

В. Д. Карлов¹, И. Г. Леонов¹, А. І. Нос¹, С. Г. Леушин¹, М. М. Олещук²

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

² Військова частина А 2533, Дніпро, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСИВНИХ ПЕРЕШКОД ПОБЛИЗУ АЗОВСЬКОГО МОРЯ ПРИ НАЯВНОСТІ ТРОПОСФЕРНОГО РАДІОХВИЛЕВОДУ ДЕЦИМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ХВИЛЬ

Анотація. Наведені результати експериментального дослідження пасивних перешкод у районі Азовського моря для радіолокаційних станцій дециметрового діапазону електромагнітних хвиль. Проаналізовано метеорологічні умови появи пасивних перешкод джерело яких знаходиться за межею радіогоризонту при наявності тропосферного радіохвилеводу для прибережної позиції радіолокаційної станції. В ході експерименту отримано, що дальність поширення електромагнітних хвиль при наявності тропосферних радіохвилеводів може суттєво перебільшувати дальність щодо радіогоризонту. Однак при цьому зростає вплив додаткових пасивних перешкод, які заходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту. Причиною цього вважають стан радіофізичних характеристик тропосфери над морською поверхнею.

Ключові слова: експериментальні дослідження; дециметровий діапазон; пасивні перешкоди, джерело яких знаходиться за межею радіогоризонту; тропосферний радіохвилевід узбережжя Азовського моря.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасний розвиток науки і технології дозволяє активно використати останні досягнення в засобах повітряного нападу. Наприклад, має розвиток застосування безпілотних засобів повітряного нападу розвідки та знищення військових та цивільних об'єктів [1]. Безпілотні засоби повітряного нападу мають мали ефективні поверхні розсіювання, широкий діапазон швидкостей та висот польоту. Для радіолокаційного вияву безпілотних засобів повітряного нападу та наведення засобів протиповітряної оборони потрібно побудова спеціальних радіолокаційних станцій [18]. Для таких радіолокаційних станцій у прибережному регіоні необхідна додаткова оцінка їх перешкодозахищеності від додаткових пасивних перешкод, які знаходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту [15, 16].

Аналіз літератури вітчизняних і зарубіжних авторів. Військові конфлікти останніх років свідчить про зростаючу роль безпілотних засобів повітряного нападу при знищенні військової техніки, командних пунктів та інших об'єктів державного і військового призначення. Проведення Операції Об'єднаних Сил поблизу Азовського моря збільшує імовірність налетів безпілотних засобів повітряного нападу з боку Азовського моря на малих та гранично малих висотах [1-3]. У таких умовах дальність виявлення безпілотних засобів повітряного нападу обмежена дальністю радіогоризонту, яка недостатня для їх ефективного знищення. Пошук шляхів збільшення дальності вияву маловисотних безпілотних засобів повітряного нападу веде до необхідності використання специфічних умов поширення електромагнітних хвиль у тропосферних радіохвилеводах над морем [4-9, 15, 16]. У цих умовах локація здійснюється в умовах специфічних пасивних перешкод, джерело яких знаходиться, як у межі так і за межею радіогоризонту [8-14, 17].

Стаття присвячена результатам експериментальних досліджень пасивних перешкод, джерелом яких є відбиття від гірських масивів, що знаходяться за межею радіогоризонту та оптично небачених об'єктів – “луна - ангелів”.

Мета статті: оцінка результатів дослідження додаткових пасивних перешкод дециметровим радіолокаційним станціям поблизу Азовського моря які знаходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту.

Виклад основного матеріалу

Досвід експлуатації радіолокаційних станцій, які розміщені поблизу Азовського моря показує, що дальність поширення електромагнітних хвиль при наявності тропосферних радіохвилеводів може суттєво перебільшувати дальність щодо радіогоризонту. Однак при цьому зростає вплив додаткових пасивних перешкод, які заходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту [2, 3]. Причиною цього вважають стан радіофізичних характеристик тропосфери над морською поверхнею [8, 19-23]. Експериментальні дослідження, проведені в Харківському Національному Університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба [4, 5] дозволили отримати характеристики пасивних перешкод, які можуть виникати при існуванні тропосферних радіохвилеводів поблизу Азовського моря.

