

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ
НАЦІОНАЛЬНОГО АВІАЦІЙНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТРОФИМЕНКО ІРИНА ВАЛЕРІЇВНА

УДК 621.396.969.33

**ПІДВИЩЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ НА
ОСНОВІ ВРАХУВАННЯ ТРОПОСФЕРНОГО ВПЛИВУ В СУДНОВИХ
РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

05.22.13 – Навігація та управління рухом

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Кропивницький – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному університеті інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент,
Тимощук Олена Миколаївна,
Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерства освіти та науки України, директор
Київського інституту водного транспорту імені
гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
ТИМОЧКО Олександр Іванович,
Харківський національний університет Повітряних
Сил імені Івана Кожедуба Міністерства освіти і науки
України, професор кафедри повітряної навігації та
управління авіацією.

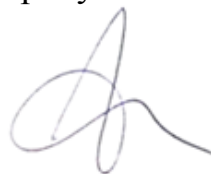
доктор технічних наук, професор,
Пашков Дмитро Павлович,
Державна екологічна академія післядипломної освіти
та управління, Міністерство екології та природних
ресурсів України, завідувач кафедри екологічного
моніторингу, геоінформаційних та аерокосмічних
технологій.

Захист дисертації відбудеться «25» січня 2019 року о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 23.144.01 при Льотної академії Національного авіаційного університету за адресою: 25005, м. Кропивницький, вул. Добровольського, 1а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці К 23.144.01 при Льотної академії Національного авіаційного університету за адресою: 25005, м. Кропивницький, вул. Добровольського, 1а.

Автореферат розісланий «21» грудня 2018 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 23.144.01



Ю.Г. Ковальов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогоднішній день при керуванні судном виникає низка завдань пов'язаних з точним визначенням координат засобів водного транспорту та його місцеположення, а також з проходженням його за оптимальним курсом при судноводінні. Тому для вирішення навігаційних завдань до складу навігаційного забезпечення судна використовуються різноманітні джерела постачання первинної інформації, такі як: інерційні системи, супутникові навігаційні системи, радіонавігаційні і радіолокаційні системи, які утворюють єдиний судовий навігаційний комплекс. Це пов'язано в першу чергу з виконанням встановлених вимог до точностних характеристик судноводіння кораблів, що затверджено Міжнародною морською організацією для забезпечення безпечного мореплавання, а саме:

підвищення безпеки судноводіння в умовах природних і штучних перешкод, а також визначення місцеположення морських об'єктів;

необхідністю прокладки оптимальних курсів, контролю стану і управління рухом суден в різних регіонах у зв'язку зі збільшенням інтенсивності вантажоперевезень;

забезпечення можливості проведення маневрування судном для запобігання зіткнення судів в обмежених умовах.

При цьому, виникає необхідність підвищувати рівень безпеки руху суден за рахунок якісного навігаційного забезпечення судових систем. Тому науковий напрямок, що пов'язаний з дослідженням можливості з підвищення достовірності навігаційної обстановки і точності визначення місцеположення морських об'єктів є актуальним.

Аналіз наукової літератури показав, що останнім часом для забезпечення якісної навігації судна використовуються інтегровані системи, які підвищують точність місцеположення морського судна.

Однак на сьогодні для морських судів поки не розроблені навігаційні системи з високим рівнем інтеграції, що не дає сприятливих точностних характеристик в складних умовах експлуатації судна.

Крім цього в джерелах літератури були досліджені шляхи комплексування за рахунок зменшення помилки вимірювання в тих чи інших режимах роботи різних (за своїми принципами) навігаційних систем. Це спонукає постійно коригувати початкові умови і відстежувати навігаційну обстановку, а також виявляти розташування морських об'єктів і супроводжувати їх рух в даному регіоні. Рішення даного завдання здійснюється на основі використання судових радіолокаційних систем, які забезпечують визначення місцеположення різних морських об'єктів за рахунок виявлення ефективної площі розсіювання (ЕПР) та прийняття рішень управління судном. При цьому, під морським об'єктом будемо розуміти рухомий, або нерухомий надводний об'єкт, який розташовано на водній поверхні в акваторії моря та від якою може відбиватися електромагнітна енергія при дистанційному зондуванні, що надає

можливість за рахунок використання суднових радіолокаційних систем визначати його навігаційні параметри.

Особливістю функціонування суднових радіолокаційних систем (РЛС) є розповсюдження радіолокаційного сигналу в умовах впливу неоднорідності тропосферного шару атмосфери Землі та морська поверхня з її динамічними властивостями морського середовища. При цьому, зовнішній вплив з власними шумами приймальних пристроїв також обмежують розмір зони радіобачення радіолокатора, та за дальністю знижують достовірність виявлення морського об'єкта. Тому важливою вимогою якісного функціонування суднових РЛС є стійке приймання радіолокаційного сигналу, що збільшує здатність виконувати свої функції без істотного погіршення якісних показників.

Розвиток суднових РЛС пов'язаний з виділенням радіолокаційного сигналу з потоку електромагнітних коливань, які поступають на вхід антенної системи з подальшим перетворенням у приймальному пристрої. Радіосигнали, що приймаються, схильні до впливу і, в першу чергу, на етапі проходження тропосферної ділянки (здійснюється затухання, спотворення та зміна). Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що тропосфера має неоднорідні властивості, які протікають у повітрі, а також її впливу на морську поверхню, яка також є неоднорідною середою. При цьому, на етапі приймання та обробки радіолокаційного сигналу здійснюється оцінка якості параметрів сигналу для подальшої його обробки, що впливає на точність визначення морських об'єктів та узбережжя для прокладки шляхів судноводіння.

Крім того, в останні роки розвиток суднових РЛС пов'язаний з розширенням можливостей здійснення постійного огляду акваторії моря та стеження за рухом морських об'єктів, що дає можливість своєчасно, при необхідності, здійснити відхилення, або розрахувати розходження судів для забезпечення безпечного судноводіння. Однак аналіз джерел літератури, вказує на те, що в ході навігаційного забезпечення судна залишається не вирішене до кінця питання, яке пов'язано з оцінюванням параметрів, отриманих радіосигналів в умовах впливу хвилювання морської поверхні на поширення радіохвиль.

У зв'язку з вищенаведеним виникає актуальне наукове завдання, яке спрямоване на підвищення точності вимірів параметрів радіосигналу в суднових радіолокаційних системах з врахуванням тропосферного впливу в умовах хвилювання морської поверхні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний автором напрямок досліджень тісно пов'язаний з положеннями Морської доктрини України на період до 2035 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 13074, здійснюється відповідно до Галузевої програми забезпечення безпеки судноплавства на 2014-2018 роки, відповідно до Програми економічних реформ на 2010-2014 роки з урахуванням основних напрямів розвитку, визначених у Транспортній стратегії України на

період до 2020 р., затвердженій розпорядженням КМУ від 20.10.2010 р. № 2174-р.

Дисертаційна робота виконана у інтересах науково-дослідної роботи: «Розробка комплексного показника якості пасажирських круїзних суден змішаного плавання в системі безпересадкових круїзних перевезень між портами Дніпра, Чорного моря та Дунаю» (номер держреєстрації 0116U03946), яка виконувалася у Київській державній академії водного транспорту, у якій автор приймав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка науково-методичного апарату підвищення точності вимірів параметрів радіолокаційного сигналу в суднових радіолокаційних пристроях для забезпечення якісної навігаційної безпеки судноводіння за рахунок врахування тропосферного впливу в умовах хвилювання морської поверхні.

