Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»

Корбан Дмитро Вікторович

УДК 656.61.052

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУДНОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2026

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки (МОН) України.

Науковий консультант: **Бурмака Ігор Олексійович,**
доктор технічних наук, професор,
директор Навчально-наукового інституту навігації Національного університету «Одеська морська академія» МОН України, м. Одеса

Офіційні опоненти: **Авер'янова Юлія Анатоліївна,**
доктор технічних наук, професор
кафедри аеронавігаційних систем Національного університету «Київський авіаційний інститут» м. Київ.

Миценко Ігор Михайлович,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник відділу фізичних основ радіолокації Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, м. Харків.

Аврутов Вадим Вікторович,
доктор технічних наук наук,
професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

Захист відбудеться 24 листопада 2026 р. о 10-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65052, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала засідань Вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Одеська морська академія» за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2 та за електронною адресою: http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy

Автореферат розісланий 20 жовтня 2026 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Вченої ради,
д.т.н., професор Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Зростання чисельності суден світового торгового флоту, їх якісне оновлення, експлуатація в різних несприятливих умовах зовнішнього середовища, передбачає розвиток і вдосконалення суднових радіолокаційних комплексів реалізацію в них нових навігаційних можливостей, які мають забезпечувати ефективність навігації.

Проблеми підвищення ефективності навігації в складних атмосферних умовах викликані недостатньою ефективністю використовуваних суднових радіолокаційних комплексів по радіолокаційної спостережливості навігаційних об'єктів на тлі атмосферних перешкод і прагненням до поліпшення експлуатаційних показників суднових радіолокаційних комплексів лежать в основі експлуатаційних вимог до навігаційного радіолокаційного обладнання високошвидкісних суден.

Таким чином, можливо сформулювати актуальну науково-технічну проблему у галузі розвитку суднових радіолокаційних навігаційних систем, радіолокаційних технологій і їхньої структури: дослідження та розроблення методів вдосконалення інформаційних і експлуатаційних характеристик суднових радіолокаційних комплексів, які б забезпечували підвищення ефективності їхнього функціонування у складних умовах атмосферного середовища шляхом встановлення закономірностей змінювання радіолокаційних параметрів електромагнітної хвилі та впровадження методів і засобів поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають на тлі атмосферних завад у процесі їх виявлення та спостереження судновим радіолокаційним поляризаційним комплексом (СРПК).

Судновий радіолокаційний поляризаційний комплекс є результатом певного періоду свого розвитку, який закладає початок наступного етапу. Дослідження та моделювання методів і засобів підвищення ефективності функціонування суднового радіолокаційного комплексу обмежені вирішенням завдань узгодження таких суперечностей: забезпечення визначеної зони радіолокаційного огляду; отримання повнішої інформації про об’єкт радіолокаційного спостереження; підвищення завадостійкості функціонування в умовах атмосферних завад; потреби в поляризаційному обробленні сигналів за фактичної відсутності методів поляризаційної селекції; необхідності використання накопиченого тезауруса під час вирішення завдань виявлення (тобто селекції об’єктів на тлі атмосферних завад); обґрунтування поляризаційного критерію вибору рішень для покращення розрізнення навігаційного об’єкта й атмосферного утворення з урахуванням ситуаційних факторів довкілля; мінімізації енергетичних втрат електромагнітної хвилі за потреби забезпечення виявлення структури і властивостей об’єкта радіолокаційного моніторингу з необхідною для екіпажу судна повнотою; відсутності формалізованих поляризаційних моделей взаємозв’язку параметрів електромагнітної хвилі з фізичними процесами в радіолокаційному каналі; розроблення технології реалізації поляризаційної селекції навігаційних об’єктів суднового радіолокаційного поляризаційного комплексу.

Поляризаційні властивості електромагнітної хвилі, в яких міститься інформація про об'єкт радіолокаційного спостереження, проявляються при її взаємодії з об'єктом, геометричні і електрофізичні властивості якого змінюють поляризацію відбитої хвилі. Навігаційний об'єкт і атмосферне утворення мають різну геометричну структуру, а їх електрофізичні параметри будуть відображати електромагнітні хвилі різної поляризації при їх опроміненні хвилею певної поляризації, що створює основу поляризаційної селекції їх сигналів, а технічну основу методів поляризаційної селекції сигналів навігаційних об'єктів представляє залежність енергетичних характеристик приймально-передаючих антен від поляризаційного стану електромагнітних хвиль та від використання схем поляризаційної селекції.

Відомі методи поліпшення радіолокаційної спостережливості навігаційних об'єктів на тлі атмосферних завад базуються на розробках G. O. Stokes, H. William, A. Marathay, Ф. Й. Яновського, Ю. А. Авер`янової, М. Д. Кошевого, В. Д. Карлова, В. І. Антюфєєва, В. М. Кошевого і інш. Проте, в суднових радіолокаційних комплексах методи поляризаційної селекції до теперішнього часу не використовуються, що веде до енергетичних втрат у відбитої від навігаційного об'єкту хвилі та зниженню можливості розпізнавання луна-сигналів навігаційних об'єктів на тлі луна-сигналів атмосферних утворень, **що свідчить про відсутність рішення комплексної наукової проблеми**.

Розв'язання цієї проблеми є актуальною та необхідною умовою забезпечення безпеки судноводіння у складних умовах атмосферного середовища.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота спрямована на реалізацію:

— концепції безперервної національної транспортної політики розвитку всіх видів транспорту на 2007–2014 рр. (наказ МТУ від 05 травня 2007 р. № 360);

— Транспортної стратегії України на період до 2020 року (Указ Президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015);

— положень Транспортної стратегії України на період до 2030 року;

— рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16 травня 2008 року «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (уведеного в дію Указом Президента України від 20 травня 2008 року № 463/2008);

— положень Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS 74/78, правило 19);

— експлуатаційних вимог до РЛС (Резолюція MSC.64(67), 1999 р., додаток) та Експлуатаційних вимог до РЛС для швидкісних суден (Резолюція А.820(19), 1995 р.);

— проєкту нових загальних стандартів ІМО щодо радіолокаційного обладнання з перспективною його заміною (схваленого на 49-й сесії з безпеки мореплавства, березень 2003 р.);

— державної програми удосконалення функціонування державної системи забезпечення безпеки судноплавства на 2002 – 2006 рр. (Постанова КМУ від 28 січня 2002 р. № 296).

Дослідження виконано також у межах держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР) Національного університету «Одеська морська академія»:

1. «Удосконалення методів безпечного управління судном» № ДР 011U005133 (2020–2022 рр.) – розроблено матеріали до розділу 13 «Альтернативний метод визначення характеристик судна».

2. «Удосконалення методів управління та експлуатації суден» № ДР 0123U101463 (2023–2025 рр.) – розроблено матеріали до розділу 4 «Розробка стратегії формування системи радіолокаційних сигналів, що базуються на їх поляризаційних параметрах».

У зазначених науково-дослідних темах автор дисертації брав безпосередню участь як виконавець.

Мета дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування суднових радіолокаційних комплексів.

Дослідження ґрунтується на науковій концепції, згідно з якою підвищення ефективності функціонування суднових радіолокаційних комплексів забезпечується організацією управління процесом поляризаційної селекції радіолокаційних сигналів. Для досягнення мети та реалізації запропонованої концепції сформульовано комплексне завдання наукового дослідження.

Комплексна мета наукового дослідження полягає в підвищенні інформаційних і експлуатаційних характеристик суднових РЛС шляхом одночасної селекції за кількома поляризаційними параметрами радіолокаційних сигналів для забезпечення ефективності їхнього функціонування. Реалізація цієї мети передбачає вирішення **трьох основних наукових завдань:**

— побудова системи моніторингу поляризаційної структури радіолокаційних сигналів з ідентифікацією їхніх поляризаційних параметрів;

— розроблення стратегії формування системи радіолокаційних сигналів на основі їхніх поляризаційних параметрів;

— розроблення методології підвищення ефективності функціонування суднових РЛС в умовах атмосферних завад.

Об'єкт дослідження: процес радіолокаційного спостереження навігаційних об'єктів на тлі атмосферних завад.

Предмет дослідження: сукупність теоретико-методологічних та прикладних положень використання поляризаційних характеристик сигналів для підвищення ефективності функціонування суднових РЛС.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та розв'язання визначених завдань у дисертаційній роботі застосовано комплексний підхід, що поєднує теоретичні, чисельні та експериментальні методи дослідження.

Теоретичні методи (зокрема дедукції, експертних оцінок та системного аналізу) використано для виявлення актуальних науково-технічних суперечностей у галузі, а також для обґрунтування неефективності застосування відомих підходів у складних метеорологічних умовах. Єдність математичного

опису різнорідних фізичних процесів досягнуто шляхом подання радіолокаційного каналу у вигляді лінійної системи, яка охоплює СРПК, трасу поширення електромагнітної хвилі визначеної поляризації та об'єкт радіолокаційного спостереження.

За аналітичного подання поляризації електромагнітних хвиль застосовано енергетичні параметри Стокса, що мають однакову розмірність і піддаються експериментальному вимірюванню. Оцінювання характеристик об'єкта спостереження здійснено на основі матриць розсіювання, які описують просторово-часову та поляризаційну структури хвиль. Аналітичне моделювання параметрів електромагнітної хвилі застосовано під час розв'язання завдань радіолокаційного виявлення та селекції навігаційних об'єктів. За допомогою теоретичних розробок реалізовано процедуру виділення навігаційного об’єкту з сумарного луна-сигналу частково поляризованої хвилі, відбитої від складного об'єкту. Для вирішення загального завдання радіолокаційного виявлення використано ймовірнісно-статистичний метод, що дозволило встановити усереднені критеріальні значення ознак виявлення об'єктів за наявності атмосферних завад для їхнього подальшого використання в оперативній практиці функціонування СРПК.

Чисельні методи та методи комп'ютерного моделювання застосовано для дослідження процесів радіолокаційного виявлення навігаційних об'єктів за умов інтенсивних атмосферних завад на шляху прямування судна.

Експериментальні методи використано для перевірки адекватності й достовірності розроблених математичних моделей радіолокаційного виявлення та селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні зливових опадів різної інтенсивності. На основі експериментів удосконалено технологію поділу в хвилеводному тракті електромагнітних полів із різними поляризаціями для випромінювання та приймання відбитої від об'єкта електромагнітної хвилі.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні нової методології поляризаційної селекції навігаційних об'єктів (таких як морські судна, малі надводні цілі, буї та берегові орієнтири), яка комплексно вирішує науково-прикладну проблему виділення їхніх луна-сигналів на тлі інтенсивних атмосферних завад. На відміну від існуючих методів суднової радіолокації, які для послаблення завад використовують фіксовану лінійну горизонтальну поляризацію для зменшення перешкод від морського хвилювання (що призводить до незворотних енергетичних втрат корисного сигналу), запропоновано підхід, заснований на одночасному прийомі всіх ортогональних складових (повному аналізі поляризаційного стану) частково поляризованої хвилі складного об'єкта, що являє собою суперпозицію відбиттів від навігаційного об'єкта та атмосферного утворення. Завдяки використанню матричного апарату і дійсних параметрів Стокса, вдалося алгоритмічно та апаратно розділити накладені луна-сигнали навігаційного об’єкта й атмосферного утворення. В результаті сформовано науково обґрунтовану методологію, яка без втрат енергетичного потенціалу забезпечує достовірне виявлення навігаційних небезпек, що суттєво підвищує ефективність функціонування суднових радіолокаційних комплексів.

В результаті розв'язання головних і додаткових завдань сформульовані наступні **наукові положення**:

— механізм поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що знаходяться в зоні атмосферного утворення, залежить від синтезу алгоритмів виявлення і відмінності поляризаційного стану луна-сигналів навігаційного об'єкта і атмосферного утворення, при цьому враховуються як поляризаційні характеристики луна-сигналів навігаційного об'єкта, так і поляризаційні характеристики луна-сигналів атмосферного утворення;

— підвищення ефективності радіолокаційного виявлення навігаційних об'єктів, що знаходяться у зоні небезпечних атмосферних утворень, СРПК досягається випромінюванням і прийомом електромагнітних хвиль певних поляризацій лінійних, кругових, а також неполяризованих з подальшим використанням повного енергетичного потенціалу прийнятих всеполяризованою антеною СРПК електромагнітних хвиль;

— ефективний розподіл потужності двох ортогональних компонент електромагнітної хвилі довільної поляризації, що надходять на вхід всеполяризованої антени СРПК проводиться шестикомпонентним поляризаційним роздільником на чотири лінійно поляризовані компоненти і дві кругові, з яких усередненням квадратичних і білінійних форм ортогональних складових частково поляризованого поля формуються дійсні енергетичні поляризаційні параметри Стокса, які використовуються при розв'язанні завдань поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що знаходяться у зоні атмосферних завад.

Наукові положення обґрунтовані науковими результатами:

Вперше:

— обґрунтовано фізико-технічні основи підвищення ефективності функціонування СРПК та розроблено комплекс моделей складного об'єкта (суперпозиції навігаційної об’єкта та атмосферного утворення). Комплекс включає фізичну модель випромінювання і прийому неполяризованої електромагнітної хвилі та енергетичну матрицю розсіювання, що дозволяє на основі аналізу перетворення поляризаційного стану декомпозувати сумарний луна-сигнал із використанням накопиченого тезауруса атмосферних завад;

— сформовано цілісну методологію поляризаційної селекції навігаційних об'єктів в умовах складного атмосферного середовища, яка, на відміну від традиційного амплітудного аналізу, базується на параметричному описі частково поляризованого поля за допомогою трьох взаємодоповнюючих інформаційних блоків: елементів матриці когерентності, ступеня поляризації луна-сигналів та часово-просторових статистичних властивостей їхніх поляризаційних параметрів;

— здійснено оптимальний статистичний синтез алгоритмів поляриметричного спостереження та розроблено технологію визначення критеріальних поляризаційних ознак, що утворюють предиктор складного об'єкта. Це забезпечило реалізацію правила максимуму правдоподібності для достовірного виділення сигналів об’єктів на тлі частково поляризованих атмосферних утворень без залучення фазових вимірювань;

— розроблено технічну архітектуру та універсальну функціональну схему суднового шестикомпонентного СРПК, яка містить керовану всеполяризовану антену, хвилеводний роздільник (що розмежовує поле на чотири лінійні та дві кругові компоненти), комутатор, двоканальний лінійний приймач та чотириканальну схему реєстрації дійсних енергетичних параметрів Стокса, а також функціональні схеми приладів, які апаратно синтезують матричні алгоритми селекції;

— проведено комплексну експериментальну верифікацію розробленої методології та технічних засобів СРПК (зокрема, у синергії з автоматизованим метеорологічним радіолокатором МРЛ-5), яка натурно підтвердила суттєве підвищення енергетичного потенціалу та радіовидимості об'єктів у складних метеоумовах і довела ефективність функціонування розробки як додаткового опціонального обладнання суден торгового флоту.

Удосконалено:

— математичну модель інформаційного потоку у судновому радіолокаційному поляризаційному комплексі, що дозволило вирішити завдання поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що знаходяться в зоні небезпечних атмосферних утворень;

— технологію побудови СРПК з повним аналізом поляризаційних властивостей луна-сигналів частково поляризованої хвилі складних об'єктів;

— практичну реалізацію моделі взаємодії СРПК з атмосферним середовищем, у якому перебуває навігаційний об'єкт, що базується на вимірюванні елементів матриці розсіювання складного об'єкта під час його послідовного опромінення електромагнітними хвилями чотирьох фіксованих поляризацій;

— структуру побудови радіолокаційного каналу під час розв'язання задач поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні небезпечних атмосферних утворень на шляху судна;

— теоретичні та експериментальні методи підвищення ефективності функціонування СРПК в умовах атмосферних завад.

Набули подальшого розвитку:

— модель основного інформаційного потоку, в якій фіксована послідовність операторів, що змінюються в часі, подається у вигляді матриць Мюллера, що характеризують набір атмосферних середовищ (опади різної інтенсивності та фазового стану);

— система радіолокаційних сигналів, яка розглядається як певна математична конструкція, що відображає здатність перетворення, передавання, одержання й оброблення радіолокаційної інформації про спостережувану СРПК ситуацію за траєкторією руху судна;

— модель відбивних властивостей складного об'єкта, в якій використовуються енергетичні, поляризаційні та дійсні параметри Стокса випромінюваних хвиль чотирьох поляризацій і параметри Стокса відбитої хвилі для кожного виду поляризації випромінюваної хвилі;

— відомості про розсіювальну здатність складного об'єкта використовуються в СРПК у вигляді параметрів Стокса, представлених

інформаційними блоками (енергетична матриця, матриця когерентності, ступінь поляризації та статистичні критеріальні параметри Стокса);

— теоретичні та експериментальні методи визначення поляризаційних параметрів луна-сигналів частково поляризованої хвилі складного об'єкта.

Наукова значимість дослідження полягає в підвищенні ефективності суднових радіолокаційних комплексів у складних умовах атмосферного середовища шляхом підвищення їхніх потенційних та інформаційних можливостей використанням методів, які ґрунтуються на поляризаційних властивостях електромагнітних хвиль під час радіолокаційного виявлення навігаційних об'єктів, що знаходяться в зоні небезпечних атмосферних утворень.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що на основі виконаних досліджень розроблено та впроваджено:

— математичну модель енергетичної матриці складного об'єкта, яка дає змогу виділити луна-сигнал навігаційного об'єкта з луна-сигналу складного об'єкта і забезпечити його радіолокаційне спостереження;

— математичну модель матриці когерентності частково поляризованої хвилі складного об'єкта, що дає змогу розв'язати задачу поляризаційної селекції навігаційного об'єкта, який перебуває в зоні небезпечного атмосферного утворення за траєкторією руху судна СРПК;

— систему нормованих інтенсивностей двох повністю поляризованих енергетичних потоків зі ступенями поляризації, які відповідають луна-сигналам навігаційного об'єкта та луна-сигналам атмосферного утворення;

— систему поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні небезпечних атмосферних утворень, з використанням статистичних властивостей поляризаційних параметрів луна-сигналів частково поляризованої хвилі складного об'єкта;

— радіолокаційну поляризаційну систему, що реалізує енергетичний та інформаційний потенціал методів поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, які перебувають в умовах небезпечних атмосферних завад.

