{\sigma}_{yД}, \quad (10)$$

де $\bar{\sigma}_{yД}$ – середня питома ЕПР протяжної РЛМ.

Відзначимо, що для величини M_p буде справедливе співвідношення

$$M_p = A\delta M_{\max}, \quad (11)$$

де δ – коефіцієнт заповнення зони опромінення суднової РЛС;

M_{\max} – максимально можлива кількість точкових елементів протяжної РЛМ, що одночасно знаходяться в зоні опромінення.

З урахуванням останнього рівність (10) можна представити в остаточному вигляді

$$\bar{\sigma}_{t\Pi} = A\delta M_{\max} \psi_T \bar{\sigma}_{yД} = A\delta \psi_{\max} \bar{\sigma}_{yД}, \quad (12)$$

де ψ_{\max} – максимальна частина протяжної РЛМ, що знаходиться в заданий момент часу в зоні опромінення.

Таким чином, величина ЕПР реальних морських об'єктів спостереження на море знаходиться в складній функційній залежності від великої кількості факторів. Це обумовлює труднощі у визначенні статистичних характеристик ЕПР таких морських об'єктів теоретичним шляхом. Тому наразі широкого поширення набула практика отримання їх в результаті проведення натурних експериментальних досліджень.

Особливості врахування параметрів ехо-сигналів в динамічних умовах

Результуючий ехо-сигнал на виході приймача суднової РЛС зазвичай схильний до флуктуацій. Амплітуда і частота цих флуктуацій обумовлені багатьма чинниками: флуктуацією ЕПР опромінюваного надводного об'єкта, викликану хитами; зміною взаємного положення діаграми спрямованості опромінюючої антени РЛС і діаграми зворотного розсіяння надводного об'єкту; інтерференцією прямого і відбитого від морської поверхні ехо-сигналів; впливом зворотного розсіяння схвильованої поверхні моря; зміною умов поширення радіохвиль в приводном шарі атмосфери і, нарешті, дією внутрішніх шумів приймача радіолокації. Виділити окремі складові флуктуацій дуже важко [1–11].

Тому як найповніше і точніше уявлення про цей процес можна отримати лише за натурних досліджень певних типів надводних об'єктів за конкретних дальностей, інтенсивностях хвилювання і напрямках опромінення [12,16].

Однією з важливих характеристик, визначуваних за натурних дослідженнях, є також розподіл амплітуд результуючого ехо-сигналу. Характер флуктуацій ехо-сигналів від надводних об'єктів змінюється в часі, що пояснюється нестаціонарністю хвилювання моря і зворотного розсіяння об'єкту, особливо в ближній зоні огляду. Це зумовлено виходом надводного об'єкту із зони опромінення нижньої пелюстки діаграми спрямованості антени що опромінює РЛС. Якщо ж виробляти аналіз інформації радіолокації за обмежений проміжок часу, рівний декільком десяткам зворотів антени, коли параметри морського хвилювання (середні висота, період і довжина гребеня) не встигають істотно змінитися, то процес

флуктуацій відбитих сигналів радіолокацій можна трактувати як стаціонарний. Такий підхід в значній мірі спрощує обробку результатів спостережень.

У роботі [10] продемонстровано результати натурних експериментів, в яких флуктуація амплітуд ехо-сигналів від морських об'єктів за допомогою суднових РЛС виконувалися в різних районах морів і океанів. При цьому, особлива увага зверталася на стабільність умов, в яких вироблялися виміри: інтенсивності хвилювання моря, напрями опромінення відносно фронту морської хвилі, висоти установки антени і енергетичного потенціалу що опромінює РЛС. Оцінка інтенсивності хвилювання моря вироблялася по висоті хвилі за допомогою дев'ятибальної шкали у відповідності методичних рекомендацій [11]. В результаті натурних досліджень визначено, що розподіл амплітуди відбитого радіосигналу залежить від інтенсивності хвилювання [12].

При цьому, у відповідності теоретичним законам розподілу дозволяє приблизно вважати, що в сантиметровому і дециметровому діапазонах радіохвиль при незначному хвилюванні морить розподіл амплітуд ехо-сигналів від малих надводних об'єктів наближається до розподілу згідно із законом Райса, а при зростанні хвилювання до 5 балів переходить в розподіл Релея. У ближній зоні огляду суднових РЛС зворотне розсіяння поверхнею моря незрідка перевершує ехо-сигнали від малих морських об'єктів.

