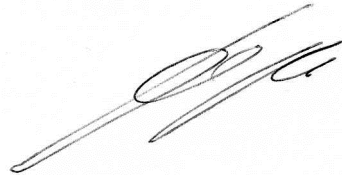


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ
(ОНМА)

Князь Олександр Ігорович



УДК 656.61.052

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО
СПОСТЕРЕЖЕННЯ НАВІГАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ШЛЯХУ СУДНА**

05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидататехнічних наук

Одеса – 2015

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Одеській національній морській академії МОН України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Заїчко Сергій Іванович,
Одеська національна морська академія,
проректор з міжнародних зв'язків

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Федорович Олег Євгенович,
Національний аерокосмічний
університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
завідувач кафедри інформаційних
управляючих систем

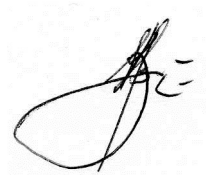
кандидат технічних наук,
Репетей Володимир Дмитрович,
Начальник служби безпеки мореплавства
філіалу «Дельта-лоцман»
ДП «АМПУ»
Міністерства Інфраструктури України

Захист дисертації відбудеться 3 лютого 2016 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 41.106.01 в Одеській національній морській академії за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 1, зал засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської національної морської академії за адресою: Одеса, вул. Дідріхсона 8, корп. 2,

Автореферат розісланий 30 грудня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



Нікольський В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Суднові радіолокаційні системи є головним дистанційним засобом, що забезпечує безпеку судноводіння при будь-яких адекватних погодних умовах шляхом виявлення та розпізнавання об'єктів з наступним вимірюванням їх координат. Незважаючи на постійне удосконалення суднових РЛС і радіолокаційних методів отримання різної інформації про природне і техногенне середовище, в якому перебуває судно, об'єкт радіолокаційного спостереження може залишатися непоміченим. Міжнародні конвенції і резолюції ІМО щодо радіолокаційного обладнання (конвенція SOLAS- правило 19, Резолюція MSC.64(67), 1995; Резолюція A.823(19), 1995; Резолюція A.820(19), 1995; Резолюція MSC.191(79) і MSC.192(79), свідчать про відсутність уніфікованих суднових радіолокаційних методів і комплексів, які дозволяють з високою достовірністю реалізувати функцію спостереження.

Ця обставина викликає у судноводіїв недовіру до представленої радіолокаційної інформації. Тому судновий радіолокатор повинен удосконалюватись у функціональному, структурному та управлінському напрямках для підвищення його цілеспрямованості, надійності, простоти і енергетичної збалансованості, точності, швидкодії та інваріантності управління з використанням методів поляризаційної селекції і накопичення тезауруса. У першу чергу це стосується удосконалення радіолокаційних методів і систем виявлення та розпізнавання об'єктів на шляху судна, що стало актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана з «Концепцією стійкої національної транспортної політики розвитку всіх видів транспорту на 2007-2014 роки» (наказ Мінтрансзв'язку від 05.05.2007 р. № 360), розпорядженням КМ України від 20 жовтня 2010р. № 2174-р, «Транспортна стратегія України на період до 2020 року». Наукові дослідження виконувалися в рамках держбюджетної НДР «Теоретичні основи гарантованої безпеки судноплавства в територіальному морі, внутрішніх водах і портах України» (2010-2012р.р.) № ДР 0110U00280, а також 7-ою рамковою транспортною програмою Європейського союзу проект MOWE - IT «Управління погодними явищами в транспортній сфері» № ДР 0114U000343 (2012-2014 р.р.), грант № 314506, де автор був виконавцем окремих розділів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення безпеки плавання судна в умовах складного ситуаційного стану атмосфери засобами дистанційного спостереження.

Робочою гіпотезою дослідження є теза про існування методів і засобів спостереження радіолокаційних об'єктів в складних ситуаціях атмосферного середовища за рахунок використання суднової РЛС.

Головне завдання дослідження полягало в розробленні методу та засобів підвищення інформаційної ефективності суднових РЛС з використанням поляризаційної селекції.

Для вирішення головного завдання були сформульовані наступні допоміжні завдання:

- аналіз параметрів середовища, що впливають на радіолокаційне спостереження об'єктів;
- оцінка впливу природних перешкод на роботу суднової РЛС;
- радіолокаційне дослідження ситуаційного стану середовища поляризаційними методами;
- вдосконалення радіолокаційного спостереження об'єктів у складних ситуаційних умовах середовища.

Об'єкт дослідження. Атмосферні явища на шляху руху судна.

Предмет дослідження – методи радіолокаційного навігаційного спостереження об'єктів на тлі природних перешкод.

Рішення наукових завдань здійснено наступними методами:

- дедукції - при інформаційному пошуку;
- системного підходу - при виборі теми, мети, завдань і методики дослідження;
- графоаналітичні, чисельні та постановки експерименту - при визначенні зв'язків параметрів атмосферного середовища, об'єкта та електромагнітної хвилі;
- математичної статистики і чисельного аналізу - при оброблянні статистичних параметрів поляризації;
- теорії ймовірності - при розробленні методів розпізнавання об'єктів на тлі природних перешкод;
- еквівалентності і подібності - при розробленні антенно-хвильового тракту радіолокаційного поляриметра;
- фізико-математичного моделювання - при дослідженні процесів поширення електромагнітної хвилі.

Наукова новизна дослідження полягає в системному представленні процесу вдосконалення методів і технічних засобів дистанційного спостереження навігаційних об'єктів у складних погодних та ситуаційних умовах середовища на шляху судна, який відрізняється особливостями використання поляризаційних характеристик сигналів просторово-часової та поляризаційної структури радіолокаційних сигналів суднової РЛС і синтезованими методами поляризаційної селекції при дистанційному спостереженні, виявленні, розпізнаванні та супроводі об'єктів за допомогою спеціального радіолокаційного поляриметра. У дисертаційній роботі вперше були отримані наступні наукові результати:

- безпека судноводіння в складних атмосферних умовах середовища забезпечується дистанційним виявленням і розпізнаванням наземних об'єктів на шляху судна за параметрами поляризаційних відмінностей сигналів,

одночасно відбитих від двох об'єктів, які опромінювали електромагнітною хвилею кругової поляризації суднової РЛС;

- відмінності поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі, розсіяної навігаційним об'єктом і гідрометеорологічним фоном, встановлюються за процедурою синтезованою, ймовірно-статистичним методом обробки радіолокаційної інформації у сформованому радіолокаційному каналі, структура якого характеризує семантику сигналів, відповідає співвідношенню апріорної інформації про середовище, навігаційні об'єкти і перешкоди з параметрами їх луно-сигналів та дозволяє виявляти і розпізнавати навігаційні об'єкти в складних атмосферних умовах;

- синтезовані методи поляризаційної селекції сигналів, забезпечують виявлення структури і властивостей спостережуваних об'єктів та дозволяє отримати необхідну радіолокаційну інформацію щодо спостережуваної ситуації.

Подальший розвиток отримали дистанційні методи радіолокаційного розпізнавання і селекції об'єктів за рахунок вимірювання некінематичних характеристик спостережуваних об'єктів з урахуванням накопиченого тезауруса, оцінка яких не залежить від дальності до об'єкта, що спостерігається, ослаблення сигналу на трасі, кута повороту об'єкта навколо напрямку радіолокаційного спостереження, строгої стабілізації антени суднового поляриметра, що дозволяє отримати інформацію про тип об'єкта, його належності до певних: класу, розмірах і т. п.