Основні впровадження:

— технологію забезпечення ефективності дистанційного радіолокаційного виявлення навігаційних об’єктів, які перебувають у небезпечних умовах атмосферного середовища за трасою руху судна, під час знаходження суден у портах та при виході з портів, при підготовці командного складу до плавання на суднах компаній, завчасність прийняття обґрунтованого, відповідального рішення щодо управління судном у складних умовах атмосферного середовища для виключення аварійності судноплавства використано у ДП «В. Шіпс Україна» (акт від 28.11.2023 р.);

— методологію поділу енергетичних параметрів електромагнітних полів луна-сигналів частково поляризованої хвилі складного об'єкта, що складається з луна-сигналів навігаційного об'єкта і атмосферного утворення, використано фахівцями Державного підприємства «Морський торговельний порт «Чорноморськ» у судновій РЛС при радіолокаційному спостереженні морських суден, що заходять в порт при наявності опадів, які екранують луна-сигнал судна на індикаторі портового радіолокаційного комплексу, що дозволило виділити

луна-сигнал морського судна з луна-сигналу атмосферної завади і спостерігати його на радіолокаційному індикаторі і дисплеї комп'ютера, що підвищило безпеку заходу і виходу морських суден в порт (акт від 23.06.2021 р.);

— технологію, методику та алгоритми радіолокаційного розпізнавання навігаційних об’єктів і атмосферних утворень, які використовують матрицю когерентності, енергетичну матрицю, ступінь поляризації і статистичні параметри Стокса луна-сигналів частково поляризованої хвилі та алгоритм розрахунків зміни параметрів луна-сигналів, які надходять на вхід приймальної антени суднового радіолокаційного комплексу від навігаційних об'єктів і атмосферного утворення, використано при радіолокаційному забезпеченні для розходження суден як за трасою їх руху, так і при заході та виході з порту, при навчанні офіцерів судноплавної компанії з урахуванням напряму прийняття ними обґрунтованого та відповідального рішення на виконання маневру для забезпечення безпеки плавання. Експериментальне підтвердження наукових результатів, представлених в даному акті впровадження, проведено на судні т/х «DAISY» (акт від 20.04.2021 р.);

— радіолокаційні методи поляризаційної селекції навігаційних об’єктів, які перебувають у зоні випадних опадів на території Азовського моря, представлені матрицею когерентності, енергетичною матрицею розсіювання, ступенем поляризації та статистичними поляризаційними енергетичними параметрами Стокса луна-сигналів частково поляризованої хвилі, впроваджено в оперативну роботу Запорізького обласного центру гідрометеорології, які дають змогу забезпечити радіометеорологічною інформацією судна за трасою їхнього руху в Азовському морі, що підвищило безпеку їхнього судноводіння в складних умовах атмосферного середовища (акт від 20.01.2022 р.);

— радіолокаційну технологію та радіолокаційний поляризаційний комплекс (принцип побудови) з поляризаційною селекцією луна-сигналів навігаційних об'єктів і атмосферних утворень впроваджено в науково-дослідну й оперативну роботу Гідрометцентру Чорного та Азовського морів під час забезпечення радіометеорологічною інформацією суден, що перебувають в акваторії Одеського, Чорноморського та Ізмаїльського морських портів, а також під час заходження й виходу суден з цих портів, що забезпечує безаварійне судноплавство їхніми акваторіями незалежно від погодних умов (акт від 14.06.2021 р., акт від 18.01.2022 р.);

— у навчальний процес (акт від 15.04.2024 р.) та науково-дослідну роботу ДР № 0123U101463 «Удосконалення методів управління та експлуатації суден» Національного університету «Одеська морська академія» (акт від 15.05.2024 р.).

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень і рекомендацій. Наукові положення та результати, що отримані в дисертаційному дослідженні, достовірні, оскільки базуються на проведеному інформаційному пошуку, розробленій методології, розроблених математичних моделях основного інформаційного потоку в СРПК та моделях відбивної здатності складних об’єктів під час їх спостереження СРПК, збігу аналітичних та експериментальних значень досліджених параметрів при вирішенні задач поляризаційної селекції навігаційних об’єктів, а також актах впровадження

дисертаційних досліджень в суднових радіолокаційних комплексах (СРК) морських засобів транспорту та гідрометцентрах України.

Особистий внесок автора. У дисертаційному дослідженні викладено авторський підхід до розв'язання важливої науково-прикладної проблеми – забезпечення ефективності функціонування суднових радіолокаційних комплексів у складних умовах атмосферного середовища методами поляризаційної селекції навігаційних об'єктів. Наукові положення, теоретичні визначення, технологічні розробки та науково-практичні рекомендації, що висвітлені у роботі та виносяться на захист, отримані автором особисто (під час проведених ним наукових досліджень у Національному університеті «Одеська морська академія», а також на морських суднах, що належать українським та закордонним судноплавним компаніям), Українських гідрометцентрах та викладені у його наукових працях.

З наукових робіт, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто:

[2, 8, 14, 22, 49] – проведення інформаційного пошуку адекватного теоретичного апарату використання частково поляризованої хвилі в експериментальних дослідженнях;

[13, 19, 37, 38, 41] – аналіз радіолокаційного каналу, який дозволяє функціонування СРПК в умовах атмосферних завад;

[7, 9, 10] – розроблення просторово-часової фільтрації атмосферних завад;

[4, 6, 11, 27, 36] – математичне обґрунтування методів поляризаційної селекції навігаційних об'єктів;

[5, 12, 24, 26] – розроблення методології підвищення ефективності функціонування СРПК в умовах атмосферних завад;

[29, 30] – розроблення схеми експериментального СРПК;

[34, 50] – використання накопиченого тезауруса.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень за темою дисертаційної роботи неодноразово доповідалися на низці міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій, зокрема на:

— науково-технічній конференції «Транспортні технології (Морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (2019 р., м. Одеса, НУ «ОМА»);

— XII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2020» (2020 р., м. Херсон, ХДМА);

— Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку морської галузі, підвищення ефективності та безпеки судноплавства» (2021 р., м. Маріуполь, АМІ НУ «ОМА»);

— XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-21» (2021 р., м. Херсон, ХДМА);

— Першій Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі – PSDMI-2021» (2021 р., м. Херсон, ХДМА);

— International Conference on Science and Technology «Navigation, Shipping and Technology» NST (2021 p., Odesa, National University “Odesa Maritime Academy”);

— науково-технічній конференції з судноводіння, морських перевезень та технологій «NAVIGATION, SHIPPING AND TECHNOLOGY» NST-2022 з нагоди 50-річчя Морського інституту Великобританії (2022 р., м. Одеса, НУ «ОМА»);

— XV Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2023» (2023 р., м. Херсон, ХДМА);

— The First International Symposium «Special Ships and Intelligent Systems 2023» (2023 p., Sanya, China).

Публікації. Основні наукові положення та результати дисертації висвітлено у 57 наукових працях, з яких 9 опубліковано одноосібно. Серед них: 23 статті – у наукових фахових виданнях України; 5 статей – в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 3 патенти та свідоцтва про реєстрацію авторського права; 26 тез доповідей – у збірниках матеріалів міжнародних і всеукраїнських конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з переліку умовних скорочень, вступу, шістьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 353 сторінок, зокрема: основний текст – 240 сторінок з анотацією на 23 сторінках, список використаних джерел із 224 найменувань на 28 сторінках, додатки – 57 сторінок, 45 рисунків, 17 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність обраної теми, сформульовані мета та комплексне завдання наукового дослідження, визначені наукова новизна й практичне значення отриманих результатів, показано особистий внесок автора в їх отриманні, охарактеризовані повнота викладення матеріалів дослідження у публікаціях, апробація результатів дослідження та їх впровадження.

У **першому розділі** «Основні напрямки підвищення ефективності функціонування суднових радіолокаційних комплексів» на основі системного аналізу процесу їхнього розвитку та з урахуванням методології пошуку оптимальної технологічної структури здійснено огляд існуючих наукових досліджень і виділено коло проблем, які дотепер не мали ефективних наукових розв'язань.

Головною мотивацією досліджень є сьогоденна наявність **запитів практики**:

— на забезпечення ефективності функціонування суднових радіолокаційних комплексів в умовах атмосферних завад;

— на підвищення енергетичної ефективності суднового радіолокаційного комплексу;

— на забезпечення отримання радіолокаційної інформації щодо навігаційних об’єктів і атмосферних утворень за траєкторією руху судна;

— на використання суднових радіолокаційних поляризаційних комплексів на сучасних швидкісних суднах з підвищеним енергетичним потенціалом;

— на використання в суднових радіолокаційних поляризаційних комплексах методів поляризаційної селекції луна-сигналів складних об’єктів, які дозволяють забезпечити розрізнене спостереження на індикаторах та дисплеях суднових комп’ютерів луна-сигналів навігаційних об’єктів і луна-сигналів атмосферних утворень;

— на впровадження в суднові радіолокаційні поляризаційні комплекси більш інформативних і дійсних, енергетичних поляризаційних параметрів Стокса, які легко вимірюються та дозволяють отримати радіолокаційну інформацію про навігаційні об’єкти при різних умовах атмосферного середовища;

— на використання у суднових радіолокаційних поляризаційних комплексах всеполяризованої антени, яка дозволяє випромінювати електромагнітну хвилю певної поляризації та приймати луна-сигнал частково поляризованої хвилі складного об’єкта;

— на використання у системі опрацювання трьох енергетичних матриць, які дозволяють розділити луна-сигнал складного об’єкта на луна-сигнал навігаційного об’єкта та луна-сигнал атмосферного утворення.

На підставі аналізу сучасних концепцій розвитку суднових радіолокаційних комплексів, що забезпечують радіолокаційне спостереження навігаційних об’єктів, встановлено **наявність наступних нерозв’язаних проблем** під час функціонування суднових радіолокаційних комплексів:

— порушення використання повного енергетичного потенціалу електромагнітної хвилі як на випромінювання, так і на прийом;

— недостатня інформація про сигнали та завади;

— необхідність додаткової апріорної інформації щодо об’єктів радіолокаційного спостереження та джерел завад у процесі первинної обробки луна-сигналів;

— недосконаліть методів радіолокаційного виявлення навігаційних об’єктів, що знаходяться в складних умовах атмосферного середовища;

— відсутність алгоритму і критерію використання статистичних методів розділу луна-сигналів навігаційного об’єкта і атмосферного утворення;

— недостатня ефективність коефіцієнта розрізнення навігаційного об’єкта на тлі атмосферного утворення.

У практичній судновій радіолокації луна-сигнали надходять одночасно на вхід антени суднового радіолокатора як від точечних об'єктів, так і від об'єктів об'ємно-розподілених (складний об'єкт), що призводить до енергетичних втрат, помилкових тривог, пропускання луна-сигналів навігаційних об'єктів, тому що параметри електромагнітної хвилі, що використовуються - амплітуда, фаза та частота, перестали бути мінімальними, нетривіальними, достатніми. Тому запит на забезпечення успішного радіолокаційного спостереження навігаційних об'єктів, що перебувають у складних умовах атмосферного середовища, є основною мотивацією дисертаційних досліджень, спрямованих:

— на підвищення безпеки судноводіння радіолокаційними методами аналізу та синтезу поляризаційної структури луна-сигналів складних об'єктів у СРК, баченням на індикаторах або дисплеях комп'ютера луна-сигналу навігаційного об'єкта;

— на забезпечення процесу радіолокаційного спостереження навігаційних об'єктів, що перебувають у складних умовах атмосферного середовища, з використанням енергетичної матриці та матриці когерентності;

— на забезпечення повного прийому луна-сигналів частково поляризованої хвилі складного об'єкта шляхом використання поляризаційних дійсних енергетичних параметрів Стокса;

— на впровадження в СРК методів поляризаційної селекції, що забезпечують їхнє функціонування в складних умовах атмосферного середовища;

— на підвищення ефективності виявлення СРК навігаційних об'єктів, що знаходяться в зоні атмосферних опадів різної інтенсивності, шляхом знаходження законів розподілу параметрів Стокса складного об'єкта, як випадкових величин за результатами радіолокаційних даних.

Результати теоретичних розробок радіолокаційних методів селекції рухомих об'єктів та їхня практична реалізація в СРК розглянуті у фундаментальних працях представників української радіолокаційної школи: Ф. Й. Яновського, В. К. Волосюка, В. Г. Путятіна, М. Д. Кошевого, а також у роботах провідних вітчизняних фахівців з навігації та радіолокації Ю. А. Авер'янової, В. М. Кошевого, Л. Л. Вагущенка, А. С. Мальцева та ін. До теперішнього часу технічне рішення захисту СРК від зовнішніх завад має два основних напрямки, один з яких заснований на виключенні потрапляння завад до приймального тракту СРК, а інший – на усуненні заважаючої дії завад, які потрапили до приймального тракту СРК. На підставі аналізу сучасних методів селекції луна-сигналів навігаційних об'єктів, на тлі атмосферних завад, встановлено наявність наступних невирішених проблем при функціонуванні СРК:

— складність побудови системи селекції рухомих навігаційних об'єктів під час руху СРК, викликана необхідністю введення в коливання когерентного генератора поправки на частоту, що дорівнює за величиною поправці Доплера, та її неефективність під час практичної реалізації;

— луна-сигнали від двох об'єктів (навігаційний об'єкт і атмосферні опади, що випадають, утворюють складний об'єкт) по-різному змінюють поляризацію під час відбиття однієї й тієї самої електромагнітної хвилі, що опромінює їх, і створюють необхідність у розробленні та впровадженні в СРК поляризаційної селекції навігаційних об'єктів;

— СРК за своїми технічними параметрами не мають технічної основи для реалізації в них методів поляризаційної селекції навігаційних об'єктів за наявності атмосферних утворень по траєкторії руху судна;

— у СРК не створено фізичної основи поляризаційної селекції навігаційних об'єктів;

— не розглянута поляризаційна структура використовуваної в СРК електромагнітної хвилі при вирішенні задачі радіолокаційної селекції навігаційних об'єктів;

— необхідність матричного представлення складного об'єкта як перетворювача поляризаційного стану зондувального сигналу;

— здійснення повного прийому луна-сигналу частково поляризованої хвилі складного об'єкта.

Аналіз проєктування структур антен еліптичної поляризації показав, що вдосконалення антени СРК необхідно вести в таких напрямках:

— на вдосконалення антени СРК у випромінюванні електромагнітної хвилі певної поляризації та повного приймання луна-сигналів складного об'єкта;

— факторизацію поляризаційної структури луна-сигналів частково поляризованої хвилі на виході всеполяризованої антени проводити незалежно і розділено;

— перебудову поляризації випромінювання електромагнітної хвилі всеполяризованої антени за рахунок певних амплітудних і фазових співвідношень на несучій частоті;

— технологія поляризаційної селекції навігаційних об'єктів з використанням всеполяризованої антени заснована на матричних рівняннях взаємозв'язку параметрів електромагнітної хвилі з фізичними параметрами складного об'єкта радіолокаційного спостереження СРПК;

— стратегія формування системи радіолокаційних сигналів, що базуються на їхніх поляризаційних параметрах;

— моделі взаємодії СРПК з атмосферним утворенням, у якому перебуває навігаційний об'єкт;

— реалізація моделей виділення луна-сигналу навігаційного об'єкта з луна-сигналу складного об'єкта.

Реалізація поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають на тлі атмосферних утворень за траєкторією руху судна, має бути виконана СРПК, що дасть змогу за будь-яких складних атмосферних умов забезпечити екіпаж судна радіовидимістю навігаційних об'єктів на екрані індикатора або дисплеї комп'ютера. З урахуванням проєктування і реконструкції обладнання, викладених О. Є. Федоровичем і В. В. Зайцевим, результатів наукових досліджень з радіолокації та гарантованої безпеки судноводіння, отриманих представниками української радіолокаційної школи Ф. Й. Яновським, В. К. Волосюком, В. М. Кошевим, Ю. А. Авер'яновою, а також провідними фахівцями морської галузі М. М. Цимбалом та І. О. Бурмакою, і ґрунтовних наукових праць д.т.н., професора Ю. П. Кондратенка щодо створення методологічних засад поліергатичного забезпечення навігації та управління рухом водних засобів у нестаціонарному середовищі для своєчасного виявлення небезпечних об'єктів за траєкторією руху. Певний внесок у розв'язання проблеми "людського фактора" з підвищення надійності людини-оператора під час керування судном у складних умовах атмосферного середовища зробить і судновий радіолокаційний поляризаційний комплекс із реалізацією поляризаційної селекції навігаційних об'єктів за траєкторією руху судна.

На основі проведеного аналізу, викладено наявні проблеми функціонування суднових радіолокаційних комплексів, які забезпечують

безпеку судноводіння, підкреслюють доцільність наукових досліджень, результати яких забезпечать підвищення ефективності функціонування суднових РЛС у складних умовах атмосферного середовища по траєкторії руху судна.