Для досягнення визначеної мети в роботі необхідно поставити та вирішити наступні завдання досліджень: провести аналіз перспективних напрямків розвитку суднових радіолокаційних систем навігації; визначити особливості розповсюдження радіохвиль над морською поверхню та визначення властивостей в тропосферному шарі, що впливають на розповсюдження радіохвиль; вдосконалити підхід до приймання радіосигналів в суднових радіолокаційних системах в умовах впливу неоднорідності морського середовища; провести імітаційну перевірку науково-методичного апарату та розробити науково-практичні рекомендації щодо приймання радіосигналу в суднових радіолокаційних системах.

Об'єкт дослідження – процес врахування впливу тропосферного шару на приймання радіосигналу в суднових радіолокаційних системах в умовах хвилювання морської поверхні.

Предмет дослідження – приймання ехо-сигналів в суднових радіолокаційних системах.

Методи дослідження. Теоретичною базою для досягнення сформульованої мети є праці з питань у теорії побудови радіолокаційних систем, завадостійкості, поширення радіохвиль, методи обробки радіолокаційної інформації, а також побудови радіоприймальних пристроїв. Разом з аналітичними розрахунками у дисертаційній роботі проведено експериментальна перевірка розроблених теоретичних положень, яка здійснювалася на основі проведення імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

вперше запропоновано аналітична модель зміни параметрів радіолокаційного сигналу, яка відрізняється від відомих урахуванням тропосферного впливу в умовах хвилювання підстилаючої морської поверхні, що дозволяє підвищити точність місцеположення морських об'єктів за рахунок визначення більш якісного значення ехо-сигналу в приймальному пристрої суднової радіолокаційної станції;

отримало подальший розвиток аналітична модель приймання радіолокаційного сигналу, особливою рисою якої є врахування впливу зовнішніх збурень над морською поверхнею, що надає можливість підвищити навігаційну безпеку судноводіння за рахунок підвищення точності вимірів параметрів радіосигналу в суднових радіолокаційних системах з врахуванням тропосферного впливу в умовах неоднорідності морського середовища;

удосконалено метод визначення ефективної площі розсіювання морського об'єкту в суднових радіолокаційних системах на основі врахування впливу зовнішніх збурень на приймання радіосигналу в суднових радіолокаційних пристроях, що дозволяє забезпечити навігаційну безпеку судноплавства.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Синтезовано алгоритм зменшення тропосферних похибок при вимірюванні параметрів радіолокаційних сигналів на основі врахування коефіцієнту тропосферного впливу, що впливає на відношення сигнал-шум в приймальному пристрої суднових радіолокаційних систем та дозволяє підвищити точність місцеположення судна.

2. Запропонована модель приймання радіолокаційного сигналу в умовах впливу зовнішніх збурень на основі врахування тропосферного впливу над морською поверхню, що дає можливість підвищити якість прийому радіосигналу в радіолокаційних пристроях для підвищення його точностних характеристик.

3. Запропоновано науково-практичні рекомендації для приймання радіосигналу в бортових радіолокаційних системах судна, що дозволяє підвищити показники точності та завадостійкості в радіолокаційній системі прокладки руху судна.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів дисертаційної роботи забезпечується: врахуванням чинників, що впливають на рішення наукового завдання; обґрунтованим вибором допущень і обмежень, прийнятих як вихідні дані при формулюванні наукових завдань, а також збіжністю теоретичних даних із результатами проведених експериментів.

Наукові та практичні результати досліджень, що отримані в роботі підтверджуються відповідними актами впровадження: у ТОВ «Київський центр підготовки, перепідготовки і підвищення кваліфікації фахівців водного транспорту»; у ДП «Український науково-дослідний навчальний центр» при підготуванні кандидатів в аудитори з сертифікації продукції машинобудування; у Державному університеті інфраструктури та технологій під час створення курсу лекцій.

Особистий внесок здобувача.

Основні наукові й прикладні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем особисто. У роботах, виконаних у співавторстві, автору належить: у [10, 13] – наведено часткове завдання дослідження, розглянуто метод підвищення ефективності експлуатації засобів водного транспорту; у [3, 9] – наведено часткове завдання дослідження, розглянуто особливості

використання суднових РЛС для підвищення навігаційної безпеки засобів водного транспорту; у [1–3] – особливості аналітичної моделі приймання радіолокаційного сигналу; у [5–7] – наведено підхід до врахування тропосферного впливу на приймання радіосигналу в суднових радіолокаційних системах, наведено результати перевірки ефективності розроблених пропозицій із підвищення навігаційної безпеки судноводіння.

Апробація результатів дисертації. Отримані результати проведених досліджень у ході виконання дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних і міжвідомчих науково-технічних конференціях та семінарах, опубліковані в тезах доповідей, основними із яких є: 17-а науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів Київської державної академії водного транспорту ім. П.Конашевича-Сагайдачного (Київ, 2013); науково-практична конференція «Стандартизація, сертифікація, метрологія та менеджмент» (Київ, 2015); науково-практична конференція «Стандартизація, сертифікація, метрологія та менеджмент» (Київ, 2016).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображені у 13 наукових працях, серед них: 7 статей, опублікованих особисто і у співавторстві у збірниках наукових праць, що входять до переліку видань, дозволених МОН України для публікацій результатів досліджень з технічних наук (у тому числі 2 статті опубліковані одноосібно, також 3 статті опубліковані у міжнародних наукометричних базах) та 3 матеріалів науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 111 найменувань на 11 сторінках, 2 додатків на 5 сторінках. Повний обсяг дисертації – 149 сторінок, з них основний текст – 122 сторінки. Робота містить 26 рисунків та 4 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** зазначено актуальність вибору обраної теми, поставленого наукове завдання, сформульовано мету і поставлено часткові наукові завдання дослідження та визначено методи їх вирішення, визначено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами та наведено відомості про публікації й апробації результатів дослідження, показана структура та обсяг роботи.

У **першому розділі**, на основі аналітичного огляду відомої літератури, в роботі проведено дослідження стану предмету дослідження та визначені перспективні напрямки розвитку навігаційного забезпечення судноводіння з використанням суднових РЛС. Так, серед технічних засобів навігаційного забезпечення судна особливе місце займають суднові РЛС, які відповідають за виявлення морських об'єктів та визначення параметрів їх стану для прокладання безпечного курсу в акваторії. Дані суднові РЛС визначають відстань до судна в умовах обмеженої видимості. Крім цього, суднові радіолокаційні засоби дозволяють визначити параметри руху морського об'єкту відносно положення судна та надавати дані розрахунків для їх відображення.