Практична значимість отриманих результатів полягає в доцільності їх використання при створенні нових суднових радіолокаційних станцій, які дозволять виявляти і розпізнавати на відстані до 90 морських миль не тільки навігаційні об'єкти, але й небезпечні метеорологічні утворення, що впливають на безпеку судноплавства.

Практичне використання отриманих результатів дозволить підвищити безпеку судноводіння і збереження вантажів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені і використовуються:

- технічною службою Одеського морського порту при розробці перспективних планів розвитку його інфраструктури (акт впровадження від 12.05.2015 р.);
- ІПРІ НАН України при побудові моделюючого комплексу для управління функціонуванням корабельного з'єднання (акт впровадження від 20.01.2015 р.);
- Гідрометцентром Чорного та Азовського морів при гідрометеорологічному забезпеченні Одеського та Іллічівського торговельних портів (акт впровадження від 07.05.2015 р.);
- філією «Дельта-лоцман» ДП «АМПУ» при контролі за безпекою судноплавства у портових водах (акт впровадження від 29.09.2015 р.);
- Одеською національною морською академією у навчальному процесі кафедри електронних комплексів судноводіння (акт впровадження від 05.11.2015 р.);

- у науково-дослідній роботі № ДР 0115U001964 «Управління погодними явищами в транспортній системі» Одеської національної морської академії (акт впровадження від 10.06.2015 р.).

Особистий внесок здобувача в отриманні нових результатів. Дисертація є самостійно виконаним дослідженням, в якому здобувачем здійснено інформаційний пошук, методологічне обґрунтування, удосконалено методи та технічні засоби дистанційного спостереження, виявлення та розпізнавання об'єктів на шляху судна. Нові результати, наведені в дисертації, отримані автором самостійно і впроваджені у виробництво. У публікаціях, виконаних у співавторстві, особистий внесок автора полягає в наступному: [1] – аналізі радіофізичних характеристик атмосфери над морською поверхнею; [2] – аналізі кореляційного зв'язку коефіцієнта заломлення атмосфери з температурою води, повітря і пружністю водяної пари.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи були обговорені і схвалені на наступних конференціях:

- на науково-технічній конференції "Суднові енергетичні установки : експлуатація та ремонт" 20 - 22.03.2013 р. (Одеса, 2013);
- на науково-технічній конференції " Енергетика судна : Експлуатація та ремонт" 26 - 28.03.2014р. (Одеса, 2014);
- на науково-технічній конференції "Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM, 17-19 листопада 2014 р. (Київ, 2014);
- на науково-методичній конференції "Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві", 18-19 листопада 2014р. (Одеса, 2014).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в чотирьох статтях наукових видань, які входять в перелік наукових спеціалізованих видань України і рекомендовані Міністерством освіти і науки України для публікацій дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук, однієї статті в зарубіжному виданні і в матеріалах 4-х конференцій.

Структура і об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і одного додатку. Повний обсяг дисертації - 195 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі основного тексту на 165 сторінках, включаючи 21 рисунок, 17 таблиць. Список використаних джерел містить 127 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено актуальність і вагомість теми дисертації, об'єкт та предмет дослідження, мету і завдання дослідження, робочу гіпотезу, методи дослідження, рівень наукової новизни отриманих результатів, практична значимість роботи, особистий внесок автора в одержанні наукових результатів, а також дані щодо їх впровадження, апробації та опублікування, приведена структура і обсяг дисертації.

У першому розділі приведено короткий огляд літератури з проблеми радіолокації. Розглянуто дослідження впливу атмосфери на виявлення навігаційних об'єктів судновими РЛС, результати аналізу особливостей радіометеорологічної інформації для судноплавства, зроблено пошук напрямків дослідження при розробленні методів, щодо забезпечення належного радіолокаційного спостереження навігаційних об'єктів у складних умовах довкілля. Інформаційний пошук показав, що проблема забезпечення безпеки судноводіння має розв'язуватись на етапі проектування суднової РЛС, який забезпечує надійне виконання навігаційних завдань, за рахунок вибору оптимальної схеми побудови суднової РЛС. На етапі експлуатації судна підтримка належного стану безпеки судноводіння досягається шляхом використання просторо-часових та поляризаційних характеристик структури радіолокаційних сигналів.

Звертає на себе увагу кореляційний зв'язок радіофізичних і метеорологічних параметрів атмосфери:

$$K_N(t_1, t_2) = \frac{\bar{P}^2}{\bar{T}^4} \left[\left(78 + 2 \cdot 6 \cdot 10^2 \frac{\bar{q}}{\bar{T}} \right)^2 K_T(t_1, t_2) - \right. \\ \left. - 6 \cdot 10^2 \left(78 + 2 \cdot 6 \cdot 10^2 \frac{\bar{q}}{\bar{T}} \right) K_{T_q}(t_1, t_2) - \right. \\ \left. - 6 \cdot 10^2 \left(78 + 2 \cdot 6 \cdot 10^2 \frac{\bar{q}}{\bar{T}} \right) \cdot K_q(t_1, t_2) + \left(6 \cdot 10^2 \right)^2 K_q(t_1, t_2) \right], \quad (1)$$

де $K_N(t_1, t_2)$ – тимчасова кореляційна функція коефіцієнту заломлення атмосфери;

T, P, q, N – температура, тиск, вологість, коефіцієнт заломлення атмосфери відповідно.

Інформаційні зв'язки та взаємодії усіх систем суднової РЛС, що забезпечують надійне виконання навігаційних завдань належним чином недосліджені, що дає можливість обґрунтувати основні питання проблеми суднової радіолокації, до яких відносяться:

- недосконалі радіолокаційні методи і суднові РЛС;
- низька інформативність параметрів радіолокаційних сигналів;
- при вирішенні завдання радіолокаційного виявлення і розпізнавання

об'єктів не використовується некоординатна інформація щодо об'єктів радіолокаційного спостереження.

Методом дедукції здійснено дослідження стану питання щодо вдосконалення методів та засобів дистанційного спостереження навігаційних об'єктів на шляху судна.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [1,2].

У другому розділі методом експертних оцінок обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження, здійснено його методологічне забезпечення. На принципах системного підходу розроблена технологічна карта дослідження, у якій сформульовані наукова гіпотеза, мета, головні та допоміжні завдання дослідження, визначені об'єкт та предмет дослідження.

Головне наукове завдання – розроблення методів та засобів підвищення інформаційної ефективності суднових РЛС вирішується шляхом синтезу радіолокаційних параметрів електромагнітної хвилі, на підставі чого було сформульоване наукове положення, що є узагальненням теоретичних результатів дослідження.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [3,4].

У третьому розділі вирішувалось перше допоміжне завдання аналізу зв'язку параметрів об'єкта з радіолокаційними сигналами за допомогою фізико-математичних моделей, представлених матрицями Джонса або Мюллера. Рівняння зв'язку параметрів об'єкта з параметрами електромагнітної хвилі представлено за допомогою трьох матриць:

$$\begin{bmatrix} I_{\text{від}} \\ Q_{\text{від}} \\ U_{\text{від}} \\ V_{\text{від}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \sigma_{34} \\ \sigma_{41} & \sigma_{42} & \sigma_{43} & \sigma_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{\text{опр}} \\ Q_{\text{опр}} \\ U_{\text{опр}} \\ V_{\text{опр}} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де кожний з коефіцієнтів матриці розсіювання представляє собою ефективну площу розсіювання σ при опромінюванні об'єкта електромагнітною хвилею певної поляризації, що задана параметрами Стокса I, Q, U, V .