У другому розділі «Методологія наукового дослідження процесу підвищення ефективності функціонування СРК» наведено методологію наукового дослідження процесу сталого вдосконалення функції отримання радіолокаційних даних про навігаційні об'єкти, які перебувають у зоні небезпечного атмосферного середовища по трасі руху судна з використанням відомостей про зв'язок параметрів навігаційного об'єкта з радіолокаційними сигналами. Удосконалення функцій отримання радіолокаційних даних про навігаційний об'єкт включає створення в СРК поляриметричного режиму, що реалізує поляризаційну селекцію навігаційних об'єктів, засновану на прикладних поляризаційних моделях і методах вимірювання елементів поляризаційних матриць складного об'єкта радіолокаційного спостереження СРПК. Процес розвитку радіолокаційної поляриметрії дає можливість ефективно використати накопичену інформацію щодо попередніх розробок і повною мірою врахувати чинники навколишнього середовища.

Розгляд процесу розвитку суднової радіолокаційної системи з погляду підвищення її функціонування в складних умовах атмосферного середовища відповідає основному завданню – удосконаленню функцій одержання радіолокаційних даних про навігаційний об'єкт, який перебуває в складних умовах атмосферного середовища за траєкторією руху судна. Виходячи з основного завдання удосконалення СРК, вибір напряму наукового дослідження ґрунтується на проведенні експертної оцінки можливих варіантів розв'язання задачі одержання повної радіолокаційної інформації про навігаційний об'єкт за такими критеріями: актуальність, наукова новизна, економічна (практична) цінність, вдосконалення функцій отримання радіолокаційних даних про навігаційний об'єкт за траєкторією руху судна.

Проведена експертна оцінка засвідчила, що найактуальнішим і найдоцільнішим напрямом є вдосконалення теоретичного опису та розроблення практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності функціонування СРК за рахунок використання енергетичних поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі, що забезпечують дистанційне радіолокаційне розпізнавання навігаційних об'єктів за траєкторією руху судна в складних умовах атмосферного середовища. Відповідно до цих висновків було сформовано мету та тему дисертаційного дослідження. Вона повністю відповідає положенням Транспортної стратегії України на період до 2030 року та паспорту спеціальності 05.22.13 – «Навігація та керування рухом» (за напрямами 2, 6, 7, 9, 10, 12).

Важливість розв'язання нових завдань дає змогу сформулювати актуальну науково-технічну проблему у сфері розвитку СРК та радіолокаційних технологій – дослідження та розробка методів удосконалення інформаційних та експлуатаційних характеристик СРК, що забезпечать підвищення ефективності функціонування СРК у складних умовах атмосферного середовища, а використання системного аналізу дає змогу сформулювати мету, концепцію, комплексне та головне завдання, наукове положення і наукове значення, які подано у вигляді технологічної карти, представленої на рис. 1.

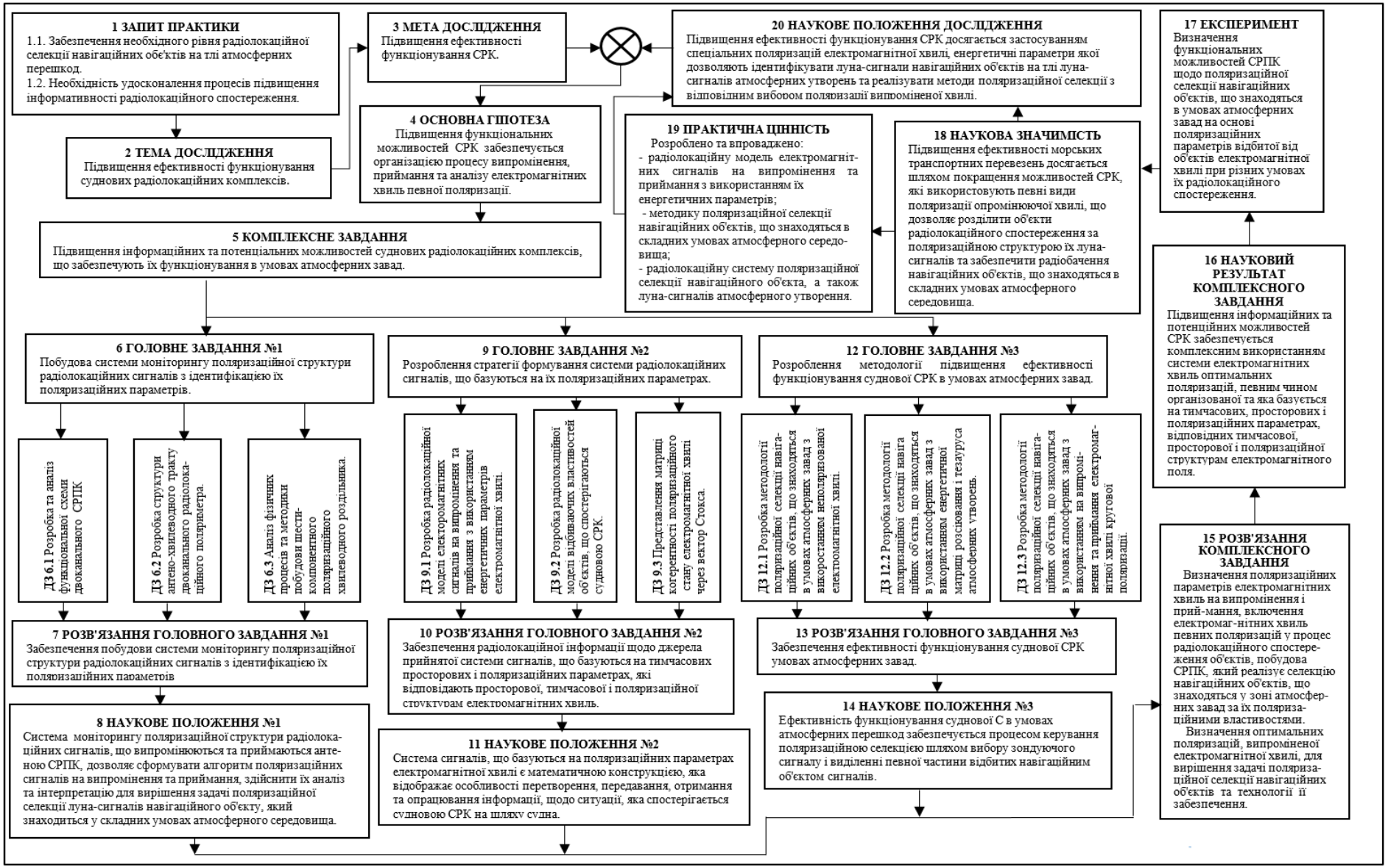


Рис. 1 – Технологічна карта дослідження

Складність системи радіолокаційних сигналів пов'язана з її просторово-часовими та поляризаційними характеристиками і розглядається як математична структура, що відображає особливості перетворення, передавання, приймання, опрацювання та аналіз інформації щодо спостережуваної ситуації на шляху судна з використанням фізико-математичних моделей і матричних методів розв'язання задач поляризаційної селекції навігаційних об'єктів.

Особливу роль у складній системі радіолокаційних сигналів СРПК виконує комбінація процедур оцінювання поляризаційних параметрів складного об'єкта радіолокаційного спостереження, яка дає змогу виокремити луна-сигнал навігаційного об'єкта з луна-сигналу складного об'єкта за допомогою енергетичної матриці, матриці когерентності, ступеня поляризації та статистичних критеріальних параметрів.

Третій розділ "Система моніторингу поляризаційної структури радіолокаційних сигналів з ідентифікацією їх поляризаційних параметрів" присвячено розв’язанню першого головного завдання. У цьому розділі розглянуто принцип побудови експериментального макета СРПК, що дає змогу практично реалізувати поляризаційну селекцію луна-сигналів навігаційного об'єкта, який перебуває в зоні атмосферного утворення.

Побудова експериментального СРПК нерозривно пов'язана з його розвитком, під яким розуміють кількісну і якісну зміну структури, що полягає у впровадженні актуальних змін та розробленні нових апаратно-програмних засобів. Для цього використовується дослідницький підхід "від частини до цілого" – від вивчення окремих пристроїв і вузлів до визначення загальних функцій СРПК. Розширення функціональних можливостей комплексу досягається завдяки переходу до поляризаційного режиму виявлення навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні атмосферних утворень. Основним критерієм якості функціонування СРПК у цьому разі є ефективність радіолокаційного розв'язання задач поляризаційної селекції. Процес удосконалення комплексу передбачає зміну функцій окремих елементів, де центральною є концепція нерозривного зв'язку та єдності принципів системності й розвитку. Під час функціонування та розвитку СРПК формується відповідний інформаційний тезаурус, що забезпечує самовідображення системи та накопичення відомостей про зовнішнє середовище.

У структурі СРПК визначається характер зв'язків і відносин між елементами, як єдиного цілого, а перебудова структури містить зміну складу та функціональної взаємодії його частин залежно від виконання завдання поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні атмосферного утворення. СРПК має відповідати вдосконаленню функцій отримання радіолокаційної інформації про об'єкти радіолокаційного спостереження. Тому, крім традиційних функцій отримання кількісної інформації про рух навігаційних об'єктів, СРПК необхідно здійснювати їх поляризаційну селекцію на тлі атмосферних утворень, оскільки поляризаційні характеристики електромагнітної хвилі є надійним інформаційним параметром про навігаційні об'єкти.

Поляризаційна селекція ґрунтується на використанні елементів матриці когерентності, ступеня поляризації луна-сигналів об'єктів, які спостерігаються СРПК, елементах енергетичної матриці розсіювання об'єктів, а також статистичних параметрів Стокса луна-сигналів об'єктів, що спостерігаються.

Практичне застосування поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі пов'язане з використанням елементів і пристроїв, які дають змогу СРПК випромінювати електромагнітні хвилі певних поляризацій, а також неполяризовану хвилю й аналізувати поляризаційні параметри луна-сигналів навігаційного об'єкта й атмосферного утворення.

В основу поляризаційних методів, що реалізуються в СРПК, покладено взаємозв'язок поляризаційної структури електромагнітного поля як на випромінювання, так і на приймання, із визначеними поляризаційними параметрами на виході та вході всеполяризованої антени СРПК, а також на виході систем оброблення радіолокаційної інформації.

Якщо на випромінювання використовується електромагнітна хвиля певної поляризації (лінійної, кругової, еліптичної або неполяризованої хвилі), то на вхід всеполяризованої антени в режимі приймання надходить відбита від об'єктів частково поляризована хвиля, аналіз поляризаційних параметрів якої дає змогу використовувати поляризаційні методи селекції навігаційних об'єктів, які перебувають у складних атмосферних умовах середовища на шляху судна.

У зв'язку з тим, що традиційні методи представлення поляризації електромагнітної хвилі за допомогою параметрів поляризаційного еліпса виявляються в практичних додатках незручними, у СРПК перевагу надано параметричним методам аналізу поляризаційної структури електромагнітної хвилі як на випромінювання, так і на приймання. Висновок про параметри частково поляризованого поля роблять за середніми в часі значеннями поляризаційних параметрів Стокса, пов'язаних лінійними залежностями з елементами поляризаційних матриць.

У СРПК аналіз поляризації луна-сигналів частково поляризованої хвилі, що надходить на вхід всеполяризованої антени, здійснюється за двома ортогональними компонентами, кожна з яких перетворюється і посилюється в окремому лінійному каналі. Використовується всеполяризована антена з регульованими поляризаційними параметрами електромагнітної хвилі на випромінювання. Антенна система СРПК дає змогу послідовно випромінювати електромагнітні хвилі чотирьох фіксованих поляризацій (три лінійні, одна кругова, а також неполяризовану хвилю). Для підвищення перешкодозахищеності, надійності та безпеки транспортних перевезень СРПК забезпечує селекцію луна-сигналів навігаційних об'єктів під час одночасного здійснення кількох функцій із певною динамікою їхньої зміни. Для цього в структурі СРПК застосовуються пристрої, які реалізують подібні функції, і кожне з них відповідає окремому каналу оброблення отриманої інформації, що дає змогу оцінювати навколишнє середовище й керування рухом судна з урахуванням даних СРПК за наявності складних умов атмосферного середовища. СРПК, функціонуючи в складному атмосферному середовищі, забезпечує одержання повнішої інформації про навігаційний об'єкт, що

перебуває в зоні атмосферних утворень. У разі використання на випромінювання неполяризованої хвилі та вимірювання її луна-сигналів від об'єктів радіолокаційного спостереження, у пристроях оброблення застосовуються лінії затримки для накопичення прийнятої інформації.

Практичне використання поляризаційних ефектів для підвищення ефективності функціонування СРПК за рахунок збільшення їхнього енергетичного потенціалу, а також для розв'язання задач поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у складних умовах атмосферного середовища, пов'язане з необхідністю застосовувати в СРПК елементи та пристрої, які дають змогу випромінювати електромагнітні хвилі з певною фіксованою поляризацією та аналізувати поляризаційні параметри луна-сигналів, спостережуваних об'єктів. СРПК з поляризаційною селекцією луна-сигналів у загальному випадку частково поляризованої хвилі відрізняються від існуючих суднових РЛС наявністю в антенно-хвильоводному тракті спеціальних високочастотних елементів, призначених для певного перетворення поляризаційних параметрів випромінюваних і прийнятих радіолокаційних сигналів. Усі високочастотні елементи і пристрої антенно-хвильоводного тракту СРПК є стандартними, заводського виготовлення і використані для конструкції всеполяризованої антени з регульованими поляризаційними характеристиками на випромінювання, що підвищує енергетичний потенціал СРПК залежно від типу атмосферних утворень і поляризації випромінюваної хвилі.

Для формування електромагнітних хвиль певних поляризацій використано хвилевідний пристрій на прямокутному хвилеводі ($\lambda = 3{,}2$ см) з двома щілинними мостами, двома феритовими фазообертачами, узгодженим навантаженням, керованим регулятором фаз. Розв'язку каналів здійснюють феритові хвилевідні циркулятори, антенні перемикачі, Е, Н, Т - хвилевідні мости, поляризаційний селектор, комутатори і хвилевідні переходи.

Як антенний пристрій у СРПК використано всеполяризовану антену з керованою поляризацією на випромінювання, що дає змогу оптимально реалізувати енергетичні можливості СРПК шляхом представлення поляризації електромагнітної хвилі на випромінювання та прийом дійсними енергетичними параметрами Стокса.

При цьому можливі кілька підходів до класифікації методів поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, залежно від виду поляризації сигналу, що зондує обидва об'єкти одночасно. Радіолокаційними характеристиками як навігаційних об'єктів, так і атмосферних утворень у СРПК є дійсні енергетичні поляризаційні елементи матриць Мюллера, що володіють високою інформативною ознакою під час розв'язання задачі радіолокаційного виявлення і спостереження навігаційних об'єктів на шляху судна. При цьому використовується розсіяне випромінювання складних об'єктів, а радіолокаційними характеристиками складного об'єкта є поляризаційні параметри луна-сигналів електромагнітної хвилі. Структурно система луна-сигналів має всі системні атрибути: цілісність, структуру, елементи, організацію. Ці ознаки випливають із просторово-часової та поляризаційної структур електромагнітної хвилі. Цілісність структури системи сигналів у СРПК забезпечується матеріальністю і фізичними характеристиками

випромінюваного і розсіяного складним об'єктом електромагнітного поля, інформативними властивостями сигналів, які входять до системи, а також певною автономністю цієї системи від структури, цілей, завдань і функцій аналізатора і споживача, що доставляється системою сигналів СРПК інформацією екіпажу судна. Автономність системи поляризаційних сигналів у СРПК споріднена автономності тезаурусу атмосферних утворень, найважливішою частиною якого є екіпаж судна, а саме те, що він є частиною системи сигналів. СРПК має забезпечити, з урахуванням побудови його функціональної схеми, розв'язання прямої задачі виявлення луна-сигналу складного об'єкта і селекцію луна-сигналу навігаційного об'єкта в конкретних умовах навколишнього середовища на шляху судна. При цьому джерела луна-сигналів складного об'єкта вважаються відомими за своїми некоординатними параметрами та співвідносяться з їхньою розсіювальною здатністю шляхом визначення універсального оператора, тобто матриці розсіювання об'єктів.

Розроблену функціональну схему СРПК представлено на рис. 2, до якої входять: всеполяризована антена А, з регульованою поляризацією на випромінювання та шестиканальним поляризаційним роздільником луна-сигналів у режимі приймання, що дає змогу формувати поляризаційні параметри електромагнітної хвилі на випромінювання за допомогою пристрою 1, а приймання відбитої хвилі будь-якої поляризації здійснювати дзеркалом 2, що виконане у вигляді параболоїда обертання діаметром 76 см, зі встановленим у фокусі дзеркала випромінювачем із контррефлектором. З виходу пристрою 1 електромагнітна хвиля певної поляризації через антенні перемикачі 3 і поляризаційний роздільник 4 (у режимі приймання - хвилеводний роздільник) надходить на антену і випромінюється в простір. У режимі приймання луна-сигнал частково поляризованої електромагнітної хвилі розділяється на чотири лінійні ортогональні компоненти роздільником 4 – лінійну вертикальну, лінійну горизонтальну та дві лінійні з нахилом електричного вектору 45^{o} і 135^{o}, а для формування двох компонент електромагнітної хвилі кругової поляризації правого й лівого напряму обертання використано хвилеводний Н-міст 6, хвилеводний Е-міст 8, а також фазорозподілювач 7 для створення різності фаз між ортогональними компонентами, вертикальної та горизонтальної поляризаціями, що надходять з виходу поляризаційного роздільника 4 через циркулятори 5. Ортогональні компоненти електромагнітної хвилі, з фазовим зсувом між ними 90^{o}, надходять на Т-хвилеводний міст 9, який і формує дві компоненти електромагнітної хвилі кругової поляризації правого і лівого напрямку обертання. Сформовані шестиканальним поляризаційним роздільником 4 шість компонент луна-сигналу складного об'єкта електромагнітної хвилі, прийнятої всеполяризованою антеною, через хвилеводний комутатор 10 надходять на вхід двоканального лінійного приймача. Двоканальний лінійний приймач Б з подвійним перетворенням луна-сигналів шести компонент у проміжні частоти (30 МГц і 4 МГц) електромагнітної хвилі, що надходить із хвилеводного комутатора 10, до функціональної схеми якого включено підсилювачі високої частоти прийнятих луна-сигналів 11, змішувачі 12 і гетеродин 13 для проміжної частоти 30 МГц, підсилювачі 14 проміжної

частоти 30 МГц, змішувачі 15, гетеродин 16 і лінійні підсилювачі 17 луна-сигналів проміжної частоти 4 МГц з аналого-цифровою масштабованою системою, амплітудні детектори 18 і підсилювачі низької частоти 19. Пристрій В, що реалізує поляризаційну селекцію навігаційного об'єкта, що перебуває в зоні небезпечного атмосферного утворення і спостерігається СРПК, до якого входять: формувачі 22, 24 чотирьох дійсних поляризаційних параметрів Стокса; формувач 23 ступеня поляризації електромагнітної хвилі, відбитої від складного об'єкта; формувач 25 енергетичної матриці розсіювання складного об'єкта; формувач 26 статистичних критеріальних поляризаційних параметрів Стокса складного об'єкта; формувач 27 матриці когерентності складного об'єкта. З виходів формувачів 23, 25 – 27 луна-сигнали навігаційних об'єктів надходять на електронно-променеві індикатори СРПК 20 і дисплей суднового комп'ютера 21 для їхніх спостережень та отримання дистанційної інформації про траєкторію руху судна.