Аналіз літератури показав, що на сьогодні досить детально досліджені різні принципи, механізми, методи та методики роботи суднових РЛС, що пов'язано з якістю їх функціонування. Крім того, достатньо вивчені різні впливи атмосферних ефектів на розповсюдження радіолокаційних сигналів та обробки в антенно-приймальному тракті для визначеності ЕПР морського об'єкту спостереження, що підтверджується проведеними дослідженнями А.В. Алексішиним, Ю.К. Барановим, А.П. Бенем, Л.Л. Вагущенком, В.І.Вороб'їєм, П.П. Демиденком, А.С. Мальцевим, А.Н. Мариничем, Я.Д. Ширмоном та іншими. При цьому визначено, що одним із перспективних напрямків розвитку суднових РЛС є більш детальне врахування впливу на радіолокаційний сигнал під час його розповсюдження в тропосферному шарі, а також необхідність врахування підстилаючої поверхні. Також в ході аналітичного огляду наукової літератури встановлено, що суднові РЛС мають ряд недоліків, що пов'язані з хвилюванням морської поверхні, що також збільшує похибки вимірювань поточних координат та ускладнює визначення параметрів морських об'єктів.

Дослідження свідчать про те, що для імпульсних некогерентних суднових РЛС якість роботи залежить від послідовного кругового огляду простору в горизонтальній площині суміщень з вузьконаправленою приймально-передавальною антеною, що обертається. При цьому, вертикальна площина діаграми спрямованості антени характеризується віялоподібною формою, яка визначається впливом на формування зондуючого і відбитого полів підстильної поверхні моря. При цьому дальність виявлення судновими РЛС без стороннього впливу можливо описати виразом за допомогою рівня радіолокації

$$D_{\max}(\varphi_0, \psi_0) = \sqrt[8]{\left(\frac{4 P_{\text{пер}} \sigma_0 \eta_A^2 \pi h_A^4 h_0^4}{P_{\text{пр}} \lambda^2} \right) [G(\varphi_0, \psi_0)]^2}, \quad (1)$$

де $P_{\text{пер}}$ – імпульсна потужність РЛС; σ_0 – ЕПР морського об'єкту спостереження; η_A – коефіцієнт корисної дії антенно-хвильового тракту; h_A, h_0 – відповідно висота антени та об'єкту спостереження над поверхнею моря; $P_{\text{пр}}$ – порогове значення виявлення радіолокаційного сигналу на вході приймача РЛС; λ – робоча довжина хвилі РЛС; $G(\varphi_0, \psi_0)$ – коефіцієнт посилення антени (потужності) за напрямком; φ_0, ψ_0 – азимут і кут місця об'єкту в полярній системі координат, пов'язаної з точкою положення антени РЛС.

Однак в процесі приймання ехо-сигналу в судової РЛС від морського об'єкту як правило відбувається вплив на радіосигнал, що призводить його до спотворення. В даному випадку крім тропосферного впливу на радіолокаційний сигнал впливає також підстилаюча морська поверхня, яка істотно змінює енергетику радіосигналу, що пов'язано з зміною:

- по-перше, радіохвилі між РЛС і морським об'єктом поширюватися як прямолінійно, так і відбиваючись від водної поверхні;

– по-друге, схвильована поверхня моря приводе к зміні поверхового шару тропосфери.

Тому в роботі розглядаються особливості розсіювання радіолокаційного сигналу в тропосфері і показано взаємозв'язок між виявлення морського об'єкту та визначенням дальності з урахуванням загасання. При цьому максимальна дальність дії РЛС (в активному режимі) буде обчислюватися за виразом

$$D''_{\max} = D_{\max} \exp(-0,23 \alpha_z D'_{\max}), \quad (2)$$

де α_z – коефіцієнт загасання електромагнітної енергії в тропосфері.

На основі проведеного аналізу, що пов'язано з розповсюдженням радіохвиль сантиметрового діапазону в радіо тракті та приймання ехор-сигналу визначені напрямки, що покращують якість роботи суднових РЛС. Це дало змогу сформулювати загальне наукове завдання, мету роботи та шляхи її досягнення.

Основою дисертаційного дослідження є дослідження впливу морської поверхні на розповсюдження радіолокаційного сигналу в приземному шарі в якому протікають процеси, що впливають на тропосферу, тому у **другому розділі** викладено науково-методичний апарат врахування впливу поверхні моря на розповсюдження радіолокаційних сигналів.

Особливість змін, що відбуваються в радіоканалі при поширенні радіохвилі від суднової РЛС до морського об'єкту і назад, обумовлено підстилаючою поверхнею моря, яке утворює додатковий вплив на тропосферу і проявляється двояким чином. Це позначається на зміні відображаючих властивостей опромінення морського об'єкту, що пов'язане з підстилаючою поверхнею моря, що змінює його ЕПР, яке призводить до неточного визначення дальності виявлення (за виразом (1)) і типу судна.

Крім цього, в залежності від стану морської поверхні може проявлятися ефект «розтягування» морського об'єкту через тривалість імпульсів радіосигналу на вході приймального пристрою суднових РЛС. Це залежить від підстилаючої поверхні моря (спокійна або схвильована), яка призводить до багатопроменевої моделі поширення зонduючого і відбитого сигналу, що збільшує тривалість радіоімпульсів прийнятого/відбитого сигналу від морського об'єкта. Врахування цього ефекту відкриває можливість визначення за допомогою двокоординатної імпульсної РЛС, а також з використанням третьої координати-висоти спостережуваного морського об'єкта. При цьому, тривалість зворотних сигналів заздалегідь відома, так як визначаються метеоумови та розраховується підстилаюча поверхня моря. Це здійснюється за допомогою виявлення взаємовпливу статистичних характеристик морської поверхні на приземний тропосферний шар.

Аналіз літератури показав, що якщо час спостереження становить близько 0,5 с, то морська поверхня являє собою стаціонарну випадкову функцію. При цьому, розглядати морську поверхню можливо як випадкову функцію відносно

висоти по просторово-часовій характеристики, що для повної форми морської поверхні необхідно знати як одновимірний, так і двовимірний закони розподілу по висоті. Причому відповідний вид морської поверхні визначається з розгляду двовимірного закону розподілу. В даному випадку закон характеризує ймовірність того, що в певний момент часу висота поверхні в заданій точці знаходиться в інтервалі $h_1 + dh_1$, а в момент часу t_2 – від h_2 до $h_2 + dh_2$.

Відповідно теорії ймовірності наведено, якщо процес варіацій висот є стаціонарним і ергодичним, тоді за просторовими координатами перший і другий закони розподілу зберігають свій вигляд. При цьому, двовимірний закон розподілу визначається просторовою кореляційною функцією висот поверхні, або спектром по просторовим частотам.

Розглянемо випадок відповідно цих закономірностей. Припустимо, що зміна висоти h морської поверхні можна характеризувати, як результат суперпозиції великого числа простих (елементарних) гармонійних хвиль. Тоді, на підставі центральної граничної теореми, відповідно нормальному закону розподілу, вираз буде визначатися як

$$\omega(h) = \frac{1}{\delta_h \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{h^2}{2\delta_h^2} \right], \quad (3)$$

де $\delta_{h^2} = D_h$ – дисперсія висот морської поверхні.

В ході проведених досліджень визначено, що схвильована морська поверхня є не тільки синусоїдною, а й просторово-часовою функцією кореляції процесу $h(x, y, t)$. При цьому, будь-який морський об'єкт має власну частоту руху, в рамках руху смуги частот морського хвилювання відповідно до функції $h(t)$. Що ж стосується часу перебування морського об'єкта в окремих областях хвилі морської поверхні, то воно максимально не в вершині і западині хвилі, а на нульовій площині. Отже, закон розподілу висот поверхні близький до нормального.