Процес взаємодії електромагнітної хвилі з об'єктами в умовах перешкод полягає в використанні некоординатної інформації, яка включає певний клас, геометрію, розміри, електрофізичні параметри поверхні. Некоординатна інформація, щодо об'єкта спостереження безпосередньо пов'язана з змінюванням поляризаційного стану луно-сигналу від нього.

В результаті вирішення першого допоміжного завдання була розроблена методика оцінки параметрів середовища поляризаційним методом.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [5,6]

Четвертий розділ стосується вирішенню другої, третьої та четвертої складових головного завдання і присвячений вдосконаленню радіолокаційного спостереження за об'єктами судовою РЛС у складних ситуаційних умовах середовища. Друге допоміжне завдання встановлює вплив природного фону на роботу судової РЛС. Для вирішення другого допоміжного завдання використовувалась електромагнітна хвиля кругової поляризації, яка забезпечує поляризаційну селекцію луно-сигналів на фоні випадаючих опадів. Науковим результатом вирішення другого допоміжного завдання є функціональна схема судового радіолокаційного поляриметра, яка дозволяє спостерігати об'єкти на фоні опадів (рис.1).

Третє допоміжне завдання присвячене оцінюванню ситуаційного стану середовища методами поляризаційних відмінностей луно-сигналів двох речових середовищ.

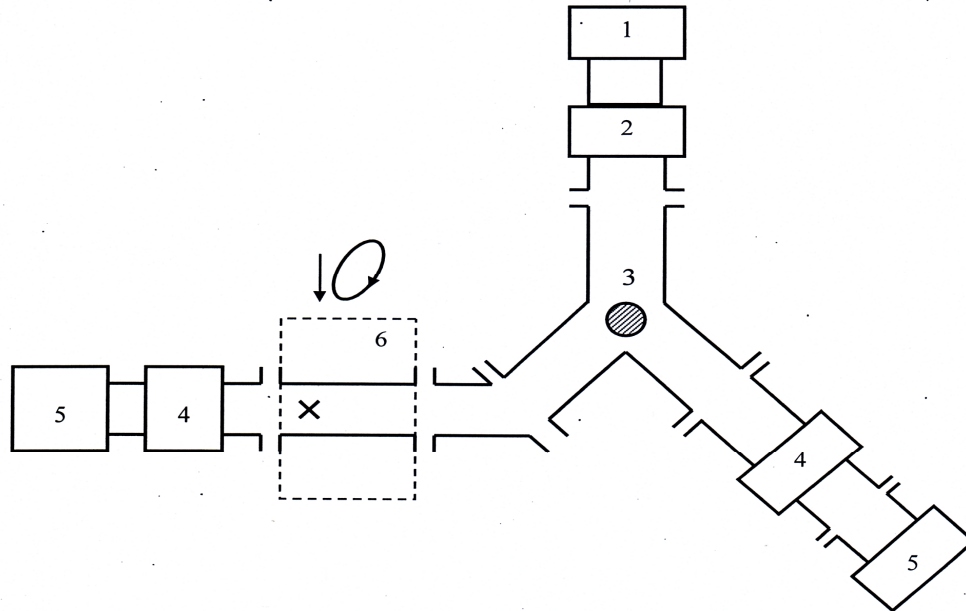


Рис.1.Функциональная схема экспериментального макета судового радиолокатора:

- 1 – передатчик; 2 – разрядник блокировки передатчика; 3 – У-циркулятор;
4 – разрядники защиты приемников; 5 – приемники I и II каналов;
6 – излучатель

Радіолокаційне розпізнавання об'єктів здійснюється за поляризаційною відмінністю луно-сигналів двох речових середовищ, з відмінною діелектричною проникністю. Поляризаційна відмінність луно-сигналів двох речових середовищ здійснюється за наступними параметрами:

- коефіцієнтом деформації еліпса поляризації

$$K_d = 10 \lg \frac{0,5 \arcsin \frac{V_1}{I_1}}{0,5 \arcsin \frac{V_2}{I_2}}; \quad (3)$$

- коефіцієнтом поляризаційних відмінностей.

$$K_p = 10 \lg \frac{D_1}{D_2}, \text{ дБ}, \quad (4)$$

де D_1 і D_2 - коефіцієнти деполаризації, які характеризують перетворення поляризації зондуючого сигналу при його відображенні від речових середовищ і визначаються наступним чином:

$$D_1 = 0,5 \left[1 \pm \frac{4K_{e1}}{2(1+K_{e1}^2)} \right], \quad D_2 = 0,5 \left[1 \pm \frac{4K_{e2}}{2(1+K_{e2}^2)} \right], \quad (5)$$

де коефіцієнти еліптичності K_{e1} і K_{e2} виражені через параметри Стокса залежністю

$$K_{e1} = \frac{1 - \frac{\sqrt{I(t)_1 + V(t)_1}}{2}}{1 + \frac{\sqrt{I(t)_1 + V(t)_1}}{2}}, \quad K_{e2} = \frac{1 - \frac{\sqrt{I(t)_2 + V(t)_2}}{2}}{1 + \frac{\sqrt{I(t)_2 + V(t)_2}}{2}}; \quad (6)$$

- коефіцієнтом неузгодження просторової орієнтації еліпсів поляризації луно-сигналів

$$K_H = \theta_1 - \theta_2, \quad (7)$$

- де θ_1 і θ_2 – кути просторової орієнтації еліпсів поляризації луно-сигналів двох речових середовищ (морська вода – скелі, морська вода – сира горбиста місцевість, морська вода – будови та ін.), які визначаються за параметрами Стокса, таким чином:

$$\theta_1 = 0,5 \arctg \frac{U_1}{Q_1}, \quad \theta_2 = 0,5 \arctg \frac{U_2}{Q_2}, \quad (8)$$

Під час експериментальної перевірки радіолокаційного виявлення та розпізнавання двох речових середовищ було використане устаткування показане на рис.2.

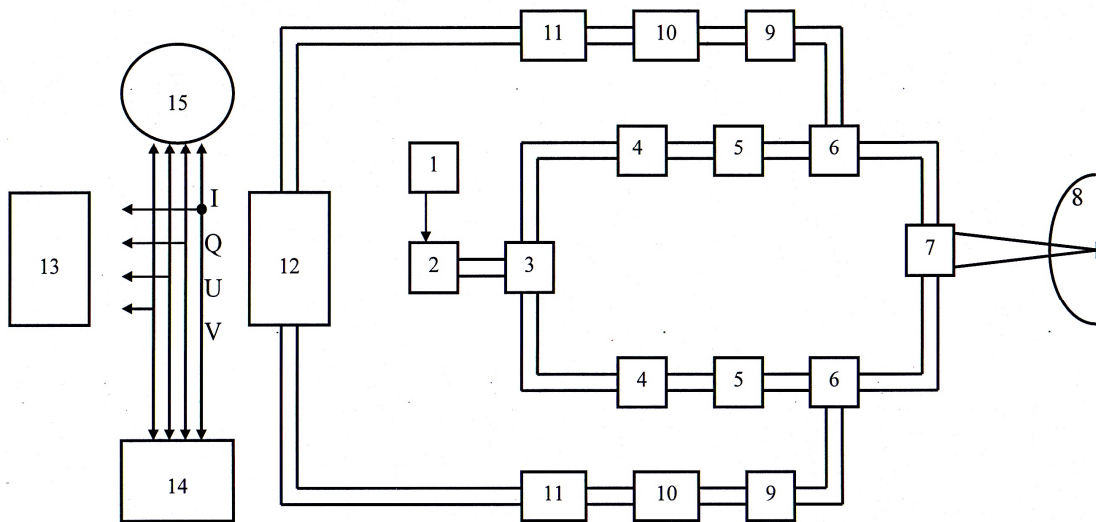


Рис.2. Функціональна схема вимірювального устаткування:

1 – модулятор; 2 – магнетронний генератор; 3 – роздільник поляризації; 4 – атенюатори; 5 – фазообертачі; 6 – антенні перемикачі; 7 – поляризаційний селектор; 8 – рупорний випромінювач; 9 – щілинні хвильоводні мости; 10 – приймачі 2-х каналів; 11 – лінійні підсилювачі; 12 – пристрій отримання параметрів Стокса; 13 – пристрій поляризаційних параметрів відмінностей; 14 – дисплей комп'ютера; 15 – індикатор.

Випромінювалась хвиля кругової поляризації та вимірювались параметри Стокса відбитої хвилі за якими розраховувались параметри поляризаційних відмінностей, які наведено у табл.1,2. Для інших речових середовищ, що трапляються на шляху судна і відрізняються від зазначених у табл.1,2, розраховується їх діелектрична проникність, за формулою:

$$\varepsilon' = \sin^2 \theta \left[1 + \left(\frac{\sqrt{\frac{I+V}{2}}}{\sqrt{\frac{I-V}{2}}} \right)^2 \operatorname{tg}^2 \theta \right]. \quad (9)$$

Таблиця 1
Параметри поляризаційних відмінностей двох матеріальних середовищ

Середовище	ε'	Поляризаційні параметри		
		K_d	K_n	K_n
Морська вода – будови (скелі)	80 4	0.67	0.25	8.00
Морська вода – сухий пісок	80 2	0.42	0.46	10.00
Морська вода – сухий ґрунт	80 10	0.72	0.34	4.00
Морська вода – сира горбиста місцевість	80 20	0.91	0.06	3.00

Таблиця 2
Поляризаційні параметри матеріальних середовищ,
що зустрічаються на шляху судна

Середовище	ε'	Коефіцієнт еліптичності відбитої хвилі, K_e	Коефіцієнт деполаризації відбитої хвилі, D	Кут повороту еліпса поляризації відбитої хвилі, θ
Сухий пісок (берегова лінія)	2	0,11	0,20	5°
Будови (скелі)	4	0,40	0,10	12°
Сухий ґрунт (берегова лінія)	10	0,60	0,05	10°
Сира горбиста місцевість	20	0,70	0,02	22°
Морська або прісна водна поверхня	80	0,85	0,01	32°

Науковим результатом вирішення третього допоміжного завдання є метод та технічне устаткування розпізнавання двох природних середовищ.

Четверте допоміжне завдання радіолокаційного розпізнавання навігаційних об'єктів, які знаходяться у зоні опадів, ймовірно-статистичним методом з використанням відносини вирішувалась у аналітичному вигляді:

$$D(I_{отр}, Q_{отр}, U_{отр}, V_{отр}) = \frac{W_{о+п}(I_{отр.о+п}, Q_{отр.о+п}, U_{отр.о+п}, V_{отр.о+п})}{W_{п}(I_{отр.п}, Q_{отр.п}, U_{отр.п}, V_{отр.п})} =$$

$$= \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^4 (\sigma_{I_{о+п}} \sigma_{Q_{о+п}} \sigma_{U_{о+п}} \sigma_{V_{о+п}})} \cdot \times$$

$$\frac{1}{(\sqrt{2\pi})^4 (\sigma_{I_{п}} \sigma_{Q_{п}} \sigma_{U_{п}} \sigma_{V_{п}})} \cdot \exp - \left[\frac{(I_{о+п} - m_{I_{о+п}})^2}{2 \sigma_{I_{о+п}}^2} \cdot \frac{(Q_{о+п} - m_{Q_{о+п}})^2}{2 \sigma_{Q_{о+п}}^2} \cdot \frac{(U_{о+п} - m_{U_{о+п}})^2}{2 \sigma_{U_{о+п}}^2} \cdot \frac{(V_{о+п} - m_{V_{о+п}})^2}{2 \sigma_{V_{о+п}}^2} \right]$$

$$\times \cdot \frac{1}{\exp - \left[\frac{(I_{п} - m_{I_{п}})^2}{2 \sigma_{I_{п}}^2} \cdot \frac{(Q_{п} - m_{Q_{п}})^2}{2 \sigma_{Q_{п}}^2} \cdot \frac{(U_{п} - m_{U_{п}})^2}{2 \sigma_{U_{п}}^2} \cdot \frac{(V_{п} - m_{V_{п}})^2}{2 \sigma_{V_{п}}^2} \right]} \quad (10)$$

Якщо $D \geq D_0$, то відбитий сигнал створений об'єктом, якщо $D < D_0$ відбитий сигнал створений перешкодою. Тут D_0 - поріг, що визначається критерієм вибору рішення.

Розроблена функціональна схема суднової РЛС (рис.3), яка реалізує даний метод і алгоритм рішення завдання радіолокаційного розпізнавання навігаційних об'єктів на фоні природних перешкод.

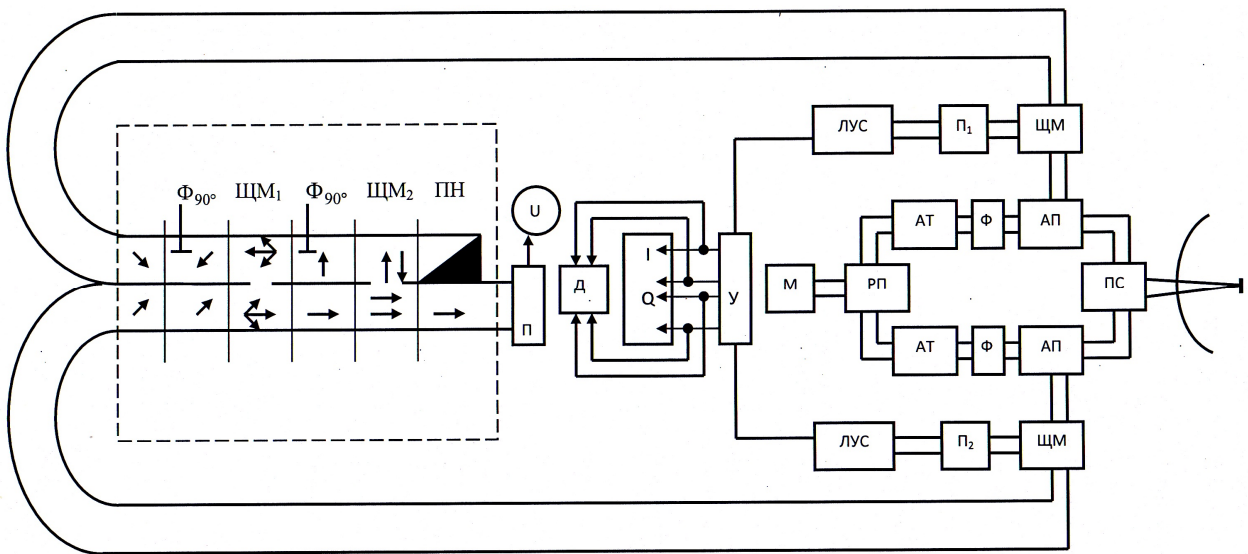


Рис.3. Функціональна схема суднового поляриметра :

П - приймач; Д - дисплей комп'ютера; М - магнетрон; РП - роздільник поляризації; АТ - атенюатор; Ф - фазообертач; АП - антенний перемикач; ПС - поляризаційний селектор; ЛУС - логарифмічний підсилювач; У - пристрій отримання параметрів Стокса.