Як засвідчили результати проведених раніше досліджень гранична дальність дії зворотного розсіяння схвильованою поверхнею моря в сантиметровому діапазоні радіохвиль при хвилюванні 3-4 бали складає 30%, і при хвилюванні 5 балів – 40 % від дальності радіогоризонту. При звичайних висотах установки антен суднових РЛС (15-20 м) дальність радіогоризонту складає 8-10 миль, а дальність дії зворотного розсіяння схвильованою поверхнею моря досягає 3-4 миль. Дані результати добре узгоджуються з теорією вибіркового розсіяння, що трактує зворотне розсіяння як результат дзеркального і дифузного віддзеркалень [10–13].

Продовжуючи аналізувати результати проведеного експерименту [13], можна дійти висновку, що за малих кутів ковзання, характерних для суднової радіолокації, інтенсивність зворотного розсіяння визначається головним чином дифузною складовою, яка створюється дрібними нерівностями морської поверхні [11, 12]. Дійсно, збільшення дальності зумовлює зменшення ехо-сигналу від морського об'єкту і одночасно наводить до зростання опромінюваної поверхні моря, унаслідок чого стає більше і число елементарних відбивачів на цій поверхні. При цьому, фази ехо-сигналів від елементарних відбивачів випадкові і вірогідність прийому відбитого сигналу радіолокації від будь-якого з них вважається незалежною [13, 14]. Тому при збільшенні числа елементарних відбивачів на опромінюваній поверхні моря розподіл амплітуд ехо-сигналів наближається до розподілу Релея.

Процес зворотного розсіяння схвильованою поверхнею моря носить дуже складний характер, який залежить не лише від інтенсивності хвилювання і нерівномірності морської поверхні, але і від напрями опромінення відносно до фронту морських хвиль (особливо в зазі двовимірного хвилювання і добре окреслених гребенів). Для визначення міри впливу цього чинника на розподіл амплітуд ехо-сигналів від малих морських об'єктів необхідно провести дослідження за допомогою суднових РЛС, радіохвиль, що працюють в сантиметровому діапазоні. Так само необхідно враховувати характер розподілу амплітуд ехо-сигналів при переході від опромінення назустріч до опромінення по ходу морської хвилі, що викликається різними кутами ковзання переднього і заднього фронтів морських хвиль [14, 15].

Крім цього, морські об'єкти, що знаходяться на схвильованій поверхні моря, мають складну, таку, що змінюється в часі структуру, що складається із зосередженої інтенсивно частини (квазідетермінована складова), що відображає, і просторово-розподіленої частини, що відображає, утвореної елементарними відбивачами довільно розташованими на опромінюваній ділянці поверхні моря (випадкова складова) [16, 17]. Квазідетермінована складова може також з'являтися і за рахунок зворотного розсіяння від великих регулярних хвиль при напрями опромінення нормально фронту морської хвилі. У ряді робіт наводяться

результати досліджень співвідношення квазідетермінованою і випадковою складових зворотного розсіяння схвильованої поверхні моря [16, 17].

Для опису розподілів ехо-сигналів, що отримуються при роботі суднових РЛС з високою роздільною здатністю, застосовують складені нормальний і логарифмічно-нормальний розподіли [18]. Проте вони не ґрунтуються на відомих теоріях розсіяння радіохвиль схвильованою морською поверхнею і через це мають обмежене вживання. Тому, результати досліджень статистичних характеристик ехо-сигналів в умовах перешкод, що створюються схвильованою поверхнею моря, використовують у проектуванні сучасних суднових РЛС. Для визначення відношення сигнал/перешкода при заданій вірогідності правильного виявлення і помилкової тривоги необхідно знати статистичні характеристики перешкод від схвильованої поверхні моря, зокрема, функцію щільності вірогідності. Останні багато в чому залежить від метеорологічних умов регіону. Тому при проектуванні судновий РЛС необхідно враховувати можливе зниження вірогідності правильного виявлення при плаванні в районах інтенсивного хвилювання. Зміна статистичних характеристик перешкод, що створюються морським середовищем, враховується при розробці адаптивних суднових РЛС, які своєчасно враховуються в разі зміни різних складових тропосферного впливу і хвилювання підстилаючої морської поверхні.