Як показали дані гідродинамічних спостережень щодо складових морського хвилювання, що деякі хвилі мають найбільшу механічну енергію, тобто великі складові морських хвиль. При цьому відзначимо, що тимчасовий спектр морського хвилювання визначається співвідношенням

$$S_\omega(\omega) = A_s \omega^{-k_s} \exp(-B_s \omega^{-n_s}), \quad (4)$$

де $\omega = 2\pi / T$; A_s, B_s, k_s, n_s – параметри, залежать від умов хвилювання, тобто від швидкості v , часу, і довжину шляху дії вітру, причому різні автори визначають ці параметри за різними співвідношенням.

Використовуючи (4), можна перейти від тимчасового спектра до спектру по просторовим частотам $\omega = 2\pi / \Lambda = \omega^2 / g$.

Отже, спектр морського хвилювання у вигляді суперпозиції двох вузькосмугових спектрів представляється як

$$S_x = a_s \exp \left[- \left(\frac{x - x_{01}}{\Delta x_1} \right)^2 \right] + b_s \exp \left[- \left(\frac{x - x_{02}}{\Delta x_2} \right)^2 \right], \quad (5)$$

де x_{01} та x_{02} – значення аргумента функції спектральної щільності відповідно в точках $0'$ і $0''$; a_s і b_s – максимальні значення складових спектра; Δx_1 і Δx_2 – ширина складових спектра на рівні відповідно $0,368 a_s$ та $0,368 b_s$.

На підставі (5) шляхом перетворення Фур'є визначаємо просторову функцію кореляції

$$\rho(\Delta x) = \delta_{\Sigma_1}^2 \exp \left[- \frac{\Delta x^2 \Delta x_1^2}{4} \right] \cos(x_{01} \Delta x) + \delta_{\Sigma_2}^2 \exp \left[- \frac{\Delta x^2 \Delta x_2^2}{4} \right] \cos(x_{02} \Delta x). \quad (6)$$

Залежно від реальних умов на морі спектр хвилювання (6), а отже, і вид кореляційної функції можуть істотно змінюватися. Тоді передбачається наступна форма просторової кореляційної функції хвилювання моря

$$\rho(\Delta x) = \delta_{\Sigma_2}^2 \exp \left[- \Delta x |\Delta x| \right] \cos(x_0 \Delta x) \quad (7)$$

де $\delta_{\Sigma_2}^2$ – дисперсія висот; $\Delta x = 1/l_x$; $x_0 = 2\pi/\Lambda$; l_x, Λ – відповідно радіус кореляції і довжина морської хвилі.

Кореляційні функції (6) і (7) записані для одновимірного хвилювання, коли вісь іксів декартової системи координат збігається з напрямком поширення морських хвиль. Для двовимірного морського хвилювання за аналогією з (6) функція кореляції дорівнює

$$\begin{aligned} \rho(\Delta x, \Delta y) = & \delta_{\Sigma_1}^2 \exp \left[- \frac{\Delta x^2 \Delta y^2}{4} \Delta x_1^2 \right] \cos(x_{0x1} \Delta x) \cos(x_{0y1} \Delta y) + \\ & + \delta_{\Sigma_2}^2 \exp \left[- \frac{\Delta x^2 \Delta y^2}{4} \Delta x_2^2 \right] \cos(x_{0x2} \Delta x) \cos(x_{0y2} \Delta y). \end{aligned} \quad (8)$$

У виразах (7) та (8) $\Delta x = x_2 - x_1$ та $\Delta y = y_2 - y_1$ – координати точок морської поверхні, рознесених по відношенню один до одного; $\delta_{\Sigma_1}^2$ і $\delta_{\Sigma_2}^2$ – дисперсії висот відповідно для функцій кореляції хвилі і вітрових хвиль.

Спектр капілярних хвиль володіє значною нерівністю, тому цікавлять нас максимуми. Будемо апроксимувати їх і відповідно кореляційні функції капілярних хвиль гаусовськими формами. При цьому, слід враховувати трансформацію закону дисперсії коротких хвиль за рахунок їх знесення довгою хвилею

$$\omega_B(x_B, r, t) = \omega_{B0}(x_B) \left[1 + \sqrt{x_B x h} \cos(xr - \omega t) \cos \theta_B + O(xh') \right], \quad (9)$$

де h, h' – відповідно висота і кут нахилу великомасштабної хвильової компоненти морського хвилювання; r – координата поширення капілярної хвилі.

Крім цього, вивчався вторинний вплив морської поверхні на тропосферу. Це проявляється в зміні кута заломлення від відбивання ехо-сигналу від

морської поверхні. Так, внаслідок розглянутих процесів, над поверхнею моря утворюється шар, насичений вологою в різних фазах. З урахуванням викладеного, кут падіння плоскої електромагнітної хвилі на поверхню моря складе φ_1 замість φ - кута падіння на поверхню розділу і чистій атмосфері, який визначається як

$$\sin \varphi_1 = \frac{\sin \varphi}{n} + \frac{\sin \varphi}{1 + (1,435 \dots 5,8)W_d} . \quad (10)$$

Таким чином, при прояві нестаціонарних явищ на морі кут ковзання радіопроміння змінюється від 11,6 до 0,6'. Такого роду оцінки дозволяють судити про фактичні кути падіння радіопроміння на поверхню моря.

Наступним кроком роботи є розробка аналітичної моделі взаємодії сигналу та завади в радіоприймальному тракті в радіолокаційних системах. В основу даної моделі покладено те, що надводні морські об'єкти при їх спостереженні за допомогою суднової навігаційної РЛС представляють собою точкову або зосереджену радіолокаційну модель, що лежить в площині діаграми спрямованості антени. При цьому, припустимо, що ЕПР надводних морських об'єктів визначена з урахуванням впливу підстильної поверхні моря і ефект розтягування відсутня, в цьому випадку можна вважати, що їх моделі знаходяться у вільному просторі. Тоді значення потужності огинаючого відбитого радіоімпульсу на вході приймача РЛС з урахуванням загасання електромагнітної енергії в тропосфері запишеться у вигляді

$$P_t = \frac{P_{np} \eta^2 G^2 \lambda^2 \sigma_t}{D_t^4 (4\pi)^3} \exp(-0,46 \alpha_s D_t) , \quad (11)$$

де P_{np} – потужність передавача РЛС; α_s – коефіцієнт загасання електромагнітної енергії в тропосфері.

При цьому, визначення величини ДНА судновий РЛС $G(\varphi_D, \psi_D)$

$$G(\varphi_D, \psi_D) = \frac{6}{\pi \varphi_A} G_{o\psi} G_n(\psi_D) \exp \left[-2,78 \left(\frac{\varphi_D}{\varphi_A} \right)^2 \right] , \quad (12)$$

де $G_{o\psi}$ – максимальне значення величини у вертикальній площині; φ_A – ширина ДНА в горизонтальній площині на рівні половинної потужності випромінювання; $G_n(\psi_D)$ – нормована ДНА в вертикальній площині.