Науковим результатом вирішення четвертого допоміжного завдання є ймовірно-статистичний метод та технічне устаткування розпізнавання морських об'єктів на фоні природних перешкод.

Матеріали розділу опубліковано в роботах [6-8].

У п'ятому розділі розв'язано головне завдання дослідження з реалізації методів поляризаційної селекції сигналів навігаційних об'єктів і гідрометеорологічного фону, які дозволяють з високою вірогідністю здійснити їх виявлення, розпізнавання та виміряти їх характеристики за допомогою поляризаційного вимірювального радіолокаційного комплексу (рис.4).

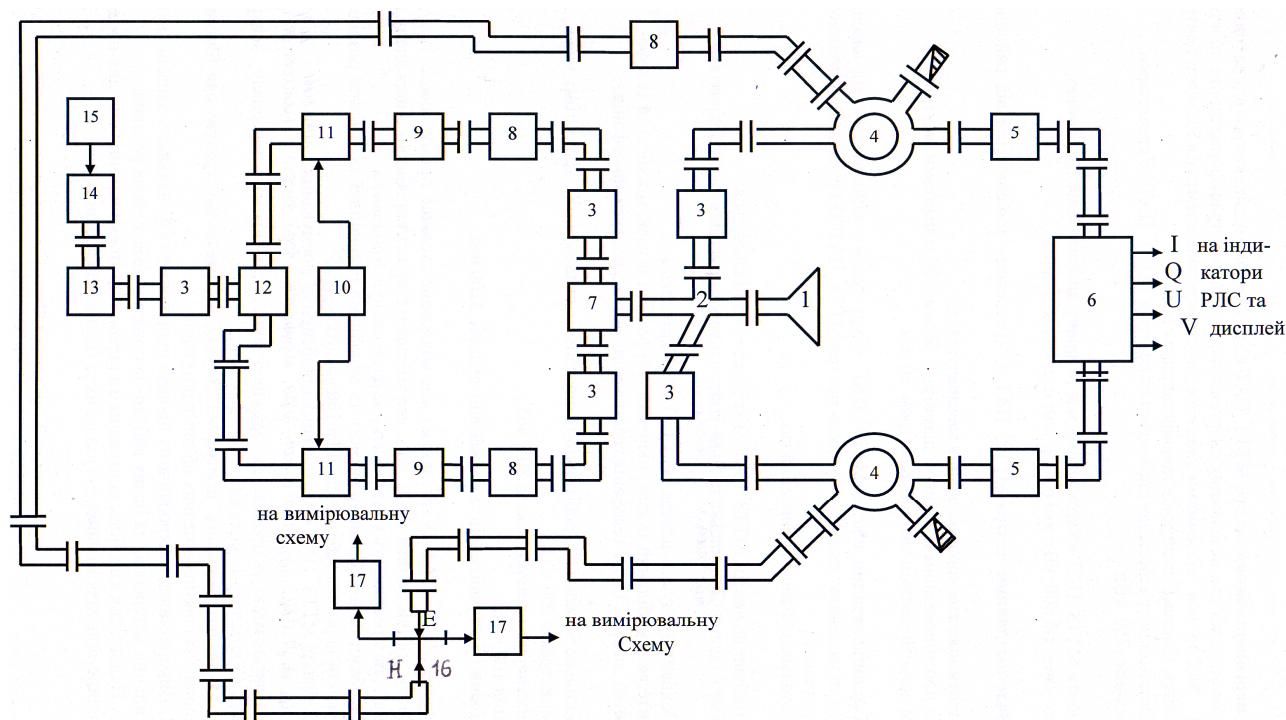


Рис.4. Функціональна схема суднового поляризаційного вимірювального комплексу:

1 – все поляризована антена; 2 - хвилеводний трійник; 3 - газові розрядники; 4 – хвилеводні кільцеві мости; 5 - лінійні приймачі; 6 - пристрій отримання параметрів Стокса; 7 - поляризаційний селектор; 8 - фазообертачі; 9 - атенюатори; 10 - перемикач поляризації; 11 - циркулятори; 12 - дільник потужності; 13 - передавач; 14 - модулятор; 15 - синхронізатор; 16 - хвилеводний Т-міст; 17 - логарифмічні приймачі.

Радіолокаційними критеріями виявлення і розпізнавання навігаційних об'єктів і гідрометеорологічного фону використані поляризаційні параметри (параметри Стокса) і коефіцієнт анізотропії. Розраховані значення вірогідності виявлення морських об'єктів при різних порогових рівнях приймачів ортогональних каналів на тлі природних перешкод (табл.3)

Експериментальне радіолокаційне дослідження небезпечних метеорологічних об'єктів, що впливають на безпеку судноводіння, проведено 30 та 31 травня 2013 року в акваторії Одеського морського торгового порту з використанням поляризаційного вимірювального радіолокаційного комплексу.

Таблиця 3

Значення вірогідності P_1 и P_2 виявлення морських об'єктів
при різних порогових рівнях

$\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{ш}}}$	1,0	1,10	1,25	1,41	1,57	2,1	2,5	3,2	5,0	10,0
P_1	0	0,2	0,3	0,36	0,44	0,5	0,57	0,62	0,7	0,79
P_2	0	0,36	0,57	0,6	0,7	0,76	0,81	0,85	0,91	0,96
$\frac{P_2}{P_1}$	0	1,8	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2

Розроблено алгоритм процедури отримання радіолокаційної інформації процесу експериментального дослідження. Отримана радіолокаційна інформація на індикаторах РЛС та дисплеї комп'ютера у вертикальній площині (рис.5-8) дозволила провести виявлення циклонного вихору в купчасто-дощовій хмарі з вірогідністю до 98 %. Виміряні напрямки θ° та швидкість обертання ω_v циклонного вихору з використанням наступних залежностей:

$$\theta^\circ = 0,5(E_{\text{л}} - E_{\text{пр}}), \quad (11)$$

де $E_{\text{л}}$ і $E_{\text{пр}}$ – електричні вектори хвилі лівого та правого напрямку обертання