Висновки

1. Проведені дослідження показали, що відбитий сигнал радіолокації в процесі його поширення схильний до різного впливу. Тому, в ході подальших досліджень необхідно враховувати як особливості метеорологічних змін в тропосфері так і хвилювання поверхні моря. Вплив підстилаючої морської поверхні призводить до зміни відбитих властивостей ехо-сигналу (діелектричній проникності) і зокрема погіршення роздільною здатністю судновий РЛС.

2. Виявлення і розпізнавання морського об'єкту здійснюється судновою РЛС на основі визначення ефективної площі розсіяння, якою характеризується морський об'єкт спостереження за рахунок визначення його площі в залежності ракурсу опромінення.

3. При цьому в ході опромінення визначено, що при збільшенні хвилювання морської поверхні відбувається зміна якості прийому сигналу радіолокації, оскільки відбуваються як низькочастотні так і високочастотні флюктуації ехо-сигналів.

4. Враховуючи отримані знання і експериментальні дані в ході досліджень, що проводяться, були розроблені механізми розрахунку ЕПР морського об'єкту в нестационарних умовах. Дані механізми застосовні як для точкового, так і для зосередженого і протяжного морського об'єкту. Особливістю розроблених механізмів, є те, що однозначно визначається точковий елемент ділянки морського об'єкту, з можливістю подальшого його оцінювання в просторі. Окрім цього визначено залежність яка характеризує функціональну залежність і значення параметрів, які впливають на визначення ЕПР морського об'єкту.

5. Розглянуті властивості морської поверхні, що відображають, які залежать від інтенсивності хвилювання моря. Визначені і розглянуті механізми виникнення низькодисперсійних утворень. Також пояснюються процеси взаємовпливу метеорологічних і гідрологічних сфер, що змінюють підстилаючу морську поверхню у відповідність певних законів розподілу і впливають також на поширення ехо-сигналу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексишин А.В. Выявление ситуаций опасного сближения судов с помощью граничных пеленгов в автоматизированных комплексах судовождения / А. В. Алексишин // Проблемы техники : научно- производственный журнал ОНМУ. – Одесса, 2013. – № 1. – С. 117–123.

2. Аникишин Н.С. Развитие электронной техники радиолокационных систем / Аникишин Н.С, Быстров Р.П., Кузнецов Е.В., Михайлов Д.Ю., Соколов А.В., Чесноков Ю.С. // Успехи современной радиоэлектроники, 2005, № 10, с. 24 –58.
3. Анучич О.Н. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов / О.Н. Анучич, Г.И. Емельянец / Под общей ред. В.Г. Пешехонова. – СПб.: ЦНИИ Электроприбор. 1999. – 357 с.
4. Афанасьев В.В. Судовые радиолокационные системы / Афанасьев В.В., Маринич А.Н., Припотнюк А.В., Устинов Ю.М. / под общ. ред. Ю.М. Устинова. – М. : Веленара, 2010. – 336 с.
5. Байрашевский А. М. Судовые радиолокационные системы / А.М. Байрашевский, Н.Т. Ничипоренко. – М.: Транспорт. 1982 – 311 с.
6. Баранов Ю.К. Использование радиотехнических средств в морской навигации / Ю.К. Баранов – М.: Транспорт, 1988. – 208 с.
7. Безбородов Г.И. От стратегии e-Навигации к концепции и-Акватории / Г.И. Безбородов, М.И. Исмагилов. // Морской вестник. – 2017. – №1(61). – С. 77-81.
8. Бень А. П. Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений / А. П. Бень // Вестник ХНТУ: сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета. – 2009. – Вып. 1 (34). – С. 429-433.
9. Бень А. П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія / Бень А.П. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010): матеріали другої науково-практичної конференції (Херсон, 25–27 травня 2010 р.). – Херсон : Видавництво ХДМІ, 2010. – Т. 1. – С. 8–11.
10. Бень А.П. Особливості побудови сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден / А.П. Бень, І. В. Паламарчук // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. ХДМА, № 1 (14), 2016. С. 4-10.
11. Березин С. А. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С. А. Березин, Б.А. Тетюев. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.
12. Богомья В.І., Навігаційне забезпечення управління рухом суден / В.І. Богомья, В.С. Давидов, В.В. Доронін, Д.П. Пашков, І.В. Тихонов – К.: ДВВП «Компас». 2012. – 336 с.
13. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах / М. Букингем – М.: Мир, 1986.– 399 с.
14. Вагущенко Л.Л. Алгоритм выработки рекомендаций по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко // Судовождение: сб. науч. трудов ОНМА. – Одесса : ИздатИнформ, 2012. – Вып. 21. – С. 42–50.
15. Шапран Ю.Є., Трофименко І.В. Метод статистичного оцінювання та прогнозування параметра потоку відмов агрегатів системи автоматичного керування судових комплексів за даними експлуатаційних спостережень/ Ю.Є. Шапран, І.В. Трофименко// Стандартизація, сертифікація, якість. – Х.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.– Вип. 1 (104).– С.52–56.
16. Мусорин А.А., Шапран Ю.Э., Трофименко И.В. Анализ методов прогнозирования для определения технических параметров судового оборудования / А.А. Мусорин, Ю.Э. Шапран., І.В. Трофименко // Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy.–2017.– №2.–С.115–119.
17. Тимощук О.М., Шапран Ю.Є., Трофименко І.В. Функція невизначеності двоантенних радіометричних комплексів/ О.М. Тимощук, Ю.Э. Шапран., І.В. Трофименко// Стандартизація, сертифікація, якість. – Х.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.– Вип. 2 (105).–С.79–84.
18. Мусорин О.О., Шапран Ю. Є., Трофименко І.В. Особливості аналітичного забезпечення експлуатації суден у сучасних умовах/ О.О. Мусорин, Ю. Є. Шапран., І.В. Трофименко // Наукові записки українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2017. – №1(45)– С.117–121.