Тоді для заданого морського об'єкта в певній точці отримаємо наступну формулу миттєвого значення потужності огинаючого радіоімпульсу, відбитого від морського об'єкта, на вході приймача судновий РЛС

$$p_t = ASY \sigma_0 EB_t , \quad (13)$$

де s – параметр суднової РЛС

$$S = \frac{9}{16} \frac{P_{np} \eta^2 G_{0\psi}^2 \lambda^2 \sigma_t}{\pi^5 \varphi^2 A}, \quad (14)$$

де γ – параметр затухання

$$\gamma = \frac{1}{D_t^4} \exp(0,46 \alpha_3 D_t), \quad (15)$$

де E – значення пеленгаційної характеристики РЛС

Також в роботі, наведено аналітична модель амплітудно-часової структури параметрів радіолокаційного сигналу відбитого від морського об'єкта. Особливістю даної моделі є визначення амплітудно-тимчасової структури пачки імпульсів, відбитих від морського об'єкта, в залежності від типу його радіолокаційної моделі. Вхідні в них величини p_{0i} являють собою дискретну вибірку з випадкового процесу $P_0(t)$, причому, з огляду на відносно невисокі швидкості переміщення рухливих надводних морських об'єктів, можна вважати, що ця вибірка проводиться з періодичністю проходження зондувальних імпульсів T_u .

Таким чином впливає, що функція $P_0(t)$ в загальному випадку являє собою випадковий нестационарний процес. При цьому, можна припустити, що реалізація цього процесу протягом часу формування окремої пачки відображених радіолокаційних сигналів задовольняє умовам стаціонарності. В такому випадку функцію $P_0(t)$ для наступного аналізу зручно представити у вигляді

$$P_0(t) = K_p(t) \bar{P}_0, \quad (16)$$

де $K_p(t)$ – випадковий множник із середнім значенням, рівним одиниці, який визначає процес флуктуацій величини P_0 в часі; $\bar{P}_0$ – середнє значення цієї величини.

При виконанні умов стаціонарності процесу P_0 випадкова величина $K_p(t)$ буде повністю визначатися її кореляційною функцією. З огляду на велике різноманіття останніх для різних надводних об'єктів, множник $K_p(t)$ далі будемо визначати часом кореляції $\tau_{кор}$.

Враховуючи тропосферний вплив та з урахуванням обвідної пачки радіоімпульсів, отримаємо такі вирази для амплітудно-часової структури окремої пачки радіоімпульсів від надводного об'єкта і її обвідної

$$p_c(t) = \sum_{i=1}^{N_u} A_i K_i \bar{P}_0 E_{\varphi_i}(t - t_i - t_{0i}) B_i(t - t_i - t_{0i}), \quad (17)$$

$$p_c(t - t_i - T_0) = A_{\max} K_p(t - t_i - T_0) \bar{P}_0 E_{\varphi}(t - t_i - T_0) B_{\max}(t - t_i - T_0). \quad (18)$$

У **третьому розділі** розглянемо особливості виявлення морських об'єктів в суднових радіолокаційних системах на основі виявлення та ідентифікацію морського об'єкта за допомогою його ЕПР.

На початку розробляється науково-методологічний підхід щодо виявлення судна з використанням суднових РЛС, в якому в основу покладено не тільки пошук радіосигналу, а також визначення ЕПР морського об'єкту. Особливістю даного підходу є те, що в окремих випадках необхідно застосовувати різні механізми виявлення в судновому пеленгаційному пристрої радіолокаційного сигналу, а також враховувати зміну ЕПР морського об'єкту, що залежить від хвилювання морської поверхні та його розташування відносно суднового РЛС.

На початку розглядається точковий морський об'єкт. Якщо складний морський об'єкт радіолокаційного спостереження опромінюється плоским фронтом хвилі, то величину його ЕПР можна визначити виразом

$$\sigma_0 = \left| \sum_{n=1}^{N_0} \sigma_n^{0,5} e^{-j\alpha_n} \right|^2, \quad (19)$$

де N_0 – загальне число точок «відображення» на вході антени суднової РЛС спостережуваного морського об'єкта; σ_n – відповідна ЕПР морського об'єкта; α_n – фаза відбитого поля в заданій точці, яка обчислюється як

$$\alpha_n = \frac{4\pi D_n}{\lambda}, \quad (20)$$

D_n – відстань до n -ї точки «відбиття».

Для морського об'єкта спостереження, яку представляють точковою радіолокаційною моделлю, припущення щодо плоский характер фронту падаючої хвилі, практично завжди допустимо. Тому ЕПР точкового морського об'єкта можна визначити в наступному вигляді

$$\sigma_T = \left| \sum_{n=1}^{N_0} [\sigma_{nc}(Q) W_n(Q, h_0, h_A, D_o)]^{0,5} e^{-j\alpha_n(Q)} \right|^2. \quad (21)$$

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

Якщо ЕПР σ_m та фази α_m точкових елементів можна розглядати такими, що знаходяться в вільному просторі, то, в даному випадку для повної ЕПР зосередженої РЛМ σ_c буде справедливе співвідношення

$$\sigma_c = \sum_{m=1}^{M_0} \sigma_m + 2 \sum_{m \neq m^*}^{M_0} \sqrt{\sigma_m \sigma_{m^*}} \cos \Delta \alpha_{mm^*}. \quad (22)$$

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

Враховуючи питому ЕПР i -го точкового елемента протяжної РЛМ можна визначити вираз для протяжного об'єкту, як

$$\sigma_{yDm} = \frac{\sigma_m}{\psi_T}, \quad (23)$$

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

Залежно від типу радіолокаційної моделі морського об'єкта (об'ємної, поверхневої, або лінійної), отримаємо вираз для ЕПР σ_{tII} для протяжної РЛМ, що бере участь у формуванні відбитого сигналу

$$\sigma_{tII} = \psi_T \left(\sum_{m_p=1}^{M_p} \sigma_{yDm_p} + 2 \sum_{m_p \neq m_p^*}^{M_p} \sqrt{\sigma_{yDm_p} \sigma_{yDm_p^*}} \cos \Delta \alpha_{m_p m_p^*} \right). \quad (24)$$

Таким чином, у результаті досліджень наведено науково-методичний апарат визначення ЕПР морського об'єкту в різноманітних умовах хвилювання моря.

Крім того, в роботі розглядаються особливості що необхідно врахувати в суднових РЛС при прийманні ехо-сигналів в динамічних умовах. В даному випадку розглядаються вплив на амплітуду і частоту при флуктуації, що обумовлено багатьма чинниками, такими як: флуктуація ЕПР опромінюваного надводного об'єкту, викликаною хитавицею; зміною взаємного положення діаграми спрямованості опромінюючої антени РЛС і діаграми зворотного розсіювання надводного об'єкту; інтерференцією прямого і відбитого від морської поверхні ехо-сигналів; впливом зворотного розсіювання схвильованої поверхні моря; зміною умов поширення радіохвиль в приводному шарі атмосфери і, нарешті, дією внутрішніх шумів приймача радіолокатора.

В четвертому розділі на основі проведеного імітаційного моделювання наведені науково-практичні рекомендації для якісного приймання ехо-сигналів в суднових РЛС в умовах тропосферного впливу з урахуванням хвилювання підстилаючої морської поверхні.