Як відомо, основним засобом забезпечення перешкодозахищеності від пасивних перешкод є побудова спеціальних систем обробки сигналів у радіолокаційних станціях, які знаходяться під впливом пасивних перешкод [2]. Системи обробки радіолокаційних станцій у пасивних перешкодах, зазвичай, будують за умови стаціонарності та нормальності часових та спектральних характеристик пасивних перешкод.

Відмінність умов поширення електромагнітних хвиль від стандартних, які існують в прибережних районах Азовського моря при існуванні тропосфер-

них радіохвильоводів, може призводити до невиконання таких умов [8, 13, 10].

Для кожної позиції радіолокаційної станції пасивні перешкоди мають свої часові, спектральні і статистичні характеристики. Тому необхідно дослідити пасивні перешкоди для різних приморських позицій радіолокаційних станцій та отримати усереднені результати [14].

Дослідження фізичних процесів над акваторіями внутрішніх морів [2, 3] свідчать про те, що зміни клімату збільшують імовірність появи тропосферних радіохвильоводів над Азовським морем. Тому зростає вірогідність появи додаткових пасивних перешкод, які знаходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту [12, 13, 15, 21]. Метеорологічні процеси, при яких можливе утворення тропосферних радіохвильоводів детально описані в [7, 8]. Метеорологічні процеси, що відбуваються в прибережних районах Азовського моря нестаціонарні, тому статистичні параметри пасивних перешкод, що знаходяться як у межі, так і за межею радіогоризонту, істотно нестаціонарні [9, 11, 13, 15] мають слабу кореляція за часом, за азимутом и за кутом міста.

Для отримання характеристик пасивних перешкод поблизу Азовського моря співробітниками Харківського Національного Університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба була проведена низка експериментів [4, 5].

У експериментах [4, 5], в якості вимірювача пасивних перешкод було використано типова трьохкоординатна радіолокаційна станція дециметрового діапазону, позиція, якої знаходиться на узбережжі Азовського моря (рис. 1).



Рис. 1. Позиція РЛС, яка знаходиться на узбережжі Азовського моря, джерело: [4, С. 8]

Висота фазового центру антени радіолокаційної станції 30(м).

Максимальна дальність дії радіолокаційної станції 150 (км).

Методика виконання експериментальних досліджень складалася у наступному:

- радіолокаційна станція вмикалась у режим огляду простору на максимальну дальність;
- вмикалась система захисту від пасивних перешкод;
- радіолокаційна обстановка спостерігалась за допомогою індикатора кругового огляду (ІКО);

- якщо на протязі однієї хвилини на індикатору кругового огляду з'являлося відмітки, які було можливо ідентифікувати, як пасивні перешкоди, зображення індикатора кругового огляду фіксувалось за допомогою фотоапарату;

- амплітуда пасивних перешкод вимірялася у каналу формування керуючого сигналу миттєвої системи автоматичного управління підсилювача проміжної частоти приймача радіолокаційної станції;

- отримані фотографії накладалося на карту місцевості;

- фіксувались метеорологічні умови.

На рис. 2 наведено характерний вигляд індикатора кругового огляду при появі пасивних перешкод.

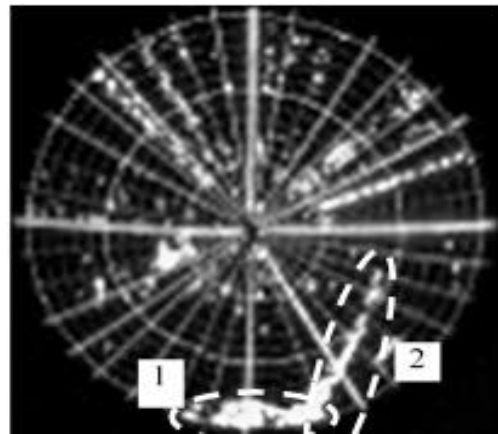


Рис. 2. Вигляд ІКО при появі пасивної перешкоди, джерело: [4, С. 10].