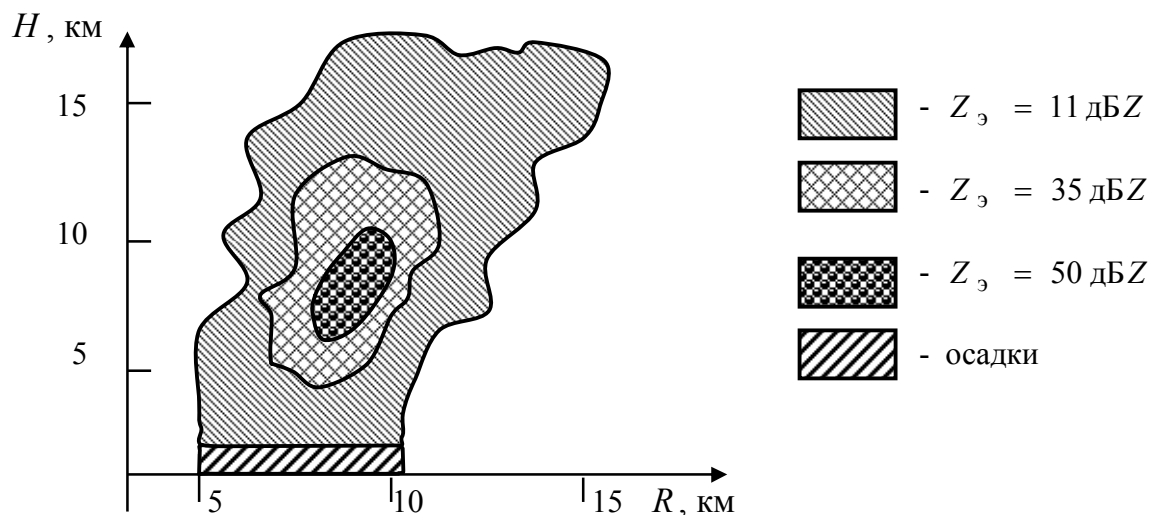


Рис.5. Вертикальний розріз купчасто-дощової хмари 31 травня 2013 р.
о 22 годині 05 хв.

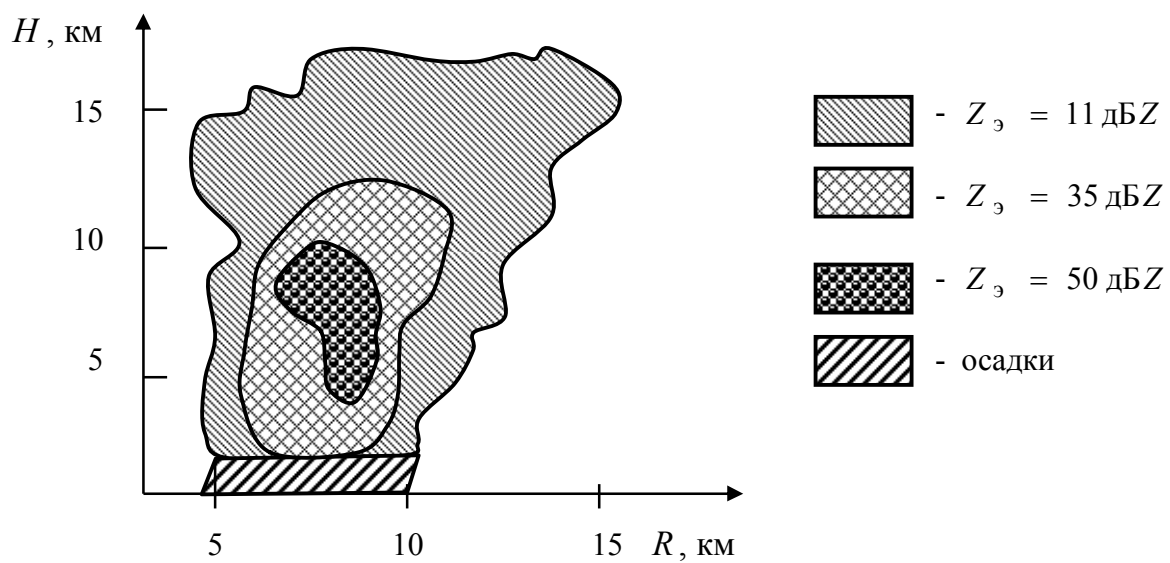


Рис.6. Вертикальний розріз купчасто-дощової хмари 31 травня 2013 р.
о 22 годині 10 хв.

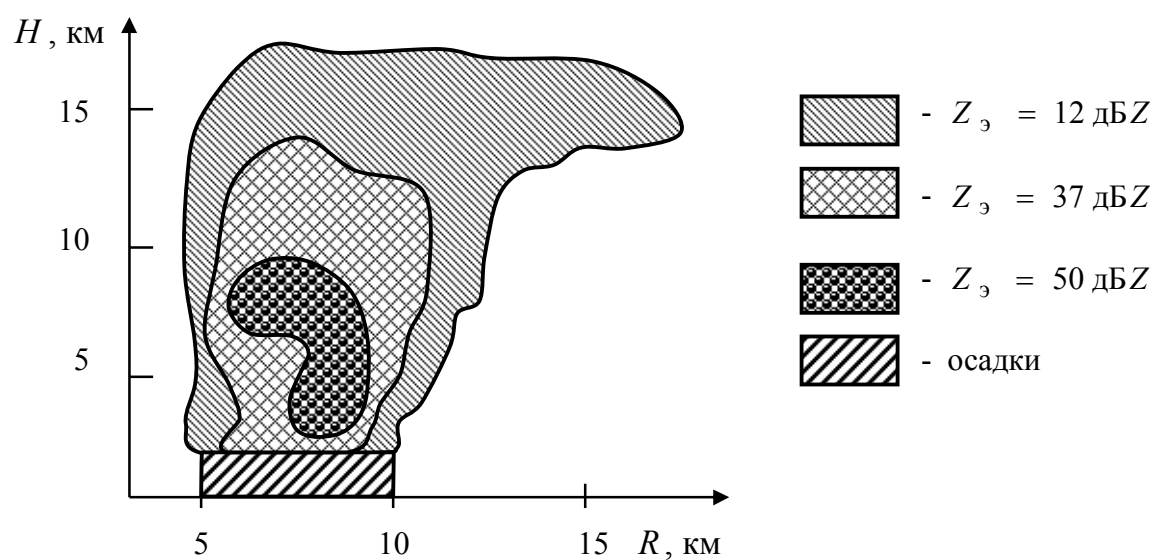


Рис.7. Вертикальний розріз купчасто-дощової хмари 31 травня 2013 р.
о 22 годині 15 хв.

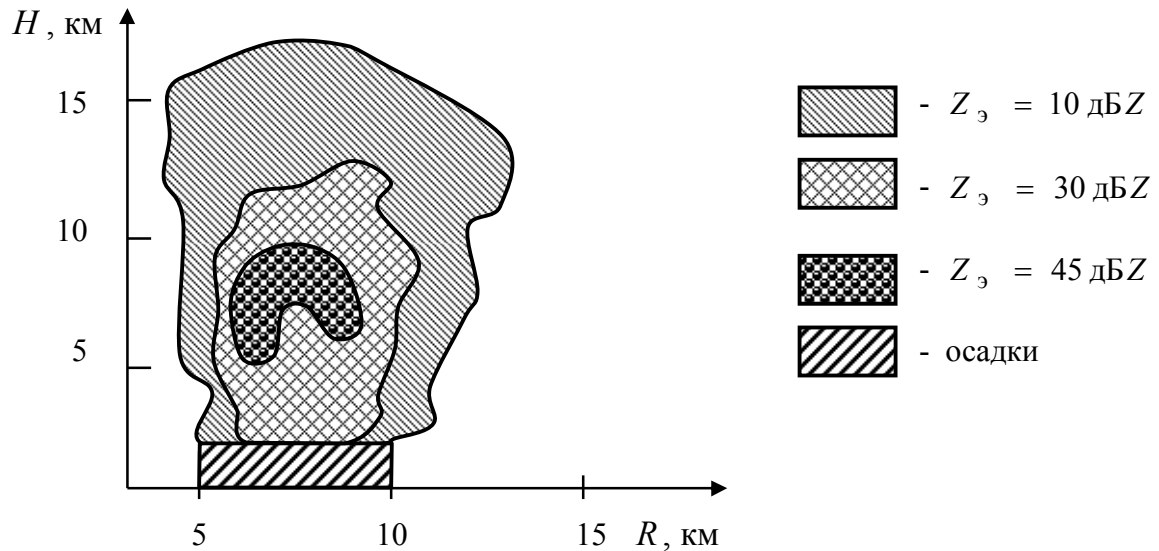


Рис.8. Вертикальний розріз купчасто-дощової хмари 31 травня 2013 р.
о 22 годині 20 хв.