Спочатку синтезовано аналітичну модель розповсюдження радіосигналу над морем та розроблені алгоритми приймання радіосигналу в суднових радіолокаційних системах в умовах впливу тропосферного шару. Особливістю даної моделі є розгляд радіосигналу за енергетичними складовими та його зміни в умовах різних тропосферних явищ (загашення, ослаблення та рефракції) та її зміни в умовах хвилювання підстилаючої морської поверхні. На підставі даної моделі в роботі розроблені алгоритми роботи суднової РЛС для забезпечення навігаційної обстановки в регіоні (рис.1 та 2).

Для перевірки працездатності в роботі проведено імітаційне моделювання. Так, спочатку наведено методику і програму імітаційного моделювання, описано експериментальне обладнання та його характеристики. Імітаційне моделювання було реалізоване за допомогою спеціального програмного забезпечення для

математичних розрахунків - MatLAB 8.1. Крім того, в ході моделювання розроблена модель дослідження енергетичних характеристик радіоканалу, в залежності від зміни властивостей морської поверхні та тропосферного шару.

Результати моделювання представлені на рис. 3÷6. Так на рис.3 та 4. наведено порівняльні характеристики зміни дальності виявлення морських об'єктів в умовах ослаблення сигналу в тропосфері в різних радіодіапазонах (для довжини хвилі: $\lambda = 3$ см і $\lambda = 10$ см) при мінімальному впливі.

На рис. 5. наведено графік зміни тропосферного впливу на поширення радіолокаційного сигналу в «спокійних» і «збурених» умовах підстильної морської поверхні. На рис. 6. наведено графік змін ЕПР морського об'єкта від дальності виявлення при умовах впливу тропосфери з урахуванням хвилювання морської поверхні в різних діапазонах довжин хвиль.

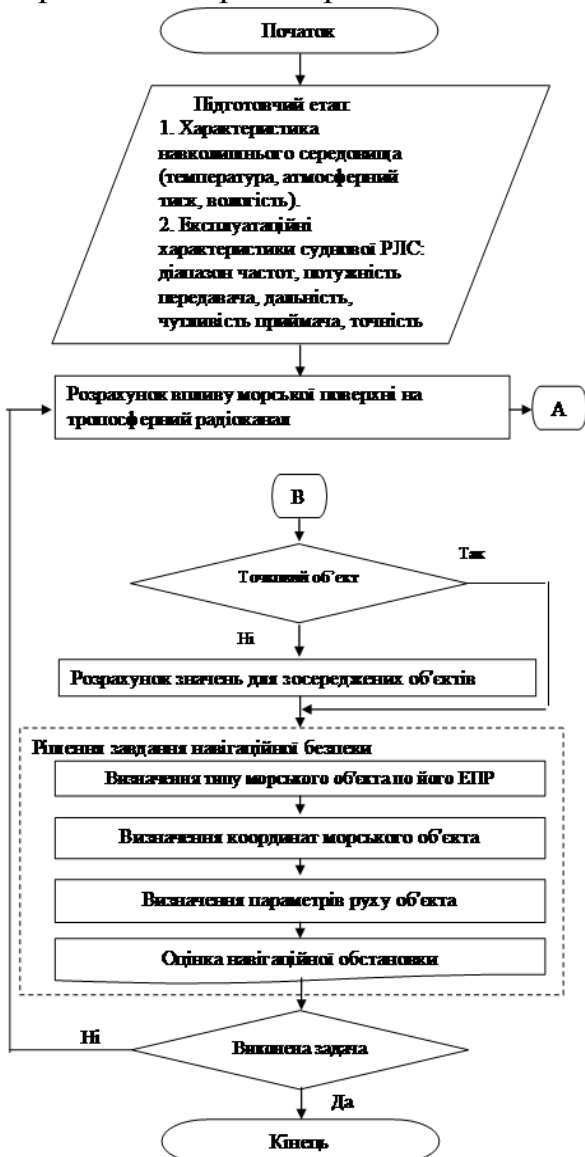


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму роботи суднової РЛС

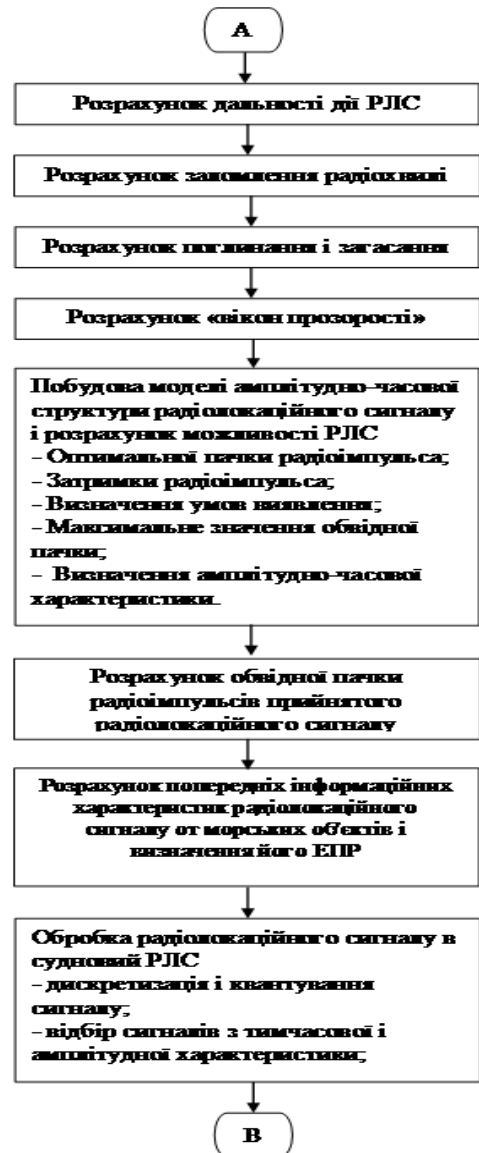


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму врахування впливу морської поверхні

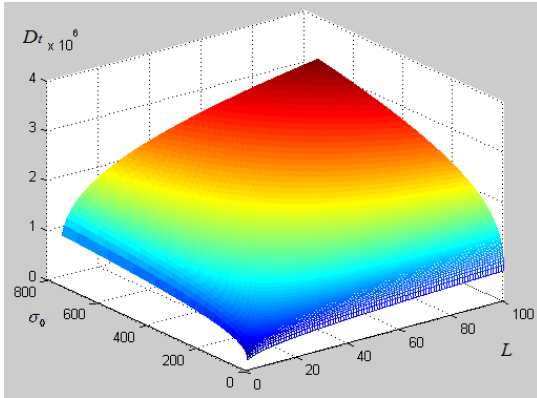


Рисунок 3 – Графік залежності ослаблення радіосигналу на відстань при використанні довжини хвилі $\lambda = 3$ см при мінімальній потужності прийому сигналу.