Трофименко И.В.

ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ В СУДОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В ходе использования радиолокационных систем для оценки навигационной обстановки, определения безопасного курса судна осуществляется на основе последовательного выполнения нескольких этапов, среди которых можно выделить поиск, обнаружение и распознавание морского объекта с последующей обработкой результатов радиолокационных измерений. Наибольший интерес проявляют этапы, связанные с пребыванием и идентификацией морского объекта. Поэтому в статье рассматриваются особенности выявления и идентификации морского объекта на основе определения эффективной площади рассеяния.

Ключевые слова: навигационное обеспечение, судовождения, радиолокационные системы, радиолокационный сигнал, навигационная безопасность.

Trofimenko I.V.

THE ISSUE OF IDENTIFICATION OF MARINE OBJECTS IN SHIP'S RADAR SYSTEMS

In the course of using radar systems to assess the navigational situation, the safe course of a ship is determined on the basis of a successive implementation of several stages, among which one can identify search, detection and recognition of a marine object with the subsequent processing of radar measurements. The most interesting are the stages associated with the stay and identification of the marine object. Therefore, the article deals with the features of identifying and identifying a marine object on the basis of determining the effective scattering area.

Key words: navigation support, navigation, radar systems, radar signal, navigation safety.

REFERENCES

1. Aleksyshyn, A.V. (2013), Vujavlenye situaciy opasnogho sblyzheniya sudov s pomoshhju ghranychnukh pelenghov v avtomatyzyrovannukh kompleksakh sudovozhdeniya [Identification of situations of dangerous approach of vessels with the help of border bearings in automated navigation complexes], *Problemy tekhniki*, No.1, pp. 117-123.
2. Anykshyn, N.S., Bustrov, R.P., Kuznetsov, E.V., Mykhailov, D.Yu. and Sokolov, A.V. (2005), Razvytye elektronnoi tekhniki radyolokatsyonnykh system [Development of electronic equipment of radar systems], *Uspekhy sovremennoi radyoelektroniky*, No.10, pp.24-58.
3. Anuchych, O.N. and Emeliantsev, H.Y. (1999), *Yntehryrovannyye systemy oryentatsyy y navyhatsyy dlia morskyykh podvyzhnykh obektov [Integrated orientation and navigation systems for marine mobile objects]*, TsNYY Электроника, SPb., 357 p.
4. Afanasev, V.V., Marynych, A.N., Prypotniuk, A.V. and Ustynov, Yu.M. (2010), *Sudovye radyolokatsyonnyye systemy [Ship radar systems]*, Velenara, Moskva, 336 p.
5. Bairashevskiy, A. M. and Nychyporenko, N.T. (1982), *Radyolokatsyonnyye systemy [Ship radar systems]*, Transport, Moskva, 311 p.
6. Baranov, Yu.K. (1988), *Yspolzovanye radyotekhnicheskyykh sredstv v morskoi navyhatsyy [The operation of radio equipment in marine navigation]*, Transport, Moskva, 208 p.
7. Bezborodov, H.Y. and Ysmahylov M.Y. (2017), Ot stratelyy e-Navyhatsyy k kontseptsyy y-Akvatoryy [From the strategy of e-Navigation to the concept of i-Aquatoria], *Morskoi vestnyk*, No.1(61), pp. 77-81.
8. Ben, A. P. (2009), Metody otsenky opasnosti traektoryy dvyzheniya sudov v systemakh podderzhky pryniatya resheniy [Methods of assessing the danger of the traffic flow in the decision-making systems], *Vestnyk KhNTU: sb. nauch. trudov Khersonskoho natsyonalnoho tekhnicheskoho unyversyteta*, No.1(34), pp. 429-433.