Для ідентифікації пасивних перешкод (ПП) порівнялася карта проведення експерименту і зображення індикатора кругового огляду.

На рис. 3 наведено результати накладання зображення індикатора кругового огляду на карту проведення експерименту.

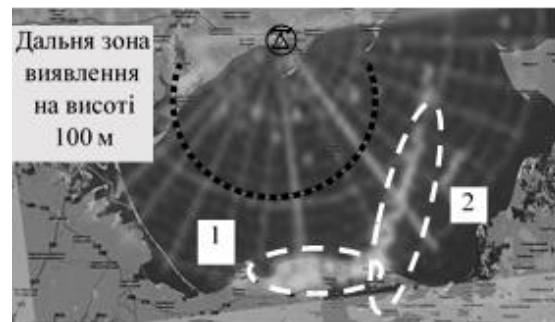


Рис. 3. Результати накладання зображення ІКО на карту проведення експерименту, джерело: [4, С. 16]

На рис. 2, 3 можна побачити, області інтенсивних пасивних перешкод (1)-(2).

Область (1) за формою і положенням відповідає Керченському півострову. Область (2) вказує на те, що ці пасивні перешкоди виникли внаслідок відбиттів від Кавказьких гір, які розташовані на відстані, більший інтервалу однозначного вимірювання дальності РЛС. Інші відбиття не належать ніяким географічним об'єктам, тому вважаються "луна - ангелами".

Північний берег Керченського півострова є урвистим, із прибережними висотами до 100 м. В північній частині півострова знаходиться гора Маяк із висотою 189 м. Центральна частина півострова має більш пологий рельєф.

Підвищення рельєфу починається ближче до північного узбережжя із максимальними висотами 120-180 м. Томуна ІКО РЛС є відбиття лише від північної частини півострова.

Для узбережжя Керченського півострова дальність до радіогоризонту в при нормальній рефракції складає 64 км, що менше дальності відбиття зони (1). Для гори Маяк дальність до радіогоризонту складає 80 км, що майже у два рази менше, ніж відстань, з якої були отримані відбиття [6].

Проведено аналіз градієнту індексу заломлення повітря за висотою ($-g_N$) та метеорологічних умов у місті проведення експерименту при появі ПП, джерело яких знаходиться за межею РГ. Він показує, що ПП виникають, якщо

$$(-g_N) \geq 0,19N(\text{од./м}).$$

Для $(-g_N) \leq 0,19N(\text{од./м})$ додаткові ПП не виникають [6].

Індекс заломлення повітря залежить від поточних метеорологічних умов [2, 6]:

$$N = \frac{77,6}{T_n} \left(p_n + \frac{4810e_n}{T_n} \right), \quad (1)$$

де (T_n) – температура повітря в К°; (p_n) – атмосферний тиск в мб; (e_n) – тиск водяної пари в мб.

Аналіз приземних метеорологічних даних в точці розміщення РЛС не вказує на їх зв'язок з появою ПП.

В ході дослідження показано, що потужність пасивних перешкод у зонах (1) і (2) більш потужності внутрішніх шумів приймача радіолокаційної станції на вході пристрою виявлення на 10 – 20(дБ), тобто в 10 – 100 разів ($R_{пп}/R_{пр \text{ min}}=10-100$), що може перебільшувати динамічний діапазон приймача радіолокаційної станції. Тому виявлення цілей у зонах (1) і (2) майже неможливо.

З появою тропосферних радіохвильоводів є зростання щільності та інтенсивності “луна - ангелів”, як в межі так і за межею радіогоризонту. Максимальна інтенсивність “луна - ангелів” зафіксовано на висотах 30...3000(м) за дальністю 50 – 150(км). “Луна - ангели” спостерігалися у вигляді груп з 3...5 окремих “луна - ангелів”.