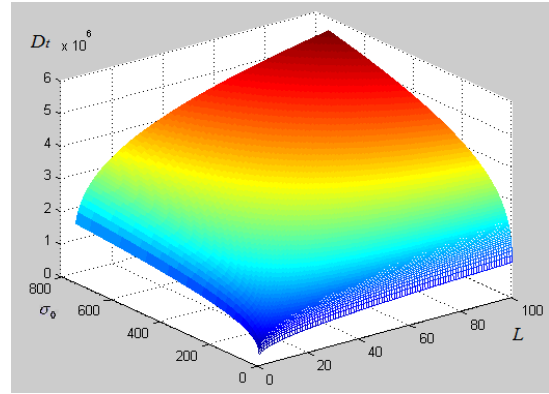


Рисунок 4 – Графік залежності ослаблення радіосигналу на відстань при використанні $\lambda = 10$ см при мінімальній потужності прийому сигналу

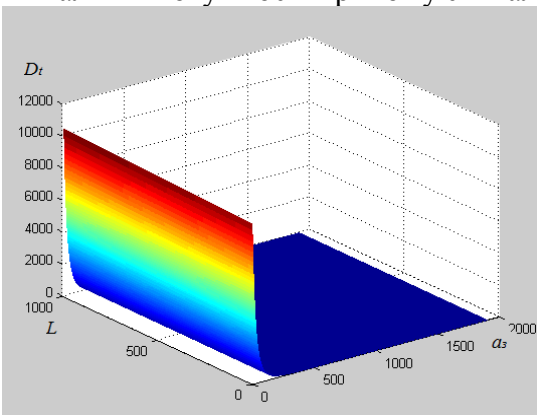


Рисунок 5 – Графік зміни тропосферного впливу на поширення радіолокаційного сигналу в різних умовах підстилючої морської поверхні

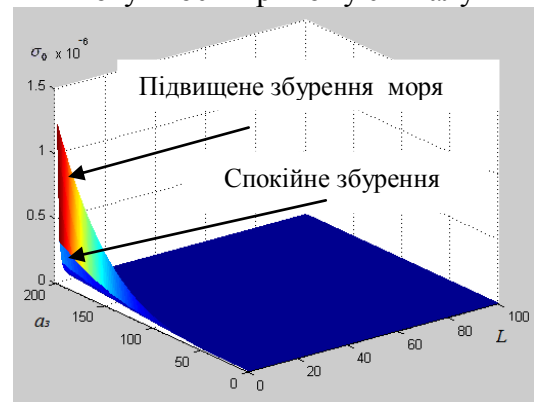


Рисунок 6 – Графік змін ЕПР судна при впливі морської поверхні на тропосферу в різних діапазонів довжин хвиль ($\lambda = 3$ см і $\lambda = 10$ см)

На рис. 6. наведено графіки зміни тропосферного впливу на поширення радіолокаційного сигналу в «спокійних» і «збурених» умовах підстильної морської поверхні. В ході проведення імітаційного моделювання підтвердилося положення про вплив підстилючої поверхні не тільки на приморський шар, а також і на тропосферний шар, що є ключовим при низьких кутах при виявленні морських об'єктів на близьких відстанях. Крім цього, експериментально підтверджено, що більше загасання радіолокаційного сигналу здійснюється в «збурених» умовах підстилючої морської поверхні, ніж в «спокійних». Так в ході експерименту встановлено, що при «збуренні» моря радіоканал втрачає до 2 дБ/км та зміншується ЕПР судна до 2 разів.

За аналізом встановлених результатів можливо зробити висновок, що «збурення» моря впливає на радіолокаційний сигнал та негативно впливає на виявлення морських об'єктів. Врахування зміни умов підстильної морської поверхні від «спокійної» до «збуреної» дозволяє корегувати якість приймання радіосигналу в радіолокаційному тракті.

Тому, на основі отриманих результатів розроблено науково-практичні рекомендації, у яких запропоновано послідовно виконувати дії на різних етапах роботи суднової РЛС для виявлення надводних морських об'єктів та відпрацювання управлінських рішень в різних гідрометеорологічних умовах для забезпечення навігаційної безпеки в акваторії. Це дозволяє підвищити ефективність виявлення морського об'єкту за характеристикою ЕПР на 15%.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи розв'язано актуальне наукове завдання, яке пов'язане з підвищення точності вимірів параметрів радіосигналу в суднових радіолокаційних системах з врахуванням тропосферного впливу в умовах хвилювання морського середовища. При цьому, отримано ряд нових наукових і практичних результатів, основними з яких є такі:

вперше запропоновано аналітична модель, яка враховує тропосферний вплив та зміну параметрів радіолокаційного сигналу в умовах підстилаючої морської поверхні, що дозволяє визначити більш якісне значення ехо-сигналу в приймальному пристрої суднової РЛС та дає можливість підвищити точність визначення місцеположення точкових та протяжних морських об'єктів;

отримало подальший розвиток аналітична модель впливу зовнішніх збурень на прийом радіолокаційного сигналу, яка враховує тропосферний вплив над морською поверхнею та підвищує якість приймання в радіолокаційних пристроях, що дає можливість підвищити точність визначення морських об'єктів;

удосконалено метод визначення ефективної площі розсіювання морського об'єкту в суднових радіолокаційних системах на основі врахування впливу зовнішніх збурень на приймання радіосигналу в бортових радіолокаційних пристроях та дає змогу забезпечити навігаційну безпеку судноплавства.

синтезовано алгоритм зменшення тропосферних похибок при вимірюванні радіолокаційних сигналів на основі врахування коефіцієнту тропосферного впливу, що впливає на відношення сигнал-шум в приймальному пристрої суднових радіолокаційних систем та дозволяє підвищити точності місцеположення судна;

запропоновано алгоритм приймання радіолокаційного сигналу в умовах впливу зовнішніх збурень на основі врахування тропосферного впливу над морською поверхню, що дає можливість підвищити якість прийому радіосигналу в радіолокаційних пристроях для підвищення точностних характеристик;

запропоновано науково-практичні рекомендації для приймання радіосигналу в бортових радіолокаційних системах судна, що дозволяє підвищити показники точності та завадостійкості в радіолокаційній системі прокладки руху судна.

Використання розробленого науково-методичного апарату дозволяє: підвищити якість приймання радіосигналу в приймальних пристроях суднових

радіолокаційних системах; підвищити достовірність даних визначень місцезнаходження судна за допомогою радіолокаційних систем; удосконалити навігаційне забезпечення судна та судові радіолокаційні системи в умовах тропосферного впливу над морською середою.

Достовірність наукових і практичних результатів підтверджена збігом отриманих результатів із відомими даними та перевіркою за допомогою імітаційного моделювання. Основні наукові і практичні результати, що отримані в дисертаційній роботі впроваджені.

Результати дисертаційних досліджень можуть бути використані для виявлення морських об'єктів під час проведення управління судном, а також визначення рівня впливу зовнішніх завад для оцінювання якості енергетичного потенціалу радіолокаційного сигналу, при викладенні дисциплін «Навігація судноводіння», «Радіолокаційні пристрої навігації судна».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Шапран Ю.Є. Метод статистичного оцінювання та прогнозування параметра потоку відмов агрегатів системи автоматичного керування судових комплексів за даними експлуатаційних спостережень/ Ю.Є. Шапран, І.В. Трофименко// Стандартизація, сертифікація, якість. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.– Вип. 1 (104). – С.52–56.)

2. Мусорин А.А. Анализ методов прогнозирования для определения технических параметров судового оборудования/ А.А. Мусорин, Ю.Э. Шапран, І.В. Трофименко//Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy. –2017. –№2. – С.115–119.)

3. Тимощук О.М. Функція невизначеності двоантенних радіометричних комплексів / О.М. Тимощук, Ю.Є. Шапран, І.В. Трофименко//Стандартизація, сертифікація, якість. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – Вип. 2 (105). –С.79–84.