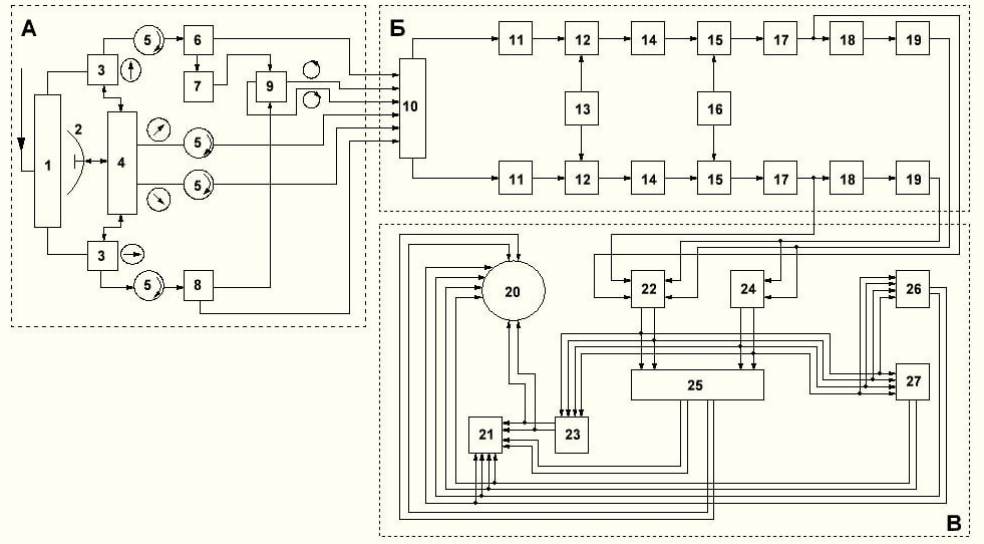


Рис. 2. Універсальна функціональна схема СРПК:

А – всеполяризована антенна; **Б** – двоканальний лінійний приймач із хвилеводним комутатором; **В** – пристрій поляризаційної селекції луна-сигналів навігаційного об'єкта з їх індикаціями.

1 − пристрій формування електромагнітної хвилі певної поляризації на випромінювання; 2 − дзеркало антени; 3 − антенні перемикачі; 4 − поляризаційний роздільник у режимі прийому (або селектор у режимі випромінювання); 5 − фазові циркулятори; 6 − хвилевідний Н-міст; 7 − фазорозподілювач на 90°; 8 − хвилевідний Е-міст; 9 − хвилеводний Т-міст; 10 − хвилеводний комутатор; 11 − підсилювачі високої частоти; 12 − змішувачі сигналів проміжної частоти 30 МГц; 13 − гетеродин проміжної частоти 30 МГц; 14 − підсилювачі проміжної частоти 30 МГц; 15 − змішувачі проміжної частоти 4 МГц; 16 − гетеродин проміжної частоти 4 МГц; 17 − підсилювачі проміжної частоти 4 МГц; 18 − детектори; 19 − підсилювачі низької частоти; 20 − індикатор СРПК; 21 − дисплей комп'ютера СРПК; 22 − формувач третього і четвертого поляризаційних параметрів Стокса; 23 − формувач ступеня поляризації луна-сигналів складного об'єкта; 24 − формувач першого і другого поляризаційних параметрів Стокса; 25 − формувач енергетичної матриці розсіювання складного об'єкта; 26 − формувач статистичних критеріальних поляризаційних параметрів Стокса складного об'єкта; 27 − формувач матриці когерентності складного об'єкта.

Функціональна схема високочастотної частини антени представлена на рис. 3, у яку входять: роздільник А луна-сигналів електромагнітної хвилі складного об'єкта на кругові поляризовані компоненти, що складається з фазообертача 1 на 90°, хвилеводних мостів 2, 3, 4; роздільник луна-сигналів електромагнітної хвилі складного об'єкта на лінійні поляризовані компоненти Б; хвилевідні антенні перемикачі 5 електромагнітної хвилі на випромінювання та приймання; пристрій формування електромагнітної хвилі певної поляризації на випромінювання 6 з регулятором фази УРФ; дзеркало антени з випромінювачем 7; фазовий циркулятор 9; модулятор прямокутних імпульсів 10; магнетронний НВЧ-генератор 11.

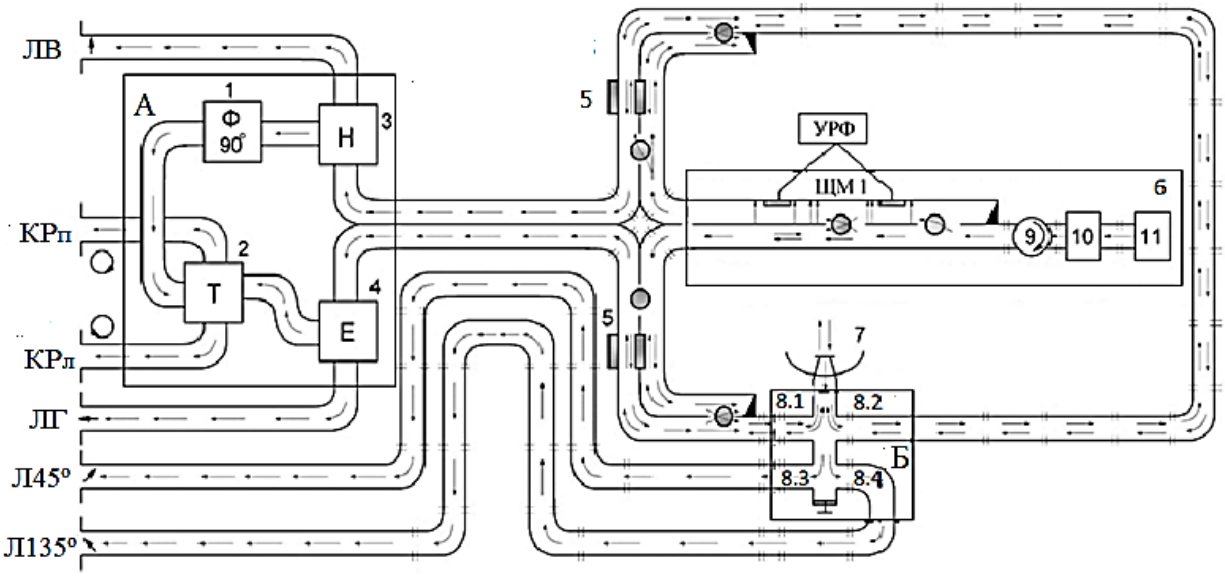


Рис. 3. Функціональна схема високочастотної частини всеполяризованої антени СРПК

А − роздільник поляризацій луна-сигналів частково поляризованої хвилі на кругові компоненти; **Б** − роздільник поляризацій луна-сигналів частково поляризованої хвилі на лінійні поляризовані компоненти.

1 − фазообертач на 90°; 2 − хвилеводний Т-міст; 3 − хвилеводний Н-міст; 4 − хвилеводний Е-міст; 5 − хвилеводні антенні перемикачі; 6 − пристрій формування електромагнітної хвилі певної поляризації на випромінювання; 7 − всеполяризована антена; 8.1...8.4 − прямокутні хвилеводи роздільника лінійних поляризацій; 9 − фазовий циркулятор; 10 − модулятор прямокутних імпульсів; 11 − магнетронний НВЧ-генератор.

Роботу хвилеводного пристрою (рис. 4) розглядають як у режимі випромінювання електромагнітних хвиль заданих поляризацій (зокрема й неполяризованої хвилі), так і в режимі приймання луна-сигналів від складного об'єкта під час його послідовного опромінення. Сформовані цим пристроєм зондувальні сигнали різної поляризації використовуються для розв'язання задачі поляризаційної селекції навігаційного об'єкта, що перебуває в зоні небезпечних атмосферних утворень.

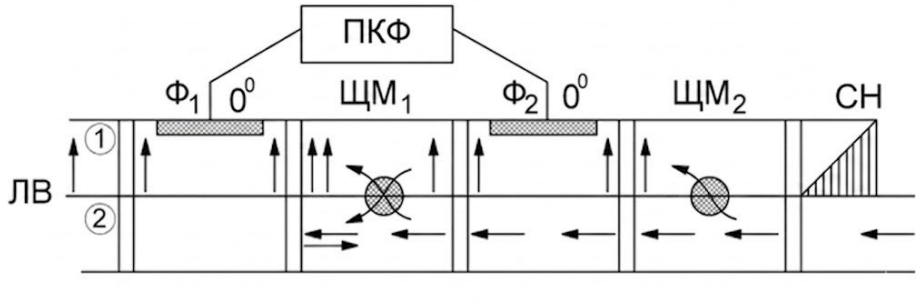


Рис. 4. Хвилеводний пристрій формування електромагнітної хвилі визначеної поляризації на випромінювання

У хвилеводному пристрої використовуються фазові зрушення між компонентами електромагнітної хвилі в щілинних мостах $ЩМ_1$ і $ЩМ_2$, а також керування фазами за допомогою фазообертувачів $Ф_1$ і $Ф_2$ та пристрою керування фазами (ПКФ).

Приймання луна-сигналів електромагнітної хвилі еліптичної поляризації здійснюється тією ж всеполяризованою антеною, що й на випромінювання електромагнітної хвилі певної поляризації, а високочастотні хвилеводні елементи (антенні перемикачі, циркулятори) працюють у режимі приймання. Найпростішими способами представлення еліптично поляризованої хвилі є представлення її у вигляді суми двох ортогональних лінійно поляризованих або поляризованих по колу компонентів, а розкладання хвилі на ортогональні лінійно поляризовані складові здійснюється за допомогою спеціального хвилеводного розділювача поляризації 3 та 4, конструкцію якого наведено на рис. 5.

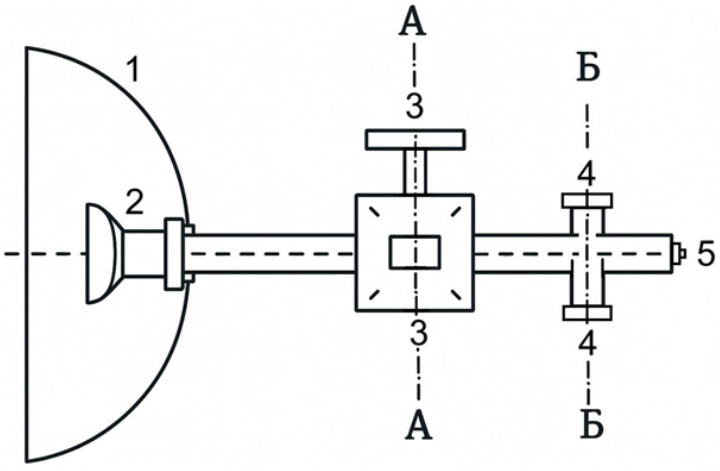
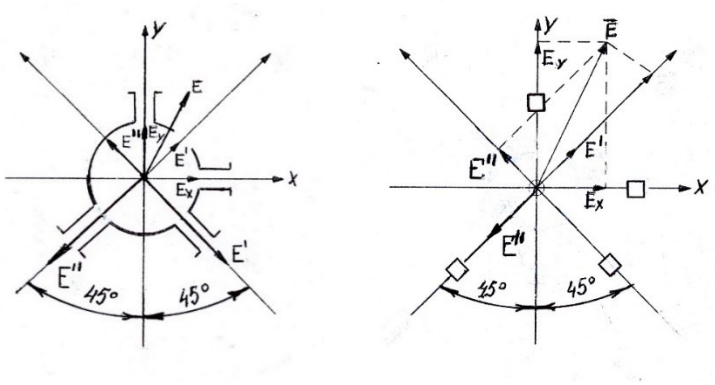


Рис. 5. Хвилеводний роздільник луна-сигналів лінійних поляризацій

1, 2 − антена з випромінювачем; 3 − хвилеводний роздільник луна-сигналів на лінійні ортогональні поляризації; 4 − хвилеводний роздільник луна-сигналів на лінійні ортогональні поляризації з орієнтацією прямокутних хвилеводів 45° і 135°; 5 − плунжер налаштування хвилеводного роздільника.

Для розділення луна-сигналу еліптично поляризованої хвилі складного об'єкта, який надходить на вхід антени, на дві ортогональні лінійно поляризовані компоненти використовується роздільник поляризації 3 (рис. 5) на круглому хвилеводі з переходом з круглого перерізу на два ортогонально розміщених прямокутних хвилеводи та роздільник 4 із поділом луна-сигналу еліптично поляризованої хвилі з використанням також двох прямокутних хвилеводів з орієнтацією електричного вектору 45° і 135°. У зв'язку з використанням СРПК електромагнітних хвиль лінійної поляризації з нахилом електричного вектору 45° і 135° застосовується хвилеводний роздільник 4 луна-сигналу лінійної поляризації на дві складові, який є продовженням круглого хвилеводу. Хвилеводний роздільник 4 також є пристроєм трійникового переходу з хвилеводу круглого перерізу на два ортогонально розташованих хвилеводи прямокутного перерізу, до яких надходять лінійно поляризовані компоненти луно-сигналів, площина поляризації яких становить кут 45° та 135°. З'єднання цих хвилеводів (круглого та чотирьох прямокутних), утворює власне поляризаційний роздільник. Круглий хвилевод роздільника закінчується плунжером налаштування 5, підключеним на відстані λ/4 від місця підключення прямокутних хвилеводів.

З'єднання хвилеводів, що утворює поляризаційний роздільник представлено на рис. 5 у перерізах А-А та Б-Б, а розподіл електричних векторів електромагнітної хвилі, що надходить з виходу антенної системи та з'єднання хвилеводів у роздільниках 3 та 4 представлений на рис. 6.



а) *б)*

Рис. 6. З'єднання хвилеводів (*а*) і векторна діаграма розподілу напруженості електричного поля (*б*) у хвилеводних роздільниках на чотири ортогональні компоненти

При надходженні в режимі приймання з виходу антени в круглий хвилевод довільно поляризованої хвилі потужності в прямокутних ортогональних каналах роздільника визначатимуться відношенням амплітуд відповідних компонент.

Для формування з луна-сигналу, що надійшов на вхід всеполяризованої антени електромагнітної хвилі еліптичної поляризації, електромагнітної хвилі кругової поляризації використовується функціональна схема, що представлена на рис. 7.

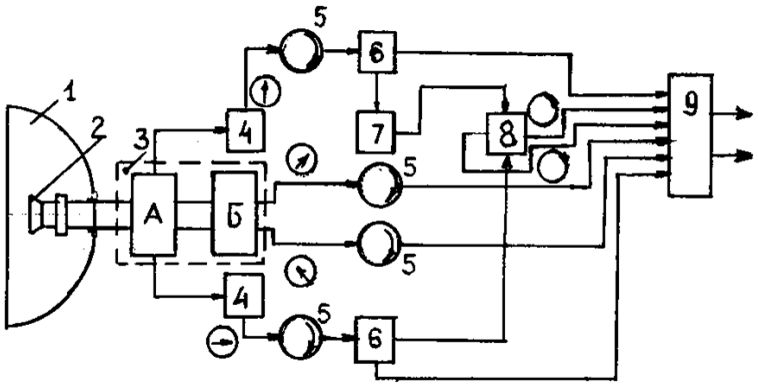


Рис. 7. Функціональна схема формування луна-сигналу електромагнітної хвилі кругової поляризації в шестикомпонентному хвилеводному поляризаційному роздільнику

А − поляризаційний хвилеводний роздільник на ортогонально поляризовані компоненти; **Б** − поляризаційний хвилеводний роздільник на ортогонально поляризовані компоненти з орієнтацією електричного вектора під кутами 45° і 135°.
1, 2 − антена з випромінювачем; 3 − хвилеводний роздільник луна-сигналів лінійних поляризацій; 4 − антенні перемикачі; 5 − циркулятори; 6 − хвилеводневі Н і Е-мости; 7 − фазорозподілювач лінійно поляризованої хвилі вертикальної поляризації на 90°; 8 − хвилеводний Т-міст; 9 − хвилеводний комутатор.