-
9. Ben, A. P. (2010), Pryntsypy pobudovy system pidtrymky pryiniattia rishen sudnovodiia [Principles of Designing Decision Support Systems Shipper], *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti (MINTT-2010): materialy druhoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, May 25–27, 2010, Kherson, p.8-11.
 10. Ben, A.P. and Palamarchuk, I. V. (2016), Osoblyvosti pobudovy suchasnykh vysokotochnykh intelektualnykh system upravlinnia rukhom morskykh suden [Features of construction of modern high-precision intelligent systems for controlling the movement of sea vessels], *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*, No.1(14), pp. 4-10.
 11. Berezyn, S. A. and Tetiuev, B.A. (1990), *Systemy avtomatycheskoho upravleniia dvyzhenyem sudna po kursu* [Systems for automatic control of movement of the vessel according to the course], Sudostroeniye, Leningrad, 256 p.
 12. Bohomia, V.I., Davydov, V.S., Doronin, V.V., Pashkov, D.P. and Tykhonov, I.V. (2012), *Navihatsiine zabezpechennia upravlinnia rukhom suden* [Navigational management of traffic control of vessels], DVVP «Kompas», Kyiv, 336 p.
 13. Bukynhem, M. (1986), *Shumy v elektronnykh pryborakh y systemakh* [Noise in electronic devices and systems], Myr, Moskva, 399 p.
 14. Vahushchenko, L.L. (2012), Alhorytm vyrabotky rekomendatsyi po raskhozhdeniyu s sudamy [Algorithm for elaboration of recommendations on divergence with vessels], *Sudovozhdenye: sb. nauch. trudov ONMA*, No.21, pp.42–50.
 15. Shapran, Yu.Ye. and Trofymenko, I.V. (2017), Metod statystychnoho otsiniuvannia ta prohnozuvannia parametra potoku vidmov ahrehativ systemy avtomatychnoho keruvannia sudnovykh kompleksiv za danymy ekspluatatsiinykh sposterezhen [Method of statistical estimation and forecasting of the parameter of flood failure of aggregates of automatic control system of ship complexes according to operational observations], *Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist*, No.1(104), pp.52–56.
 16. Musoryn, A.A., Shapran, Yu.Э. and Trofymenko, Y.V. (2017), Analiz metodov prohnozyrovannia dlia opredeleniia tekhnicheskyykh parametrov sudovoho oborudovannia [Analysis of forecasting methods for determining technical parameters of ship equipment], *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*, No.2, pp.115–119.
 17. Tymoshchuk, O.M., Shapran, Yu.Ye. and Trofymenko I.V. (2017), Funktsiia nevyznachenosti dvoantennykh radiometrichnykh kompleksiv [Uncertainty function of two-ante radiometric complexes], *Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist*, No.2(105), pp.79-84.
 18. Musoryn, O.O., Shapran, Yu. Ye. and Trofymenko, I.V. (2017), Osoblyvosti analitychnoho zabezpechennia ekspluatatsii suden u suchasnykh umovakh [Features of analytical maintenance of vessels operation in modern conditions], *Naukovi zapysky ukrainskoho naukovo-doslidnoho instytutu zviazku*, No.1(45), pp.117-121.

Рецензент: д.т.н., професор Богомья В.І.,
Державний університет інфраструктури та технологій