4. Трофименко І.В. Визначення перспективних напрямків розвитку навігаційного забезпечення судноводіння з використанням радіолокаційних систем / І.В. Трофименко //Новітні технології. –2017.– Вип. 2(4).– С. 29–42.

5. Трофименко І.В. Модель прогнозування показника надійності судових агрегатів/ Трофименко І.В., Данік О.В., Шапран Ю.//Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – №. 3(51).– С.78–83.

6. Тимощук О.М. Критерій оптимальності процесу технічного обслуговування судових комплексів/ О.М. Тимощук, О.А. Дакі, О.М. Коломієць, І.В.Трофименко // Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України.– 2017.– 4(29).–С.132–136.

7. Гаврилко Є.В. Вирішення завдань контролю та навігації засобів водного транспорту за допомогою пасивного радіотехнічного комплексу / Є.В.

Гаврилко, О.М. Тимощук, І.В. Трофименко //Телекомунікаційні та інформаційні технології.– 2017.– Вип. 3(56).– С. 44–48.

8. Трофименко І.В. Особливості виявлення морських об'єктів в суднових радіолокаційних системах /І.В. Трофименко // Новітні технології. – 2018.– Вип. 1(5).– С. 43–54. 04.04.18

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

9. Трофименко І.В. Особливості аналітичного забезпечення експлуатації суден у сучасних умовах / І.В. Трофименко, А.А. Мусорин, Ю.Є. Шапран//Наукові записки українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2017. –№1(45)– С.117–121.

10. Тимощук О.М. Особливості планування в процесі управління судноплавною компанією / О.М. Тимощук, Ю.Є. Шапран, І.В. Трофименко//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2017. – №3(30). – С.99–102.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Трофименко І.В. Метод підвищення навігаційної безпеки судноводіння/ І.В. Трофименко// Матеріали 17-ої науково-методичної конференції викладачів, аспірантів та студентів 25.04-27.04. 2013 року. – Київ: КДАВТ, 2013.– С.106.

12. Трофименко І.В. Особливості визначення навігаційної безпеки судноводіння судів за допомогою радіолокаційних систем/ І.В. Трофименко//Наукова-практична конференція «Стандартизація, сертифікація, якість»: тези доповідей, 25 вересня 2015 року. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015.– С.49.

13. Данік О.В. Алгоритм аналізу системи навігації та управління рухом судном в різноманітних умовах експлуатації/ І.В. Трофименко, О.В. Данік//Наукова-практична конференція «Стандартизація, сертифікація, метрологія та менеджмент»: тези доповідей, 25–29 квітня 2016 року. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – С.17.

АНОТАЦІЯ

Трофименко І.В. Підвищення навігаційної безпеки судноводіння на основі врахування тропосферного впливу в суднових радіолокаційних системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом. – Летня академія Национального авиационного университета», Кропивницький, 2018.

У дисертаційній роботі вирішується актуальне наукове завдання практичного характеру, що спрямовано на підвищення точності вимірів параметрів радіосигналу в суднових радіолокаційних системах з врахуванням тропосферного впливу в умовах хвилювання морського середовища.

У дисертації вперше запропоновано аналітична модель для врахування тропосферного впливу на радіолокаційний сигнал, що дозволяє здійснити розрахунки ефективної площі розіювання (ЕПР) морських об'єктів. Також отримало подальший розвиток модель розрахунку впливу зовнішніх збурень на прийом радіолокаційного сигналу на основі врахування тропосферного збурень над морською поверхню. Крім того, в роботі удосконалено метод визначення ЕПР морського об'єкту в суднових радіолокаційних систем на основі врахування впливу зовнішніх збурень, що дає можливість підвищити навігаційну безпеку судноплавства. В ході наукових досліджень проводилось імітаційне моделювання, яке підтвердило збіжність отриманих результатів з відомими даними.

Ключові слова: суднова радіолокаційна система, тропосферний вплив, морська поверхня, навігаційна безпека судноводіння.

АННОТАЦИЯ

Трофименко И.В. Повышение навигационной безопасности судноводения на основе учета тропосферного влияния в судебных радиолокационных системах. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук (доктора философии) за специальностью 05.22.13 – навигация и управление движением. – Летная академия Национального авиационного университета», Кропивницкий, 2018.

В диссертационной работе решается актуальная научная задача практического характера, которая направлена на повышение точности измерений параметров радиосигнала у судовых радиолокационных систем (РЛС) с учетом тропосферного влияния в условиях неоднородности морской среды.

В диссертации впервые предложено аналитическая модель для учета тропосферного влияния на радиолокационный сигнал, что позволяет осуществить расчеты эффективной площади рассеивания (ЭПР) морских объектов. Также получило дальнейшее развитие модель расчета влияния внешних возмущений на прием радиолокационного сигнала на основе учета тропосферного возмущений над морской поверхностью. Кроме того, в работе усовершенствован метод определения ЭПР морского объекта у судовых радиолокационных систем на основе учета влияния внешних возмущений, которое дает возможность повысить навигационную безопасность судноводения. В ходе научных исследований проводилось имитационное моделирование, которое подтвердило сходимость полученных результатов с известными данными.

Использование разработанного научно-методического аппарата позволяет: повысить качество приема эхо-сигнала в судовых РЛС в условиях тропосферного влияния при распространении радиолокационного сигнала над морской поверхностью и усовершенствовать навигационное обеспечение судна использующих судовые РЛС с достоверным определением местонахождения морского объекта по его ЭПР. Полученные в диссертации результаты могут быть применены в научно-исследовательских организациях при определении

тактико-технических требований к перспективным навигационным судовым РЛС, в научно-производственных организациях во время создания новых РЛС для реализации концепта Е-навигации.

Ключевые слова: судовая радиолокационная система, тропосферное влияние, морская поверхность, навигационная безопасность судновждения.

ABSTRACT

Trofymenko I.V. Improvement of waterborne traffic navigation safety based on considering tropospheric impact in navy radar systems. – Qualifying scientific work as manuscript.

Philosophy doctor's theses in technical sciences – 05.22.13 – navigation and traffic control. – Flight Academy National Aviation University, Kropyvnytskyi, 2018.

The dissertation solves an important practical scientific problem aimed at increasing radio signal measurement accuracy in navy radar systems considering tropospheric impact in conditions of inhomogeneous navy environment.

An analytic model for consideration of tropospheric impact at radar signal is proposed in the dissertation for the first time. This enables calculation of radar cross-section (RCS) of navy objects. The model of calculating external perturbations influence at receiving of radar signal were further developed considering tropospheric perturbations above navy surface. Moreover, the navy object RCS determination method in navy radar systems based on external impacts consideration was improved. It enables increasing waterborne traffic navigation safety. Imitation modeling was preformed during the scientific research confirming agreement of the obtained results with known data.

Keywords: NAVY radar system, tropospheric impact, navy surface, waterborne traffic navigation safety.

Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк.0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 0788

Підписано до друку 14.12.2018 р.
Свідоцтво держ. реєстру ДК №977 від 05.07.2002р.

Видавництво Льотна академія НАУ

м. Кропивницький,
вул. Добровольського,1,
тел. 39-44-37.