Конструкція хвилеводного шестикомпонентного (шестиканального) роздільника забезпечує появу луна-сигналу тільки однієї поляризаційної компоненти електромагнітної хвилі в одному вихідному каналі поляризаційного роздільника, блок-схему, якого представлено на рис. 8, а його еквівалентну схему - на рис. 9.

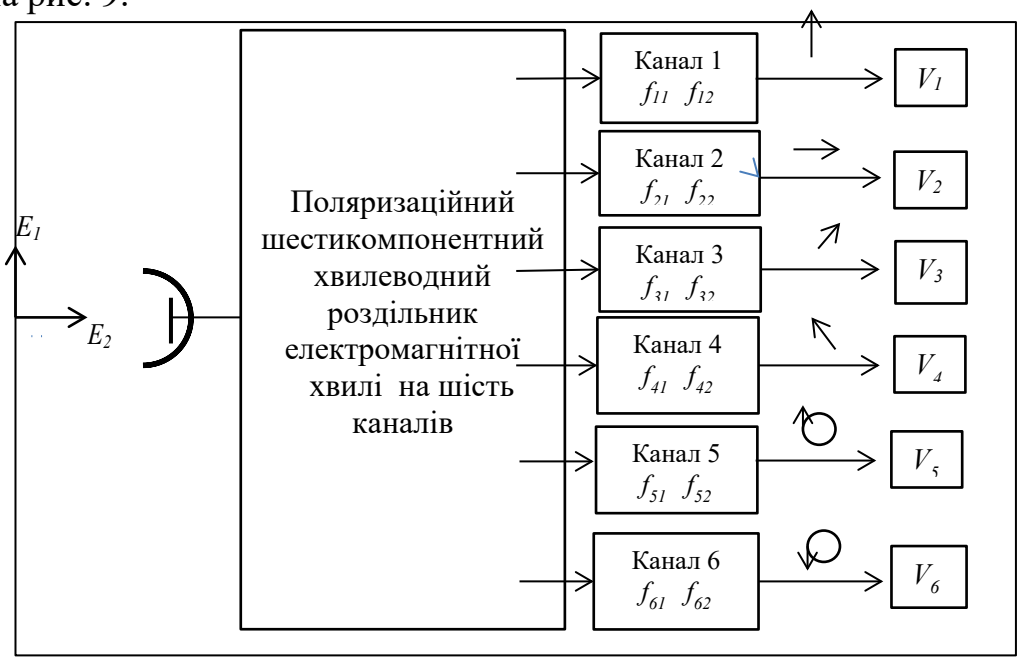


Рис. 8. Блок - схема шестикомпонентного поляризаційного роздільника електромагнітної хвилі на шість поляризованих компонент

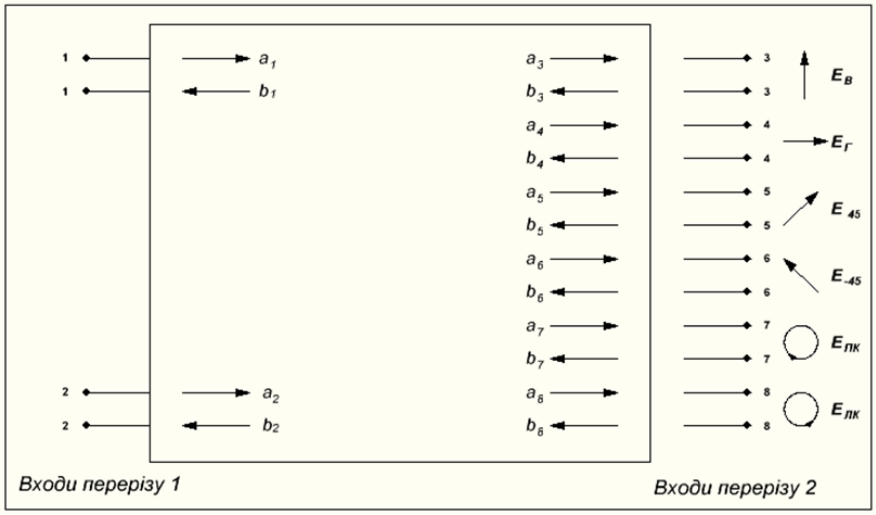


Рис. 9. Еквівалентна схема шестикомпонентного хвилеводного поляризаційного роздільника електромагнітної хвилі на шість поляризованих компонент

У режимі приймання всеполяризованою антеною частково поляризований луна-сигнал складного об'єкта пов'язаний амплітудами своїх ортогонально поляризованих компонент E_1 та E_2 у дальній зоні всеполяризованої антени, на виході кожного з шести каналів поляризаційного розділювача (рис.8 і рис. 9) через коефіцієнти передавання f_{k1} та f_{k2} з амплітудами нормованої напруги V_1-V_6 на виході певного каналу розділювача такою залежністю у вигляді матричного рівняння:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11}\, f_{12} \\ f_{21}\, f_{22} \\ f_{31}\, f_{32} \\ f_{41}\, f_{42} \\ f_{51}\, f_{52} \\ f_{61}\, f_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

Матриця розсіювання шестикомпонентного поляризаційного роздільника, що характеризує його роботу, записується у вигляді:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11}\, S_{12}\, S_{13}\, S_{14}\, S_{15}\, S_{16}\, S_{17}\, S_{18} \\ S_{21}\, S_{22}\, S_{23}\, S_{24}\, S_{25}\, S_{26}\, S_{27}\, S_{28} \\ S_{31}\, S_{32}\, S_{33}\, S_{34}\, S_{35}\, S_{36}\, S_{37}\, S_{38} \\ S_{41}\, S_{42}\, S_{43}\, S_{44}\, S_{45}\, S_{46}\, S_{47}\, S_{48} \\ S_{51}\, S_{52}\, S_{53}\, S_{54}\, S_{55}\, S_{56}\, S_{57}\, S_{58} \\ S_{61}\, S_{62}\, S_{63}\, S_{64}\, S_{65}\, S_{66}\, S_{67}\, S_{68} \\ S_{71}\, S_{72}\, S_{73}\, S_{74}\, S_{75}\, S_{76}\, S_{77}\, S_{78} \\ S_{81}\, S_{82}\, S_{83}\, S_{84}\, S_{85}\, S_{86}\, S_{87}\, S_{88} \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

Матриця вхідного луна-сигналу $[S]_{вх}$ та матриця вихідного луна-сигналу $[S]_{вих}$ мають вигляд:

$$[S]_{вх}=\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix}, \qquad (3) \qquad [S]_{вих}=\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \\ b_8 \end{bmatrix}, \qquad (4)$$

При цьому зв'язок матриці вхідного сигналу (3), матриці вихідного сигналу (4) та матриці розсіювання (2) встановлюється наступним рівнянням:

$$[S]_{вих}=[S][S]_{вх}. \qquad (5)$$

Діагональні коефіцієнти матриці розсіювання $[S]$ шестикомпонентного поляризаційного роздільника є коефіцієнтами відбиття по *k*-тому каналу за узгодженням інших каналів. При узгодженні інших каналів матриці відсутні зв'язки між вхідними і вихідними хвилями у кожному з плеч роздільника. Ця умова призводить до рівності нулю всіх діагональних елементів матриці розсіювання $[S]$, а також відсутності відбиттів у бік площини 1 для будь-якої компоненти при подачі лише однієї з них. Теж відноситься і до входів площини 2 (рис. 9). З огляду на це можна записати:

$$\left.\begin{aligned} S_{12}=S_{21}=S_{34}=S_{43}=S_{56}=S_{65}=S_{78}=S_{87}=0 \\ S_{11}=S_{22}=S_{33}=S_{44}=S_{55}=S_{66}=S_{77}=S_{88}=0 \end{aligned}\right\}. \qquad (6)$$

Тоді матриця розсіювання (2) ідеального шестикомпонентного поляризаційного роздільника без втрат запишеться у вигляді:

$$[S]=\begin{bmatrix} 0 & 0 & S_{13} & 0 & S_{15} & S_{16} & S_{17} & S_{18} \\ 0 & 0 & 0 & S_{24} & S_{25} & S_{26} & S_{27} & S_{28} \\ S_{31} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{51} & S_{52} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{61} & S_{62} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{71} & S_{72} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{81} & S_{82} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \qquad (7)$$

Запишемо матрицю розсіювання роздільника для лінійних компонентів:

$$[S]_{лк}=\begin{bmatrix} 0 & 0 & S_{13} & 0 & S_{15} & S_{16} & S_{17} & S_{18} \\ 0 & 0 & 0 & S_{24} & S_{25} & S_{26} & S_{27} & S_{28} \\ S_{31} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{51} & S_{52} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{61} & S_{62} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Аналіз проводять у лінійному поляризаційному базисі, дійсні орти якого паралельні дійсним векторам амплітуд перших ортогональних поляризацій. Для лінійних поляризацій матриця розсіювання роздільника є одиничною. Формування кругових поляризацій проводиться розділенням лінійних компонент на лінійну вертикальну хвилеводним Н-мостом із затримкою по фазі сигналу на 90^{o} та Е-мостом на горизонтальну поляризацію з подальшою подачею сигналів цих компонент на Н і Е входи подвійного хвилеводного трійника, на виході симетричних плеч якого утворюються хвилі кругових поляризацій правого та лівого напряму обертання. Матриця розсіювання подвійного хвилеводного трійника $[S_{mp}]$ записується як:

$$[S_{mp}]=\begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \end{bmatrix}=\frac{\sqrt{2}}{2}\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Для кожного з восьми каналів поляризаційного роздільника з коефіцієнтами передачі f_{km} (рис. 8), що зв'язують амплітуду напруги на виході певного каналу з амплітудами ортогонально поляризованих компонент луна-сигналу електромагнітної хвилі в дальній зоні всеполяризованої антени СРПК можна записати наступні рівняння, які будуть справедливими тільки за умови узгодження всіх виходів поляризаційного роздільника. Тоді для кожного каналу залежність вихідної напруги від поляризації аналізованої хвилі запишеться у вигляді:

$$\begin{aligned} V_1 &= f_{11}E_1 + f_{12}E_2; & V_5 &= f_{51}E_1 + f_{52}E_2; \\ V_2 &= f_{21}E_1 + f_{22}E_2; & V_6 &= f_{61}E_1 + f_{62}E_2; \\ V_3 &= f_{31}E_1 + f_{32}E_2; & V_7 &= f_{71}E_1 + f_{72}E_2; \\ V_4 &= f_{41}E_1 + f_{42}E_2; & V_8 &= f_{81}E_1 + f_{82}E_2. \end{aligned} \quad (10)$$

Для калібрування поляризаційного роздільника поляризації певного каналу можна скористатися відношенням амплітуд сигналів, виміряних на виходах різних каналів. Як вихідна амплітуда береться амплітуда першого каналу, тоді залежність відносин амплітуд кожного каналу шестикомпонентного роздільника до амплітуди першого каналу записується наступним чином:

$$\frac{V_2}{V_1}=\left|\frac{f_{21}E_1+f_{22}E_2}{f_{11}E_1+f_{12}E_2}\right|; \qquad \frac{V_6}{V_1}=\left|\frac{f_{61}E_1+f_{62}E_2}{f_{11}E_1+f_{12}E_2}\right|;$$
$$\frac{V_3}{V_1}=\left|\frac{f_{31}E_1+f_{32}E_2}{f_{11}E_1+f_{12}E_2}\right|; \qquad \frac{V_7}{V_1}=\left|\frac{f_{71}E_1+f_{72}E_2}{f_{11}E_1+f_{12}E_2}\right|;$$
$$\frac{V_4}{V_1}=\left|\frac{f_{41}E_1+f_{42}E_2}{f_{11}E_1+f_{12}E_2}\right|; \qquad \frac{V_8}{V_1}=\left|\frac{f_{81}E_1+f_{82}E_2}{f_{11}E_1+f_{12}E_2}\right|; \qquad (11)$$
$$\frac{V_5}{V_1}=\left|\frac{f_{51}E_1+f_{52}E_2}{f_{11}E_1+f_{12}E_2}\right|; \qquad \frac{V_9}{V_1}=\left|\frac{f_{91}E_1+f_{92}E_2}{f_{11}E_1+f_{12}E_2}\right|.$$

Практична задача налаштування поляризаційного роздільника, який характеризується відсутністю хвиль, відбитих від входів двоканального лінійного приймача, зводиться до вимірювання амплітуд напруги на виходах всіх каналів.

Сформовані луна-сигнали шести поляризацій з виходу шестикомпонентного поляризаційного роздільника надходять послідовно на входи двоканального лінійного приймача через хвилеводний комутатор, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 10.

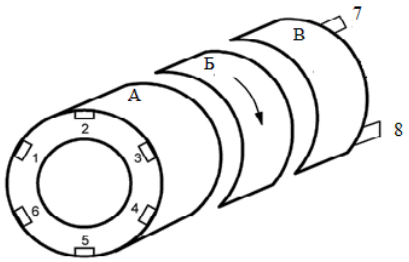


Рис. 10. Хвилеводний комутатор:

А – вхідні хвилеводні канали (1 – 6), з'єднані з вихідними каналами шестикомпонентного хвилеводного поляризаційного роздільника; **Б** – циліндр, що обертається, який з'єднує певні вхідні хвилеводи за допомогою крокового електродвигуна з вихідними хвилеводами комутатора (7, 8); **В** – вихідні хвилеводи, з'єднані з входом лінійного двоканального приймача.

Двоканальний лінійний приймач підсилює і перетворює луна-сигнали складного об'єкта, які надходять, для формування поляризаційних параметрів Стокса, які використовуються для розв'язання задачі поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, які перебувають у складних умовах атмосферного середовища на шляху судна.

Четвертий розділ «Розроблення стратегії формування системи радіолокаційних сигналів, що базуються на їх поляризаційних параметрах» присвячено розв’язанню другого головного завдання. У моделі взаємодії СРПК із зовнішнім середовищем під час однопозиційної радіолокації, коли навігаційний об'єкт перебуває в зоні атмосферного утворення (складний об'єкт) електромагнітна хвиля на випромінювання і приймання представлена у вигляді двох матриць, які складаються з дійсних енергетичних параметрів Стокса, а відбивні властивості складного об'єкта характеризуються 16 елементами, які об'єднані в матрицю Мюллера.

Відбивні властивості радіолокаційного об'єму атмосферного утворення, в якому перебуває навігаційний об'єкт, характеризуються елементами (α_{11} ... α_{44}), а електромагнітна хвиля на випромінювання і на приймання представлена у вигляді двох матриць, що складаються з параметрів Стокса. Тоді рівняння зв'язку між випромінюваною хвилею, хвилею відбитою від складного об'єкта і властивостями відбиваючого радіолокаційного об'єму складного об'єкта, записуються у вигляді:

$$\begin{bmatrix} S_{1від} \\ S_{2від} \\ S_{3від} \\ S_{4від} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_{14} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} \\ \alpha_{41} & \alpha_{42} & \alpha_{43} & \alpha_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{1вип} \\ S_{2вип} \\ S_{3вип} \\ S_{4вип} \end{bmatrix}, \tag{12}$$

або у вигляді чотирьох лінійних рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} S_{1від} &= \alpha_{11}S_{1вип} + \alpha_{12}S_{2вип} + \alpha_{13}S_{3вип} + \alpha_{14}S_{4вип} \\ S_{2від} &= \alpha_{21}S_{1вип} + \alpha_{22}S_{2вип} + \alpha_{23}S_{3вип} + \alpha_{24}S_{4вип} \\ S_{3від} &= \alpha_{31}S_{1вип} + \alpha_{32}S_{2вип} + \alpha_{33}S_{3вип} + \alpha_{34}S_{4вип} \\ S_{4від} &= \alpha_{41}S_{1вип} + \alpha_{42}S_{2вип} + \alpha_{43}S_{3вип} + \alpha_{44}S_{4вип} \end{aligned}\right\}. \tag{13}$$

Визначення відбивних властивостей певного виду атмосферного утворення, в якому перебуває навігаційний об'єкт, проводиться шляхом теоретичного або експериментального дослідження елементів матриці (α_{11} ... α_{44}), які несуть всю інформацію про фізичні властивості складного об'єкта. Під час моделювання відбивних властивостей складного об'єкта використовують параметри Стокса випромінюваної хвилі чотирьох поляризацій, а також параметри Стокса відбитої хвилі для кожного виду поляризації випромінюваної хвилі.

У СРПК в оперативній роботі визначення відбивних властивостей об'єктів радіолокаційного спостереження здійснюють шляхом опромінення спостережуваного об'єкта неполяризованою хвилею, хвилею лінійної вертикальної (горизонтальної) поляризації, лінійною з нахилом електричного вектору 45° у декартовій системі координат і круговою поляризацією правого чи лівого напряму обертання вектору з вимірюванням параметрів Стокса відбитої від складного об'єкта частково поляризованої електромагнітної хвилі (за умови, що параметри Стокса випромінюваної хвилі приймаються рівними одиниці), за значеннями яких і визначаються елементи матриці (α_{11} ... α_{44}) в рівняннях:

$$\alpha_{11} = \frac{S'_{1від}}{S'_{1вип}}; \alpha_{21} = \frac{S'_{2від}}{S'_{1вип}}; \alpha_{31} = \frac{S'_{3вип}}{S'_{1вип}}; \alpha_{41} = \frac{S'_{4від}}{S'_{1вип}}. \tag{14}$$

$$\alpha_{12} = \frac{S''_{1від}}{S''_{1вип}} - \alpha_{11}; \alpha_{22} = \frac{S''_{2від}}{S''_{1вип}} - \alpha_{21}; \alpha_{32} = \frac{S''_{3від}}{S''_{1вип}} - \alpha_{31}; \alpha_{42} = \frac{S''_{4від}}{S''_{1вип}} - \alpha_{41}, \tag{15}$$

$$\alpha_{13} = \frac{S'''_{1від}}{S'''_{1вип}} - \alpha_{11}; \alpha_{23} = \frac{S'''_{2від}}{S'''_{1вип}} - \alpha_{21}; \alpha_{33} = \frac{S'''_{3від}}{S'''_{1вип}} - \alpha_{31}; \alpha_{43} = \frac{S'''_{4від}}{S'''_{1вип}} - \alpha_{41}. \tag{16}$$

$$\alpha_{14} = \frac{S''''_{1від}}{S''''_{1вип}} - \alpha_{11}; \alpha_{24} = \frac{S''''_{2від}}{S''''_{1вип}} - \alpha_{21}; \alpha_{34} = \frac{S''''_{3від}}{S''''_{1вип}} - \alpha_{31}; \alpha_{44} = \frac{S''''_{4від}}{S''''_{1вип}} - \alpha_{41}. \tag{17}$$

При опромінюванні складного об’єкта радіолокаційного спостереження неполяризованою хвилею, електромагнітною хвилею лінійної вертикальної (горизонтальної) поляризацій, електромагнітною хвилею лінійної поляризації з кутом нахилу вектору поля 45° і електромагнітною хвилею кругової поляризації. У результаті послідовного опромінення складного об'єкта електромагнітними хвилями чотирьох фіксованих поляризацій і вимірювання параметрів Стокса відбитої хвилі для кожної поляризації опромінюваної хвилі повністю визначається матриця розсіювання складного об'єкта, що характеризує його відбивні властивості.