$$I(t) = \left(\cos \frac{2\pi c t}{\lambda} + 2\pi \frac{L}{\lambda} \cos \omega_b t \right) + K \cos \left(\frac{2\pi c t}{\lambda} - 2\pi \frac{L}{\lambda} \cos \omega_b t \right), \quad (12)$$

де L - відстань між двома точками розсіюючими, m ;

λ - довжина хвилі суднового поляриметра, cm ;

c - швидкість світла, km/c ;

ω_b - швидкість обертання вихору, rad/c ;

K - відношення амплітуди луно-сигналу правого обертання до амплітуди луно-сигналу лівого обертання вектору поля, $K = E_{пр}/E_{л}$.

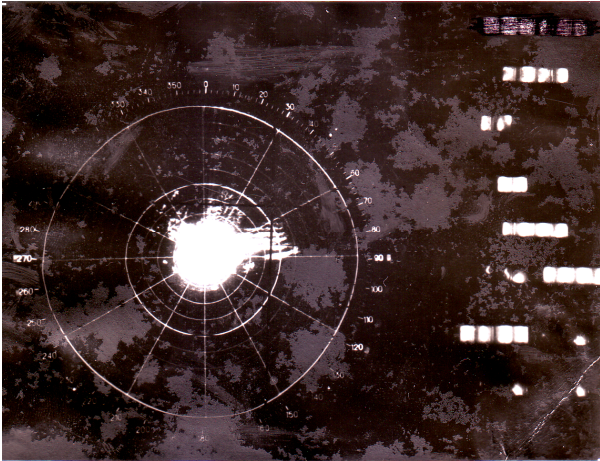
За отриманими експериментальними даними циклонний вихор обертався проти годинникової стрілки з швидкістю обертання $30 rad/c$.

За значенням коефіцієнту анізотропії μ виміряна інтенсивність опадів I з купчасто-дощової хмари з використанням залежності $I = 10 \lg \mu$ склала $50 mm/год$, радіолокаційне виявлення та розпізнавання двох суден, які заходили у Одеський торговельний порт в зоні опадів інтенсивністю $22 mm/год$ в липні 2013 року (рис.9 а,б). Значення коефіцієнту анізотропії для суден різного тоннажу приведено в табл.4.

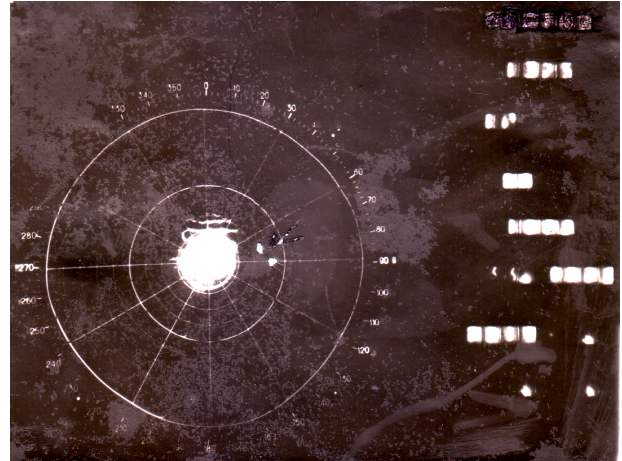
Таблица 4

Значення коефіцієнта анізотропії при спостереженні
надводних об'єктів

Тип об'єкту	$\sigma_{об}, m^2$	μ	$I, mm/год$
Судно малого тоннажу	150	0,3	20
Судно середнього тоннажу	7 500	0,7	20
Судно великого тоннажу	15 000	0,9	20
Катер	100	0,2	20



а)



б)

Рис.9. Луно-сигнали опадів (а) і виділені з них луно-сигнали двох судів (б)

Матеріали розділу опубліковано в роботах [9].

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні міститься теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичного завдання, вдосконалення методів та засобів дистанційного спостереження навігаційних об'єктів на шляху судна.

Найбільш важливим науковим і практичним результатом, отриманим у процесі досліджень, є системне вивчення процесу радіолокаційного спостереження морських об'єктів у складних ситуаційних умовах на шляху судна з урахуванням методів поляризаційної селекції розпізнавання, розроблення радіолокаційних вимірювальних засобів, які реалізують поляризаційні методи.

Основні наукові і практичні результати, отримані у процесі досліджень є:

1. Вдосконалені радіолокаційні методи дистанційного спостереження навігаційних об'єктів в складних ситуаційних умовах середовища.
2. Розроблено принцип побудови радіолокаційних засобів дистанційного спостереження навігаційних об'єктів на шляху судна.
3. Поляризаційна селекція луно-сигналів і метеорологічних об'єктів заснована на використанні найбільш інформативних параметрів електромагнітної хвилі - параметрів Стокса, що дозволило одночасно отримати радіолокаційну інформацію щодо навігаційного та метеорологічного об'єктах.
4. Отримані параметри поляризаційної відмінності луно-сигналів двох речових середовищ, які відрізняються своїми радіофізичними параметрами, що дозволило провести їх дистанційне виявлення і розпізнавання на шляху судна.

5. Розпізнавання навігаційних об'єктів в складних ситуаційних умовах середовища засноване на використанні ймовірносно-статистичного методу, в якому умовною щільністю вірогідності вектору ознак розпізнавання є параметри Стокса.

6. Обґрунтовано радіолокаційне виявлення небезпечних для судноплавства метеорологічних об'єктів і проведений експериментальний вимір їх параметрів радіолокаційним поляриметром.

7. Гарантоване підвищення безпеки на шляху судна може бути забезпечене судновим радіолокатором з поляризаційною селекцією луно-сигналів, яка дозволяє здійснювати дистанційне виявлення і розпізнавання навігаційних об'єктів в складних ситуаційних умовах середовища.

8. Практична реалізація результатів досліджень, отриманих в дисертаційній роботі, підвищить ефективність і безпеку судноводіння.

Результати дисертаційної роботи впроваджені і використовуються:

- в технічній службі Одеського морського порту при розробленні перспективних планів розвитку його інфраструктури. Акт впровадження від 12.05.2015 р..
- в ІПРІ НАН України при побудові моделюючого комплексу для управління функціонуванням корабельного з'єднання. Акт впровадження від 20.01.2015 р..
- у Гідрометцентрі Чорного та Азовського морів при гідрометеорологічному забезпеченні Одеського та Іллічівського торговельних портів. Акт впровадження від 07.05.2015 р..
- у філії «Дельта-лоцман» ДП «АМПУ» при контролі за безпекою судноплавства у портових водах. Акт впровадження від 29.09.2015 р..
- в Одеській національній морській академії в навчальний процес кафедри «Електронних комплексів судноводіння». Акт впровадження від 05.11.2015 р..
- у науково-дослідній роботі № ДР 0115U001964 «Управління погодними явищами в транспортній системі» Одеської національної морської академії. Акт впровадження від 10.06.2015 р..

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Заичко С.И. Радиофизические характеристики атмосферы над морской поверхностью/ С.И.Заичко, А.И. Князь // Судовождение: сб. научных трудов. – Одесса: ОНМА, 2013. – С. 123 – 134.

2. Заичко С.И. Анализ корреляционной связи коэффициента преломления атмосферы с температурой воды, воздуха и упругостью водяных паров. / С.И. Заичко, А.И. Князь // «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт» - Електроенергетичні комплекси і автоматика суден: міжнародна конференція 20-22.03.2013. - Одеса, ОНМА, 2013. – С.109 – 110.

3. Князь А.И. Улучшение наблюдаемости объектов наземными радиолокационными средствами / А.И. Князь // Тези доповідей науково – технічної конференції, 17 – 19 листопада 2014р., Київ. – С. 92.

4. Князь А.И. К определению поляризационного канала/ А.И. Князь // «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні»: матеріали науково – методичної конференції, 18 – 19 листопада 2014р., О.: ОНМА, 2014. - С. 197 – 198.

5. Knyaz A.I. Modelling of electromagnetic fields of polarized structure of radar signals of shipboard radar / A.I. Knyaz // «ECONOMICS» - Monthly International reviewed and refereed scientific journal, № 3-4. – 2015. – P. 106-111.

6. Князь А.И. Повышение эффективности эксплуатации судов путем совершенствования радиолокационного наблюдения объектов РЛС /А.И. Князь // «Енергетика судна: Експлуатація та ремонт»: науково-технічна конференція 26 – 28.03.2014р., Частина 2. – О.: ОНМА, 2014. - С. 62 – 65.

7. Князь А.И. Поляризационная селекция эхо – сигналов морских объектов на фоне гидрометеорологических помех / А.И. Князь // Судовые энергетические установки: науч. – техн. сб. – О.: ОНМА, 2014. , вып. 33. - С. 167 – 183.

8. Князь А.И. Влияние выпадающих осадков на радиолокационные обнаружения морских объектов судовыми некогерентными двухканальными РЛС / А.И. Князь // Судовые энергетические установки: науч. – техн. сб. - О.: ОНМА, 2014, вып. 34. – С. 32 – 40.

9. Князь А.И. Принцип построения судового радиолокационного поляриметра, реализующего методы поляризационной селекции радиолокационных сигналов / Князь А.И. // Судовые энергетические установки: науч. – техн. сб. - О.: ОНМА, 2015, вып. 35. – С. 93 – 101.

АНОТАЦІЯ

Князь О.І. Удосконалення методів і засобів дистанційного спостереження навігаційних об'єктів на шляху судна. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом. – Одеська національна морська академія, Одеса, 2015.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методів і засобів дистанційного спостереження навігаційних об'єктів на шляху судна.

Мета дисертаційного дослідження - підвищення безпеки судноводіння в умовах складного ситуаційного стану атмосфери засобами дистанційного спостереження.

Вирішуване завдання представлено процесом вдосконалення методів і технічних засобів дистанційного спостереження навігаційних об'єктів в складних погодних і ситуаційних умовах середовища на шляху судна.

Синтезовані методи поляризаційної селекції радіолокаційних сигналів при дистанційному виявленні, розпізнаванні, спостереженні та супроводженні об'єктів за допомогою розробленого радіолокаційного поляриметра.

Теоретично обґрунтована можливість відмінності поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі, яка розсіяна над навігаційним об'єктом та гідрометеорологічним фоном, шляхом використання ймовірнісно-статистичного методу обробки радіолокаційної інформації.

Отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень дозволяють підвищити безпеку судноводіння у складних ситуаційних умовах довкілля.

Ключові слова: навігаційні об'єкти, складний ситуаційний стан середовища, дистанційне спостереження, методи поляризаційної селекції, поляризаційні параметри, ймовірнісно-статистичний метод, гідрометеорологічні утворення.

АННОТАЦИЯ

Князь А.И. Совершенствование методов и средств дистанционного наблюдения навигационных объектов на пути судна. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.13 - навигация и управление движением. - Одесская национальная морская академия, Одесса, 2015.

Диссертация посвящена совершенствованию методов и средств дистанционного наблюдения навигационных объектов на пути судна.

Цель исследования – повышение безопасности плавания судна в условиях сложного ситуационного состояния атмосферы средствами дистанционного наблюдения.

В диссертационной работе определено новое решение научной задачи повышения безопасности плавания судна в условиях сложного ситуационного состояния атмосферы поляризационными методами и средствами дистанционного наблюдения.

Проведен анализ пространственно-временных и поляризационных структур радиолокационных сигналов, позволивший разработать оптимальные методы и средства радиолокационного обнаружения и распознавания объектов в условиях гидрометеорологических помех.

Автором представлена процедура распознавания двух вещественных сред на пути судна по трем поляризационным параметрам эхо-сигналов (коэффициент поляризационных различий, коэффициент деформации эллипса поляризации и коэффициент рассогласования пространственной ориентации эллипсов поляризации) и разработана радиолокационная измерительная установка для ее реализации.

Предложен метод поляризационной селекции эхо-сигналов объектов, находящихся в зоне выпадающего дождя и его реализация радиолокационным поляриметром.

Обоснован поляризационный метод дистанционного обнаружения, распознавания и измерения характеристик метеорологических объектов, влияющих на безопасность судоходства.

На основании анализа теоретических и экспериментальных исследований автором разработан многофункциональный судовой радиолокационный поляризационный комплекс, позволяющий эффективно решать задачи обеспечения безопасности судоходства в различных условиях окружающей среды.

Проведено экспериментальное подтверждение эффективности разработанных методов и средств дистанционного наблюдения навигационных и метеорологических объектов на пути судна.

Ключевые слова: навигационные объекты, сложное ситуационное состояние среды, дистанционное наблюдение, методы поляризационной селекции, поляризационные параметры, вероятностно-статистический метод, гидрометеорологические образования.

ABSTRACT

Knyaz O.I. An improvement of methods and facilities of remote monitoring of navigational objects on the ships way. – The dissertation is the manuscript.

The Dissertation for scientific degree of the candidate of technical sciences on specialty 05.22.13 - navigation and movement control. Odessa National Maritime Academy, Odessa, 2015.

Dissertation is devoted to the improvement of methods and facilities for the remote monitoring of navigation objects on the ships way.

The purpose of research is improving the safety of navigator in the conditions of the difficult situational state of atmosphere by means of remote monitoring.

The task to solve is presented by a process of improvement the methods and technical means of remote monitoring of navigational objects in difficult weather and situational conditions of environment on the ships way.

Synthesized methods of polarization selection of the radar signals during remote detection, recognition, monitoring and supporting of objects using developed radar polarimeter.

Theoretically grounded the distinction capability of polarized parameters of electromagnetic wave which is diffused over navigational object and hydrometeorological background by using probabilistic-statistical methods of processing radar information.

Obtained results of theoretical and experimental researches allow promoting safety of navigator in the difficult situational conditions of environment

Keywords: navigational objects, difficult situational state of atmosphere, remote monitoring, methods of polarization selection, polarization parameters, probabilistic-statistical method, hydrometeorological formations.

Підп. до друку 29.12.2015. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И15-12-54

Одеська національна морська академія
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003