Елементи матриці (12) записуються у двокомпонентних позначеннях і складаються для складного об'єкта (*СО*) радіолокаційного спостереження СРПК у вигляді суми елементів навігаційного об'єкта й атмосферного утворення. Тоді матриця розсіювання складного об'єкта $\alpha_{CO}(t)$ запишеться у вигляді:

$$\alpha_{CO}(t)=\begin{bmatrix} \alpha_{11HO}(t)+\alpha_{11AY}(t) & \alpha_{12HO}(t)+\alpha_{12AY}(t) & \alpha_{13HO}(t)+\alpha_{13AY}(t) & \alpha_{14HO}(t)+\alpha_{14AY}(t) \\ \alpha_{21HO}(t)+\alpha_{21AY}(t) & \alpha_{22HO}(t)+\alpha_{22AY}(t) & \alpha_{23HO}(t)+\alpha_{23AY}(t) & \alpha_{24HO}(t)+\alpha_{24AY}(t) \\ \alpha_{31HO}(t)+\alpha_{31AY}(t) & \alpha_{32HO}(t)+\alpha_{32AY}(t) & \alpha_{33HO}(t)+\alpha_{33AY}(t) & \alpha_{34HO}(t)+\alpha_{34AY}(t) \\ \alpha_{41HO}(t)+\alpha_{41AY}(t) & \alpha_{42HO}(t)+\alpha_{42AY}(t) & \alpha_{43HO}(t)+\alpha_{43AY}(t) & \alpha_{44HO}(t)+\alpha_{44AY}(t) \end{bmatrix}. \qquad (18)$$

Оцінка поляризованого стану луна-сигналів частково поляризованих хвиль складного об'єкта за допомогою векторів Стокса може бути синтезована коефіцієнтами матриць когерентності, енергетичної та статистичної, а також ступенями поляризацій. Детерміністський підхід до вибору поляризаційного стану хвиль, що аналізуються, забезпечує універсальність побудови СРПК для розв'язання задачі поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні випадних опадів різної інтенсивності за траєкторією судна.

Матриця розсіювання складного об'єкта, з його розсіювальними властивостями, входить до рівняння, що пов'язує параметри опромінювальної та відбитої від нього електромагнітної хвилі, які представлені дійсними енергетичними поляризаційними параметрами Стокса представлена у вигляді:

$$\begin{bmatrix} S_{1відCO} \\ S_{2відCO} \\ S_{3отрCO} \\ S_{4відCO} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{11}^2+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{11} & \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{12}^2+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{12} \\ \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{21}^2+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{21} & \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{21}^2+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{21} \\ \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{31}^2+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{31} & \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{31}^2+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{31} \\ \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{41}^2+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{41} & \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{41}^2+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{41} \end{bmatrix} \times$$

$$\times\begin{bmatrix}\left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{13}^{2}+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{13} & \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{14}^{2}+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{14}\\ \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{23}^{2}+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{23} & \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{24}^{2}+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{24}\\ \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{33}^{2}+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{33} & \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{34}^{2}+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{34}\\ \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{43}^{2}+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{43} & \left|\sum_{k=1}^{n}\sqrt{\sigma_k e^{(4\pi d_k)/\lambda}}\right|_{44}^{2}+\left(2\pi\sigma_o N_o\frac{R^2 c\tau_u}{D}\right)_{44}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}S_{1вип}\\ S_{2вип}\\ S_{3вип}\\ S_{4вип}\end{bmatrix}. \qquad (19)$$

Опромінюючи складний об'єкт електромагнітною хвилею певної поляризації визначаються елементи матриці розсіювання складного об'єкта, які дозволяють вирішити завдання поляризаційної селекції навігаційних об’єктів.

П’ятий розділ «Розроблення методології підвищення ефективності функціонування суднових радіолокаційних поляризаційних комплексів в умовах атмосферних завад» присвячено вирішенню третього головного завдання. Для розв’язання завдання поляризаційної селекції навігаційних об’єктів, що перебувають у зоні небезпечних атмосферних утворень обґрунтовано методологію використання матриць когерентності луна-сигналів навігаційного об’єкта $R_{kHO}(t)$ та атмосферного утворення $R_{kAY}(t)$, які відповідають двом сумарним енергетичним потокам $I^1(t)$ і $I^2(t)$:

$$R_{kHO}(t)=\begin{bmatrix}\frac{S^{H}_{1вiд}(t)+\sqrt{S^{2H}_{2вiд}(t)+S^{2H}_{3вiд}(t)+S^{2H}_{4вiд}(t)}}{2}\\ \frac{S^{ЛВ}_{1вiд}(t)+\sqrt{S^{2ЛВ}_{2вiд}(t)+S^{2ЛВ}_{3вiд}(t)+S^{2ЛВ}_{4вiд}(t)}}{2}\\ \frac{S^{Л45^o}_{1вiд}(t)+\sqrt{S^{2Л45^o}_{2вiд}(t)+S^{2Л45^o}_{3вiд}(t)+S^{2Л45^o}_{4вiд}(t)}}{2}\\ \frac{S^{KP}_{1вiд}(t)+\sqrt{S^{2KP}_{2вiд}(t)+S^{2KP}_{3вiд}(t)+S^{2KP}_{4вiд}(t)}}{2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}I^{H}_{1вiдHO}(t)\\ I^{ЛВ}_{2вiдHO}(t)\\ I^{Л45^0}_{3вiдHO}(t)\\ I^{KP}_{4вiдHO}(t)\end{bmatrix}=\left[I^{1}_{\Sigma}(t)\right]\ ; \qquad (20)$$

$$R_{kAY}(t)=\begin{bmatrix}\frac{S^{H}_{1вiд}(t)-\sqrt{S^{2H}_{2вiд}(t)+S^{2H}_{3вiд}(t)+S^{2H}_{4вiд}(t)}}{2}\\ \frac{S^{ЛВ}_{1вiд}(t)-\sqrt{S^{2ЛВ}_{2вiд}(t)+S^{2ЛВ}_{3вiд}(t)+S^{2ЛВ}_{4вiд}(t)}}{2}\\ \frac{S^{Л45^o}_{1вiд}(t)-\sqrt{S^{2Л45^o}_{2вiд}(t)+S^{2Л45^o}_{3вiд}(t)+S^{2Л45^o}_{4вiд}(t)}}{2}\\ \frac{S^{KP}_{1вiд}(t)-\sqrt{S^{2KP}_{2вiд}(t)+S^{2KP}_{3вiд}(t)+S^{2KP}_{4вiд}(t)}}{2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}I^{H}_{1вiдAY}(t)\\ I^{ЛВ}_{2вiдAY}(t)\\ I^{Л45^0}_{3вiдAY}(t)\\ I^{KP}_{4вiдAY}(t)\end{bmatrix}=\left[I^{2}_{\Sigma}(t)\right]\ . \qquad (21)$$

Матриці когерентності навігаційного об'єкта і атмосферного утворення визначено як лінійні комбінації чотирьох виміряних СРПК дійсних енергетичних параметрів Стокса, що входять до двох енергетичних потоків луна-сигналу частково поляризованої хвилі складного об'єкта, і дають змогу розв'язати задачу поляризаційної селекції навігаційного об'єкта за поляризаційними параметрами першого енергетичного потоку, який перебуває в зоні атмосферного утворення

певної інтенсивності на шляху судна. Інтенсивність атмосферного утворення вимірюється за поляризаційними параметрами другого енергетичного потоку.

Розроблена методологія поляризаційної селекції навігаційних об'єктів основана на використанні ступеня поляризації луна-сигналів частково поляризованої хвилі с поділом луна-сигналу складного об'єкта на повністю поляризовану та неполяризовану компоненти. При цьому неполяризована компонента є сумою двох незалежних протилежно поляризованих потоків з інтенсивностями:

$$I^1_{пол}(t) = \frac{S_1 + \sqrt{S_2^2 + S_3^2 + S_4^2}}{2}, \quad I^2_{пол}(t) = \frac{S_1 - \sqrt{S_2^2 + S_3^2 + S_4^2}}{2}, \tag{22}$$

нормовані інтенсивності яких є ступенями поляризацій навігаційного об'єкта та атмосферного утворення:

$$m_1 = \frac{S_1 + \sqrt{S_2^2 + S_3^2 + S_4^2}}{2S_1}, \quad m_2 = \frac{S_1 - \sqrt{S_2^2 + S_3^2 + S_4^2}}{2S_1}, \tag{23}$$

де S_1 – сумарна інтенсивність луна-сигнала частково поляризованої хвилі складного об'єкта.

Для розв'язання завдання поляризаційної селекції навігаційних об'єктів використані статистичні властивості поляризаційних параметрів луна-сигналів частково поляризованої хвилі навігаційного об'єкта і атмосферного утворення, за допомлгою яких отримані критеріальні значення кожного з чотирьох параметрів Стокса, які дозволяють прийняти рішення про знаходження на індикаторі СРПК луна-сигналів навігаційного об'єкта або атмосферного утворення.

Шостий розділ «Методологія експериментального дослідження підвищення ефективності функціонування СРПК з використанням методів поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні небезпечних атмосферних утворень» присвячено розв'язанню комплексного завдання. Отримані технології використання методів поляризаційної селекції луна-сигналів навігаційних об'єктів та розроблений експериментальний СРПК дозволили підвищити інформативні та потенційні можливості суднових радіолокаційних комплексів, що забезпечили їх функціонування в умовах атмосферних завад. За результатами радіолокаційних спільних з автоматизованим метеорологічним радіолокаційним комплексом АМРК «Метеоячейка» и СРПК встановлено, що ефективність радіолокаційної видимості навігаційних об'єктів забезпечується тільки поляризаційною селекцією їх луна-сигналів, а всі її функції у СРПК параметрізовані енергетичними параметрами Стокса, які легко вимірюються та дають повну радіолокаційну інформацію щодо складного об'єкта, у якому знаходиться навігаційний об'єкт.

Експериментальні дослідження проведені з використанням інформативних параметрів навігаційних об'єктів – енергетичної матриці, матриці когерентності, ступеня поляризації і критеріальних статистичних властивостей поляризаційних параметрів Стокса луна-сигналів навігаційного об'єкта і атмосферного утворення і їх результати надано на рис. 11 – рис. 18.

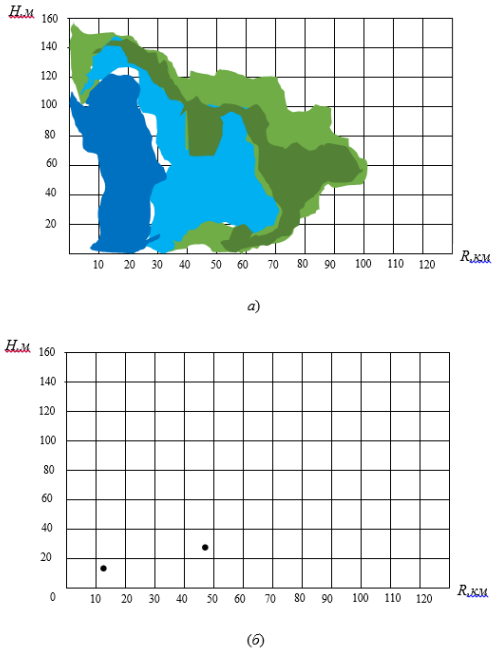


Рис. 11. Результати експериментального виявлення навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (*а*) у напрямі азимута $A_1 = 116^o$
з використанням енергетичної матриці розсіювання (*б*) на дисплеї СРПК

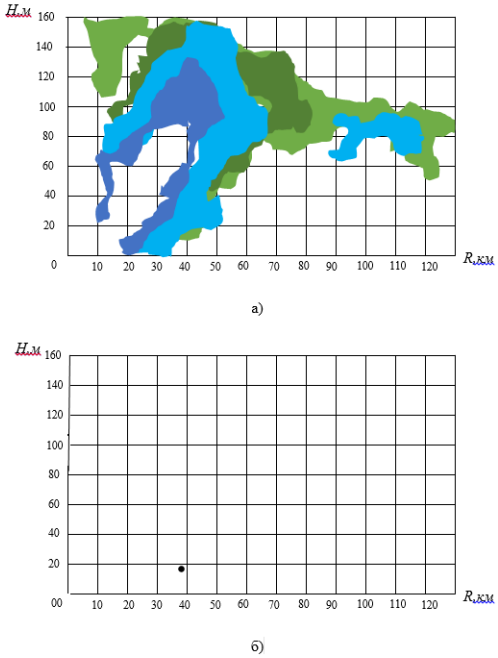


Рис. 12. Результати експериментального виявлення навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (*а*) у напрямі азимута $A_2 = 093^o$
з використанням енергетичної матриці розсіювання (*б*) на дисплеї СРПК

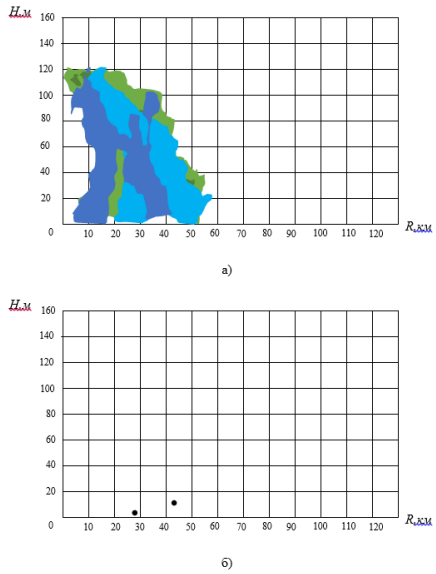


Рис. 13. Результати експериментального виявлення навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (*а*) у напрямі азимута $A_3 = 120^o$
з використанням матриці когерентності (*б*) на дисплеї СРПК

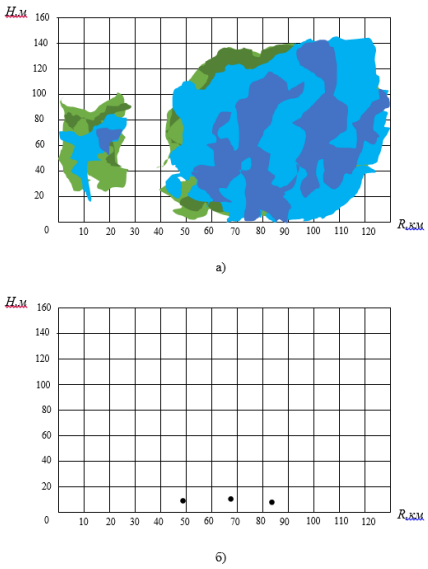


Рис. 14. Результати експериментального виявлення навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (*а*) у напрямі азимута $A_4 = 075^o$
з використанням матриці когерентності (*б*) на дисплеї СРПК

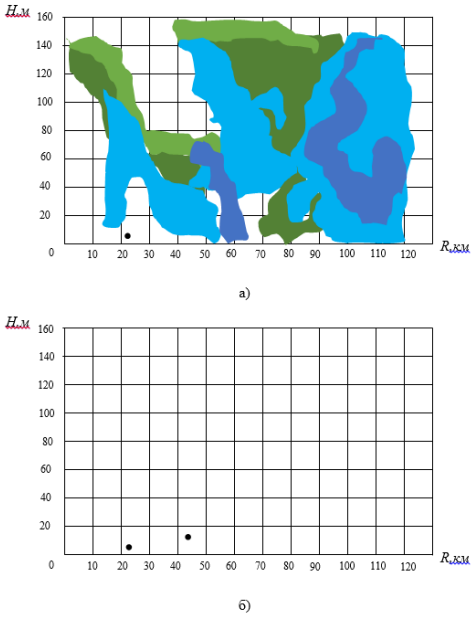


Рис. 15. Результати експериментального виявлення навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (*а*) у напрямі азимута $A_5 = 102^o$ **з використанням ступеня поляризації** (*б*) на дисплеї СРПК

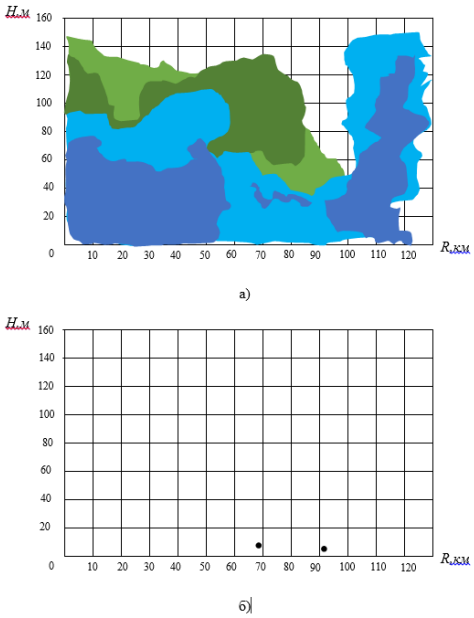


Рис. 16. Результати експериментального виявлення навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (*а*) у напрямі азимута $A_6 = 061^o$ **з використанням ступеня поляризації** (*б*) на дисплеї СРПК

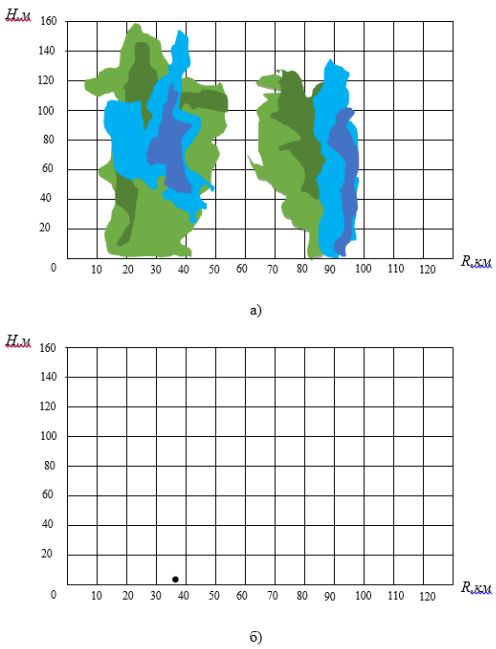


Рис. 17. Результати експериментального виявлення навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (*а*) у напрямі азимута $A_8 = 118^o$ **з використанням статистичних властивостей поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі** (*б*) на дисплеї СРПК

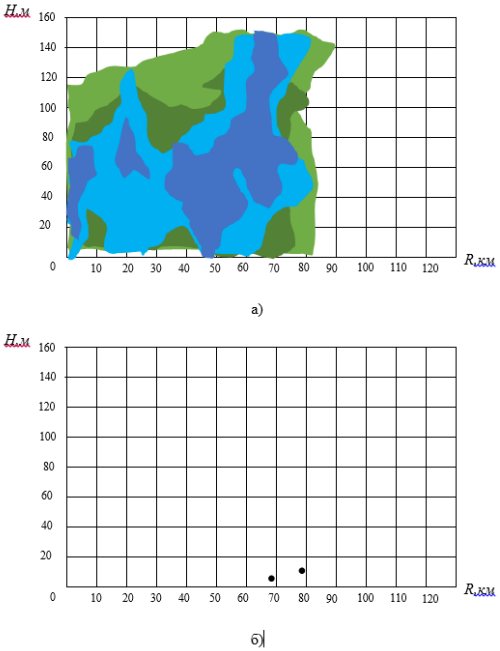


Рис. 18. Результати експериментального виявлення навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (*а*) у напрямі азимута $A_9 = 057^o$ **з використанням статистичних властивостей поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі** (*б*) на дисплеї СРПК

ВИСНОВКИ

У ході досліджень обґрунтовано та реалізовано концепцію управління процесом поляризаційної селекції радіолокаційних сигналів, що дозволило розв'язати важливу науково-прикладну проблему – підвищення ефективності функціонування суднових РЛС під час селекції навігаційних об'єктів в умовах атмосферних перешкод за траєкторією руху судна. На момент початку досліджень вирішення цієї проблеми обмежувалося використанням лише амплітуди та, в деяких випадках, доплерівської частоти електромагнітної хвилі як основних інформативних параметрів.

Отримані результати дисертаційного дослідження засвідчили, що найінформативнішим параметром електромагнітної хвилі суднових РЛС є її поляризація, яка дає змогу одержати енергетичний виграш і забезпечити поляризаційну селекцію навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні небезпечних атмосферних утворень, із високою ймовірністю виділення луна-сигналу частково поляризованої хвилі з луна-сигналу складного об'єкта по траєкторії руху судна.

Головним науковим результатом виконаної дисертаційної роботи і доведеним до можливості практичної реалізації її результатів є розробка методології поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що знаходяться в зоні небезпечних атмосферних утворень, методів вимірювання енергетичних поляризаційних параметрів луна-сигналів частково поляризованої хвилі складного об'єкта при використанні матриць розсіювання у поляризаційних моделях складних об'єктів, технологій та способів побудови суднового радіолокаційного поляризаційного комплексу, що реалізує поляризаційну селекцію навігаційних об'єктів, що знаходяться у складних умовах атмосферного середовища за траєкторією руху судна та забезпечують підвищення енергетичного рівня суднової РЛС та безпеку судноводіння.

Основні наукові та практичні результати, отримані в дисертації:

1. При моделюванні відбиваючих властивостей складного об’єкту для вирішення завдання поляризаційної селекції луна-сигналів навігаційних об'єктів використано середні за часом енергетичні характеристики частково поляризованих хвиль, що представлені системою дійсних енергетичних поляризаційних параметрів Стокса на виході двоканального лінійного приймача СРПК.

2. Розв'язано завдання поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що знаходяться у складних умовах атмосферного середовища, з використанням повністю поляризованих електромагнітних хвиль чотирьох поляризацій та однієї неполяризованої хвилі на випромінювання та аналіз луна-сигналів частково поляризованої хвилі складного об'єкта, прийнятою всеполяризованою антеною СРПК, представлених параметрами Стокса з наступним розподілом на два повністю поляризовані потоки, поляризація першого потоку співпадає з поляризацією повністю поляризованої складової в частково поляризованій хвилі, а поляризація другого потоку їй ортогональна.

3. Енергетичні характеристики луна-сигналів частково поляризованих електромагнітних хвиль складних об'єктів базуються на часових, просторових і поляризаційних параметрах, які об'єднані в енергетичну матрицю, матрицю когерентності та ступінь поляризації, та дають змогу здійснювати радіолокаційне розпізнавання й спостереження навігаційних об'єктів на фоні атмосферних перешкод по трасі руху судна.

4. Розроблений експериментальний макет СРПК послідовно випромінює електромагнітні хвилі лінійних, кругових поляризацій та неполяризовану хвилю, приймає всеполяризованою антеною луна-сигнали частково поляризованої хвилі складного об'єкта та розмежовує їх першою ланкою поляризаційного хвилеводного розділювача на дві ортогональні лінійні компоненти, що послідовно надходять на шість гібридних з'єднань, що утворюють шестикомпонентний розділювач, вихідні плечі якого через комутатор послідовно підключені на вхід двоканального лінійного приймача, що дозволяє на його виходах сформувати систему енергетичних параметрів Стокса.

5. Розроблений експериментальний макет СРПК використовує поляризаційний аналіз луна-сигналів частково поляризованих електромагнітних хвиль складних об'єктів під час поляризаційної селекції навігаційних об'єктів без їхніх амплітудних і фазових характеристик, що ґрунтується на параметричних методах математичного опису та способах їхньої практичної реалізації.

6. Розроблено ймовірнісно-статистичний метод імовірнісної поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні складних атмосферних утворень, з використанням сукупності поляризаційних ознак, що характеризують луна-сигнали частково поляризованої хвилі складного об'єкта, а їхніми імовірнісними характеристиками є закони розподілу поляризаційних параметрів Стокса, що утворюють предиктор. Для розв'язання задачі поляризаційної селекції навігаційних об'єктів використано правило максимуму правдоподібності, відповідно до якого луна-сигнал у складному об'єкті належить до навігаційного об'єкта, для якого функція правдоподібності має більше значення.

7. Складні метеорологічні умови за траєкторією руху судна, що супроводжуються інтенсивними атмосферними опадами, істотно впливають на ефективність функціонування суднових РЛС. Цей вплив проявляється у вигляді ослаблення енергії луна-сигналів навігаційних об'єктів, що перебувають у їхній зоні, зменшення дальності їхнього виявлення, відсутності їхньої радіолокаційної видимості та створенню хибних відлуння-сигналів на індикаторі й дисплеї суднового комп'ютера. На вхід антен суднових РЛС надходять луна-сигнали від опадів, що випадають, еліптичної поляризації і селекція відлуння-сигналів навігаційних об'єктів виходить незначною. Тому необхідно розглядати використання судновими РЛС всеполяризованої антени, що здійснює приймання луна-сигналів будь-якої поляризації з їхнім поділом на дві ортогональні компоненти, які дають змогу виокремити в СРПК луна-сигнал із навігаційного об'єкта зі складного луна-сигналу на виході всеполяризованої антени.

8. Повне приймання енергії луна-сигналу навігаційного об'єкта або луна-сигналу складного об'єкта дає змогу отримати енергетичні дійсні параметри Стокса на виході двоканального лінійного приймача без фазових вимірів, на яких ґрунтуються методи поляризаційної селекції луна-сигналів навігаційних об'єктів СРПК за будь-яких атмосферних умов їхнього радіолокаційного спостереження, водночас результат взаємодії електромагнітної хвилі, яку випромінює всеполяризована антена СРПК, зі складним об'єктом розглядають шляхом множення вектору Стокса випромінюваної хвилі на матрицю Мюллера, всі елементи якої – дійсні числа, а її формалізм ґрунтується на представленні стану поляризації електромагнітної хвилі вектором Стокса, а стан складного об'єкта матрицею Мюллера. При цьому після взаємодії електромагнітної хвилі зі складним об'єктом отримують вектор Стокса хвилі, що виходить, і в підсумку утворюється інформаційний канал.

9. Представлена в СРПК полярна система сигналів є математичною конструкцією, що відображає здатність перетворення, передавання, одержання й оброблення радіолокаційної інформації про спостережувану СРПК ситуацію за траєкторією руху судна, в тому числі і під час перебування в зоні небезпечного атмосферного утворення навігаційного об'єкта. Синтаксичний підхід до дослідження процесів отримання радіолокаційної інформації СРПК спрямований на її структурний аналіз і знімає невизначеності під час надходження повідомлення про навігаційний об'єкт, який перебуває в умовах складного атмосферного середовища, з урахуванням просторово-часової та поляризаційної структур луна-сигналів.

10. Ефективність розроблених методів поляризаційної селекції підтверджено під час натурних випробувань експериментального макета СРПК в умовах небезпечних атмосферних утворень. Достовірність результатів доведено шляхом порівняльного аналізу: дані, отримані судновим комплексом, порівнювалися з еталонною радіолокаційною інформацією мережевого автоматизованого метеорологічного радіолокаційного комплексу (АМРК) «Метеокомірка», який має нормовані метрологічні характеристики. Результати цього порівняння беззаперечно підтвердили достовірність отриманої СРПК інформації про самі опади різної інтенсивності, що стало надійною основою для подальшої успішної поляризаційної селекції навігаційних об'єктів на їхньому тлі, але й науково довело здатність комплексу локально оцінювати метеоумови безпосередньо на курсі судна, забезпечуючи екіпаж оперативними даними про атмосферну обстановку.

11. Представлені в дисертації теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені наукові результати мають суттєву практичну значимість і підтверджують можливість підвищення ефективності функціонування суднових РЛС методами поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у складних умовах атмосферного середовища, за траєкторією руху судна та технологією побудови СРПК. Методологія, методи, технології та способи підвищення ефективності функціонування суднових РЛС з використанням поляризаційних характеристик радіолокаційного каналу впроваджені в оперативну роботу гідрометцентру Чорного та Азовського морів,

Запорізького обласного центру гідрометеорології, Державного підприємства «Морський торгівельний порт «Черноморськ», а також експериментальне підтвердження наукових результатів проведено на судні т/х «DAISY» і використано у ДП «В. Шіпс Україна».

12. Розробка не передбачає **відмови** або **повної заміни** існуючих суднових некогерентних РЛС. Технологія позиціонується як **додаткове** (допоміжне) опціональне радіолокаційне обладнання (судновий поляриметр), що встановлюється в синергії з традиційними навігаційними комплексами. Її інтеграція дозволяє виконувати ефективну поляризаційну селекцію навігаційних об'єктів без перебудови базової апаратної структури суднового містка.

13. Перспективи розвитку розробленої технології також охоплюють завдання пошуку та рятування на морі, зокрема забезпечення ефективної роботи з сигнатурними сигналами радіолокаційних відповідачів (SART). Експериментально (японськими дослідниками у 2000 – 2002 рр., що згодом було підтверджено польськими вченими) доведено: модифікація відповідачів SART X-діапазону (9,2 – 9,5 ГГц) шляхом заміни лінійно-горизонтальної антени на кругополяризовану мінімізує крос-поляризаційні втрати під час хитавиці та усуває завади від багатопроменевого поширення над морем. Застосування розробленого СРПК, здатного до повного поляризаційного прийому, дозволяє максимально використати цей приріст енергетичного потенціалу радіолінії, що радикально підвищує ймовірність детекції сигнатур SART та загальну ефективність радіолокаційного спостереження в межах вимог ГМЗЛБ (GMDSS).

14. Перспективи подальшого використання розробленої методології також поширюються на сферу аерокосмічного дистанційного зондування Землі. Математичний апарат некогерентної радіолокаційної поляриметрії, заснований на використанні дійсних енергетичних параметрів Стокса та матриці Мюллера 4x4, має високий потенціал для застосування у супутникових радіолокаторах із синтезованою апертурою (PolSAR), зокрема для визначення товщини та структури льодового покриву. На відміну від традиційних когерентних поляриметрів, що оперують матрицями розсіювання 2x2 та вимагають трудомістких і складних вимірювань абсолютної фази, запропонований матричний апарат 4x4 є більш інформативним. Він дозволяє ефективно оцінювати об'ємне розсіяння та деполяризаційні властивості складних розподілених середовищ без необхідності фазових вимірювань, використовуючи виключно енергетичний потенціал частково поляризованих хвиль.

Розроблені у дисертаційному дослідженні методологія, поляризаційні методи, технології та алгоритми керування поляризаційною селекцією навігаційних об’єктів при їх радіолокаційному виділенні з луна-сигналу частково поляризованої хвилі складного об’єкту спрямовані на поліпшення функціональних можливостей суднових РЛС та пріоритетності їх основних функцій – безпека перевезень і роботи екіпажу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України (що входять до переліку наукових фахових видань України, які рекомендовані МОН України для публікації результатів дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук):

1. **Корбан Д. В.** Влияние атмосферы на измерение дальности навигационных объектов судовой РЛС / Д. В. Корбан // Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Одесса: ОНМА, 2015. Вып. 35. С. 128–136.

2. Корбан В. Х. Многофункциональный метеорологический радар / В. Х. Корбан, **Д. В. Корбан**, Л. М. Дегтярьова, // Цифрові технології ОНАЗ ім. О. С. Попова. 2016. № 20. С. 118–127.

3. **Корбан Д. В.** Влияние турбулентной тропосферы на разрешающую способность антенны судового радиолокатора по угловым координатам / Д. В. Корбан // Судовождение: зб. наук. праць / НУ «ОМА». Одесса: ИздатИнформ, 2016. Вып. 26. С. 104–109.

4. Корбан В. Х. Использование поляризации электромагнитной волны при радиолокационном распознавании объектов / В. Х. Корбан, **Д. В. Корбан**, Л. М. Дегтярьова // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. 2017. № 1. С. 75–82.

5. Путятин В. Г. Радиофизическая модель отражающего объема тропосферы / В. Г. Путятин, С. Ю. Гуденко, С. И. Заичко, **Д. В. Корбан**, А. И. Князь // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2017. Т. 19, № 3. С. 42–52.

6. Путятин В. Г. Радиолокационное распознавание навигационных объектов на пути судна по поляризационным параметрам электромагнитной волны / В. Г. Путятин, С. Ю. Гуденко, С. И. Заичко, **Д. В. Корбан**, А. И. Князь // Математичні машини і системи. 2017. № 4. С. 120–128.

7. Путятин В. Г. Влияние осадков на разрешающую способность судовой радиолокационной станции по угловым координатам / В. Г. Путятин, **Д. В. Корбан**, А. И. Князь // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2017. Т. 19, № 4. С. 26–34.

8. Корбан В. Х. К возможности использования аффинного базиса в радиолокационных метеорологических поляриметрах / В. Х. Корбан, **Д. В. Корбан**, Л. М. Дегтярьова // Цифрові технології ОНАЗ ім. О. С. Попова. Одеса, 2017. № 21. С. 129–137.

9. Путятин В. Г. Влияние атмосферных условий на радиолокационное наблюдение навигационных объектов / В. Г. Путятин, **Д. В. Корбан**, А. И. Князь // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2018. Т. 20, № 1. С. 40–51.

10. Путятин В. Г. Матрица распространения радиолокационного информационного канала при радиолокационном наблюдении навигационных объектов на пути судна / В. Г. Путятин, **Д. В. Корбан**, А. И. Князь // Математические машины и системы. 2018. № 2. С. 141–147.

11. **Korban D. V.** Implementing the coherence matrix of the partially polarized wave to enhance efficiency of radar observation of the objects / D. V. Korban, O. M. Volkov, V. Ch. Korban, L. M. Degtjarjeva // Цифрові технології ОНАЗ ім. О. С. Попова. Одеса, 2018. № 23. С. 131–142.

12. **Korban D. V.** Improving the efficiency of remote radar observation of the objects / D. V. Korban, O. M. Volkov, V. Ch. Korban, L. M. Degtjarjeva // Цифрові технології ОНАЗ ім. О. С. Попова. Одеса, 2018. № 24. С. 118–127.

13. **Корбан Д. В.** Кінцевомірні розподіли при радіолокаційному спостереженні навігаційних об'єктів / Д. В. Корбан, І. О. Бурмака // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». Одеса: ВидавІнформ, 2019. Вип. 29. С. 106–115. https://doi.org/10.31653/2306-5761.29.219.106-115

14. Корбан В. Х. До проблеми зменшення перешкод від атмосферних опадів при радіолокаційному спостереженні об'єктів судновою РЛС / **Д. В. Корбан**, В. Х. Корбан, В. Ю. Ревенко // Суднові енергетичні установки: зб. наук. праць / НУ «ОМА». Одеса: ВидавІнформ, 2020. Вип. 40. С. 79–87.

15. **Корбан Д. В.** Аналіз функціональних зв'язків навігаційного об'єкту і зовнішнього середовища при функціонуванні суднової радіолокаційної станції (РЛС) / Д. В. Корбан // Суднові енергетичні установки: зб. наук. праць / НУ «ОМА». Одеса: ВидавІнформ, 2021. Вип. 43. С. 172–195.

16. **Korban D. V.** Polarization selection of navigation objects located in the zone of atmospheric formations / D. V. Korban // Судноводіння / Shipping & Navigation. 2021. No. 32. С. 56–70. https://doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021

17. **Корбан Д. В.** Шестиканальний поляризаційний роздільник всеполяризованої антени з керуванням поляризації електромагнітної хвилі на випромінювання / Д. В. Корбан // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». Одеса: ВидавІнформ, 2022. Вип. 33. С. 79–90. https://doi.org/10.31653/2306-5761.33.2022.67-78

18. **Корбан Д. В.** Радіолокаційне вимірювання характеристик розсіяння об'єкту при наявності природного фону / Д. В. Корбан // Водний транспорт: зб. наук. праць ДУІТ. Київ: ДУІТ, 2023. Вип. 1(37). С. 122–134. https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37

19. **Корбан Д. В.** Радіолокаційне спостереження навігаційних об'єктів у складних умовах атмосферного середовища з використанням поляризаційної селекції луна-сигналів / Д. В. Корбан, І. О. Бурмака // Водний транспорт: зб. наук. праць ДУІТ. Київ: ДУІТ, 2024. Вип. 1(39). С. 35–48. https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.04

20. **Корбан Д. В.** Радіолокаційні методи поляризаційної селекції морських об’єктів: монографія / Д. В. Корбан. Одеса: НУ «ОМА», 2024. 155 с. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.25651473.v1

21. **Корбан Д. В.** Поляризаційні вимірювання луна-сигналів частково поляризованих хвиль складних об'єктів судновим радіолокаційним поляризаційним комплексом / Д. В. Корбан // Судноводіння / Shipping & Navigation. 2024. No. 36. С. 77–85. https://doi.org/10.31653/2306-5761.36.2024.77-85

22. Галамутько О. Підвищення точності визначення навігаційних параметрів радіолокаційною системою судна при виконанні лоцманської проводки / О. Галамутько, **Д. В. Корбан** // Судноводіння / Shipping & Navigation. 2025. No. 38. С. 93–103. https://doi.org/10.31653/2306-5761.38.2025.93-103

23. Корбан Д. В. Відбивна здатність складного об'єкту, який знаходиться у зоні функціонування суднового радіолокаційного поляризаційного комплексу / Д. В. Корбан // Судноводіння / Shipping & Navigation. 2025. No. 38. С. 116–127. https://doi.org/10.31653/2306-5761.38.2025.116-127

Статті в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus and Web of Science:

24. Polarization-based target detection approach to enhance small surface object identification ensuring navigation safety / M. Stetsenko, O. Melnyk, I. Vorokhobin, **D. Korban**, O. Onishchenko та ін. System Research and Information Technologies. 2024. № 2. С. 35–51. https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2024.2.03

25. **Korban D.** Polarization method of navigation object selection in ship radar systems. Scientific Journal of the Maritime University of Szczecin. 2023. Vol. 76 (148). P. 17–22. https://doi.org/10.17402/581

26. Radar-based detection and recognition methodology of autonomous surface vehicles in challenging marine environment / **D. Korban**, O. Melnyk, O. Onishchenko, S. Kurdiuk, V. Shevchenko, T. Obniavko. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2024. Vol. 122. P. 111–127. https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.7

27. Method of polarization selection of navigation objects in adverse weather conditions using statistical properties of radio signals / **D. Korban**, O. Melnyk, S. Kurdiuk, O. Onishchenko, V. Ocheretna, O. Shcherbina, O. Kotenko. System Research and Information Technologies. 2025. № 1. С. 73–88. https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2025.2.03

28. **Korban D**. Increasing the functionality of the ship’s radar systems. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin. 2024. Vol. 79 (151). P. 22–29. https://doi.org/10.17402/612

Охоронні документи на об’єкти права інтелектуальної власності

29. Спосіб підвищення ефективності виявлення та супроводження надводних цілей навігаційною радіолокаційною станцією незалежно від стану морської поверхні: пат. 119985 Україна: МПК G01S 13/00, G01S 13/66, G01S 7/12 / В. В. Голіков, М. С. Стеценко, О. Г. Губський, **Д. В. Корбан**; заявл. 21.10.2016; опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20.

30. Спосіб підвищення ефективності виявлення та супроводження надводних об'єктів судновою навігаційною радіолокаційною станцією на тлі атмосферних утворень різного типу та ступеня інтенсивності: пат. 151471 Україна: МПК G01S 13/00, G01S 13/66 / М. С. Стеценко, **Д. В. Корбан**; заявл. 09.11.2020; опубл. 03.08.2022, Бюл. № 31.

31. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 139439 Україна. Докторська дисертація «Підвищення ефективності функціонування суднових радіолокаційних комплексів» / Д. В. Корбан; заявник та правовласник **Д. В. Корбан**; реєстр. 15.09.2025.

Тези доповідей на наукових конференціях:

32. **Корбан Д. В.** Принцип взаимности применительно к поляризационным свойствам антенны судового радиолокационного поляриметра / Д. В. Корбан // Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві: матеріали наук.-метод. конф. (Одеса, 19–20 листоп. 2015 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2015. С. 151.

33. **Корбан Д. В.** Влияние атмосферных образований на точность измерения угловых координат навигационных объектов / Д. В. Корбан // Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека: матеріали наук.-техн. конф. (Одеса, 16–17 листоп. 2016 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2017. С. 16–17.

34. **Корбан Д. В.** Использование судовой РЛС при проведении спасательных работ на море / Д. В. Корбан, Р. А. Иванов // Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація: матеріали наук.-техн. конф. (Одеса, 16–17 листоп. 2017 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2018. С. 159–162.

35. **Корбан Д. В.** Информационная технология синтеза поляризационного состояния электромагнитной волны при радиолокационном наблюдении навигационных объектов / Д. В. Корбан // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): матеріали X наук.-практ. конф. (Херсон, 29–31 трав. 2018 р.). Херсон, 2018. С. 121–123.

36. **Korban D.** Parametric polarization radio-location method of improvement of radiolocation observation of navigational objects against the background of natural hindrances / D. Korban, O. Volkov, P. Kostenko // SEA-CONF 2018: 4th International Conference (Constanta, 17–19 May 2018). Constanta, 2018. P. 91–99.

37. **Корбан Д. В.** Поляризаційна структура сигналів в інформаційному каналі суднових РЕК / Д. В. Корбан, А. В. Подорван, Т. Н. Буяджи // Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація: матеріали наук.-техн. конф. (Одеса, 14–15 листоп. 2019 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2019. С. 128–129.

38. **Корбан Д. В.** Ефективність пригнічення відбиттів від атмосферних утворень судновою РЛС з лінійною поляризацією / Д. В. Корбан, О. Ю. Морозов // Транспортні технології (морський та річковий флот): матеріали наук.-техн. конф. (Одеса, 14–15 листоп. 2019 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2019. С. 136.

39. **Корбан Д. В.** Использование неполяризованной волны для радиолокационной селекции навигационных объектов при наличии атмосферного фона / Д. В. Корбан // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 27–29 трав. 2020 р.). Херсон, 2020. С. 68–70.

40. **Корбан Д. В.** Радіолокаційне виявлення луна-сигналів навігаційного об'єкта судновою РЛС при наявності атмосферних перешкод / Д. В. Корбан // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: зб. тез доп. Міжнар. наук. інтернет-конф. (Тернопіль, 16 верес. 2020 р.). Тернопіль, 2020. Вип. 51. С. 40–41.

41. **Корбан Д. В.** Вплив відбиттів від атмосферних утворень та водної поверхні на роботу суднової РЛС / Д. В. Корбан, Ю. В. Шевченко // Транспортні технології (морський та річковий флот): матеріали наук.-техн. конф. (Одеса, 17 листоп. 2020 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2020. С. 97–101.

42. **Корбан Д. В.** Виявлення і розпізнавання поляризованих сигналів навігаційних об'єктів при наявності нормальних частково поляризованих перешкод / Д. В. Корбан // Сучасні тенденції розвитку морської галузі, підвищення ефективності та безпеки судноплавства: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Маріуполь, 23 квіт. 2021 р.). Маріуполь: АМІ НУ «ОМА», 2021. С. 28–37.

43. **Корбан Д. В.** Поляризаційна селекція навігаційних об'єктів судновими РЛС / Д. В. Корбан // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-21): матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 22–27 трав. 2021 р.). Херсон: ХДМА, 2021. С. 122–124.

44. **Корбан Д. В.** Виявлення і відмінність поляризованих сигналів навігаційних об'єктів при наявності нормальних частково поляризованих перешкод / Д. В. Корбан // Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021): матеріали Першої Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 3–5 листоп. 2021 р.). Херсон: ХДМА, 2021. С. 189–192.

45. **Korban D.** Improving the efficiency of ship radar systems functioning / D. Korban // Navigation, Shipping and Technology (NST): Materials of International Conference on Science and Technology (Odesa, 18–19 Nov. 2021). Odesa: NUOMA, 2021. P. 77–80.

46. **Корбан Д. В.** Розпізнавання навігаційних об'єктів, що знаходяться в зоні випадних опадів, судновими РЛС з використанням ступеня поляризації відбитої хвилі / Д. В. Корбан // Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2022): матеріали Першої Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 7 груд. 2022 р.). Херсон: ХДМА, 2022. С. 90–93.

47. **Корбан Д. В.** Селекція радіолокаційних сигналів навігаційних об'єктів, що знаходяться у зоні атмосферних утворень / Д. В. Корбан // Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт: матеріали наук.-техн. конф. (Одеса, 24–25 берез. 2022 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 25–28.

48. **Корбан Д. В.** Поляризаційна модель складного об'єкта, що спостерігається судновим радіолокаційним поляризаційним комплексом / Д. В. Корбан // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: зб. тез доп. Міжнар. наук. інтернет-конф. (Тернопіль, 7–8 черв. 2022 р.). Тернопіль, 2022. Вип. 68. С. 83–85.

49. **Корбан Д. В.** Ефективність використання кругової поляризації при радіолокаційному спостереженні навігаційних об'єктів / Д. В. Корбан, В. М. Абрамова // Navigation, Shipping and Technology (NST-2022): матеріали наук.-техн. конф. (Одеса, 17–18 листоп. 2022 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 103–105.

50. **Корбан Д. В.** Матриця розповсюдження небезпечних атмосферних утворень / Д. В. Корбан, Я. К. Куценко // Navigation, Shipping and Technology (NST-2022): матеріали наук.-техн. конф. (Одеса, 17–18 листоп. 2022 р.). Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 110–112.

51. **Корбан Д. В.** Модель основного інформаційного потоку в судновому радіолокаційному поляризаційному комплексі / Д. В. Корбан // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023): матеріали XV Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 24–25 трав. 2023 р.). Херсон: ХДМА, 2023. С. 225–228.

52. **Корбан Д. В.** Оптимальний статистичний синтез алгоритмів виявлення і розпізнавання сигналів навігаційного об’єкта при наявності частково поляризованої перешкоди від атмосферного утворення / Д. В. Корбан // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: зб. тез доп. Міжнар. наук. інтернет-конф. (Тернопіль, 7–8 груд. 2023 р.). Тернопіль, 2023. Вип. 83. С. 169–171.

53. **Korban D.** The model of the main information flow in radar observation of objects in difficult atmospheric conditions / D. Korban // The First International Symposium "Special Ships and Intelligent Systems 2023" (Sanya, 16–18 Dec. 2023). Sanya, 2023.

54. **Корбан Д. В.** Вплив морської поверхні на радіолокаційне спостереження навігаційних об'єктів судновим радіолокаційним поляризаційним комплексом / Д. В. Корбан // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2024): матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 29–31 трав. 2024 р.). Херсон: ХДМА, 2024. С. 156–159.

55. **Корбан Д. В.** Структура побудови сучасного суднового радіолокаційного поляризаційного комплексу / Д. В. Корбан // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: зб. тез доп. Міжнар. наук. інтернет-конф. (Тернопіль, 10–11 верес. 2024 р.). Тернопіль, 2024. Вип. 91. С. 121–123.

56. **Корбан Д. В.** Моделювання електромагнітного поля поляризаційної структури складного об’єкту / Д. В. Корбан // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2025): матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 28–30 трав. 2025 р.). Херсон: ХДМА, 2025. С. 159–162.

57. **Korban D. V.** Solving the problem of polarization selection of echo signals from a navigation object in the presence of sea-surface waves / D. V. Korban // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT–2026): матеріали XVII Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 26–28 трав. 2026 р.). Херсон: ХДМА, 2026. С. 193–195.

АНОТАЦІЯ

Корбан Д. В. Підвищення ефективності функціонування суднових радіолокаційних комплексів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом. – Національний університет «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2024.

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв’язання науково-прикладної проблеми – радіолокаційна видимість навігаційних об’єктів судновим радіолокаційним комплексом в умовах складних атмосферних завад.

Розроблено технології, що забезпечують удосконалення функцій суднового радіолокаційного комплексу (СРК) з отримання радіолокаційних даних про навігаційні об'єкти в складних умовах атмосферних завад.

Керування функціями отримання радіолокаційної інформації про навігаційні об'єкти, що перебувають у складних умовах атмосферних завад (відсутність їхньої радіолокаційної видимості), у судновій РЛС забезпечено використанням суднових радіолокаційних поляризаційних комплексів з керованими поляризаціями електромагнітної хвилі на опромінення складного об'єкта (навігаційний об'єкт, що перебуває у складних умовах атмосферних завад), а керування поляризаціями здійснюється як амплітудними, так і фазовими співвідношеннями. Управління поляризаційними параметрами луна-сигналів складного об'єкта у всеполяризованій антені суднового радіолокаційного поляризаційного комплексу (СРПК) здійснене шестикомпонентним поляризаційним розділювачем, у якого на виході кожного з каналів луна-сигнал складного об'єкта зв'язаний амплітудами своїх ортогонально поляризованих компонент у дальній зоні всеполяризованої антени СРПК. Керування сформованими луна-сигналами шести поляризацій досягнуто хвилеводним комутатором, що приєднує послідовно луна-сигнал певної поляризації на вхід лінійного двоканального приймача, на виході якого формуються з луна-сигналу певної поляризації дійсні поляризаційні параметри Стокса, що є поляризаційними елементами енергетичної матриці, матриці когерентності, а також входять до ступеню поляризації та статистичних властивостей поляризаційних параметрів луна-сигналів складного об'єкта, а саме – до ступеня поляризації і поляризаційних параметрів луна-сигналів складного об'єкта.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження на морських суднах і у Гідрометцентрах України свідчить про підвищення ефективності функціонування СРПК, з використанням поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі, під час розв'язування задач поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у складних умовах атмосферного середовища.

Ключові слова: судновий радіолокаційний поляризаційний комплекс, поляризаційна структура радіолокаційних сигналів, керування основним інформаційним потоком, методологія поляризаційної селекції навігаційних об’єктів, поляризаційна ефективність навігаційних об’єктів.

ANNOTATION

Korban D. V. Improving the efficiency of shipboard radar systems. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.22.13 – Navigation and Traffic Control – National University "Odessa Maritime Academy" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2024.

The dissertation research is aimed at solving a scientific and applied problem – radar visibility of navigational objects by a ship radar complex in conditions of complex atmospheric interference.

Technologies have been developed that ensure the improvement of the ship radar complex (SRC) functions for acquiring radar data about navigational objects under severe atmospheric interference.

Control of the functions of obtaining radar information about navigational objects located in complex conditions of atmospheric interference (lack of their radar visibility) in shipboard radar is provided by using shipboard radar polarization complexes with controlled polarization s of the electromagnetic wave to irradiate a complex object (navigational object located in complex conditions of atmospheric interference), and polarizations are controlled by both amplitude and phase relations.

The control of polarization parameters of reflected signals of a complex object in the all-polarized antenna of the ship radar polarization complex (SRPC) is carried out by a six-component polarization splitter, at which at the output of each channel the reflected signal of a complex object is connected by the amplitudes of its orthogonally polarised components in the far zone of the all-polarized antenna of the SRPC.

Control of the generated reflected signals of six polarisations is achieved by a waveguide switch, which connects sequentially reflected signals of a certain polarisation to the input of a linear two-channel receiver, at the output of which are formed from the reflected signals of a certain polarization actual polarization parameters of Stokes, which are polarization elements of the energy matrix, the coherence matrix, and also enter the degree of polarization and statistical properties of polarization parameters of reflected signals of a complex object according to the values of which the problem of polarization selection of a navigation object is solved.

The implementation of the results of the dissertation research on sea vessels and in the Hydrometeorological Centres of Ukraine indicates an increase in the efficiency of the SRPC functioning, using the polarization parameters of the electromagnetic wave, in solving the problems of polarization selection of navigation objects in difficult atmospheric conditions.

Key words: shipboard radar polarization complex, polarization structure of radar signals, control of the main information flow, methodology of polarization selection of navigation objects, polarizing efficiency of navigation objects.