Щільність “луна - ангелів” у межі радіогоризонту складало 0,3...0,5 (1/м²), а за межею радіогоризонту 0,1...0,01 (1/м²). Отримано, що щільність залежить від дальності, географічних координат “луна - ангелів”, сезонних і погодних умов у місті проведення експерименту.

Час існування “луна - ангелів” складає від 10 сек до 10 хв у тому самому елементу розподілу. Кути міста, під якими виявлялися “луна - ангели”, склали 00 – 60.

Геометричні розміри “луна - ангелів” – 50 – 300 (м). Доплерівський спектр “луна - ангелів” складає 2 – 5 (кГц), що відповідає швидкості цілі $V_{ц}=360 – 900$ км/год. Типова смуга резекції дециметрових радіолокаційних станцій складає 1(кГц), що відповідає швидкості цілі $V_{ц}=180$ (км/год). Тому, якщо швидкість цілі $180(\text{км/год.}) \leq V_{ц} \leq 900(\text{км/год.})$, імовірність її виявлення у пасивних перешкод типу “луна - ангелів” різко зменшується.

Інтенсивність “луна - ангелів” збільшується при зменшенні кута міста, що свідчить про багатопроменевий механізм поширення електромагнітних хвиль у тропосферних радіохвильоводах у дециметровому діапазоні [8, 21-25].

Висновки

Дослідження фізичних процесів над акваторіями Чорного та Азовського морів свідчать про те, що зміни клімату збільшують вірогідність появи тропосферного радіохвильоводу над морем.

Тому зростає вірогідність появи пасивних перешкод, джерело яких знаходяться за межею радіогоризонту. Метеорологічні процеси, що відбуваються в прибережних районах і над морем нестационарні, тому статистичні параметри пасивних перешкод, які діють за межи радіогоризонту, істотно нестационарні.

Практично отримано, що поблизу Азовського моря для РЛС дециметрового діапазонів хвиль при $(-g_N) \geq 0,19N(\text{од./м})$ виникають пасивні перешкоди, джерело яких знаходяться за межею радіогоризонту. Ці перешкоди мають високу інтенсивність та широкий доплерівський спектр, який може перебільшувати смугу резекції систем захисту типових пристроїв обробки існуючих РЛС.

Збільшення інтенсивності пасивних перешкод при зменшенні кута міста свідчить про багатопроменевий механізм поширення електромагнітних хвиль у тропосферних радіохвильоводах для радіолокаційних станцій дециметрового діапазону поблизу Азовського моря.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних сил Російської Федерації/ А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов, Д.А. Гриб та ін./ За заг. ред. А.М. Алімпієва. – Х.: Оригінал, 2015. – 732 с.
2. Загоризонтное распространение ультракоротких радиоволн над морем: Обзор. /Кукушкин А.В., Фрейлихер В.Д., Фукс И.М. // Известия вузов. Радиофизика, 1987. – Т. XXX. – №7. – С.811-839.
3. Леонов И.Г. Вплив місцевої рефракції на дальність радіогоризонту Десята наукова конференція ХУПС ім. І. Кожедуба «Новітні технології-для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 9-10 квітня 2014 року.-Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2014.- С. 268 Мисайлов В.Л. Родюков А.О.
4. Карлов В.Д., Артеменко А.М., Струцінський О.В., Пічугін І.М. Оптимізація вимірювання дальності до цілі при її радіолокації в межах тропосферного хвильоводу над морем. Збірник наукових праць Системи управління, навігації та

- зв'язку. – Полтава: Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – 2017. – № 5 (45). – С. 18-21.
5. Леонов И.Г. Обнаружение аэродинамических целей в условиях шумовых и пассивных помех с широким доплеровским спектром./ Карлов В.Д., Леонов И.Г., Присяжный А.Е., Луковский О.Я.// Системы обработки информации. – Х.: ХУПС. Выпуск 9(58), 2006. – С.34 – 36
 6. Leonov I. G. 41Increase of efficiency of suppression of reflecting from handicaps (interferences) such as "angel-echo" at the expense of use of multifrequency signals. Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, 2004, Sevastopol, Ukraine pp.265-267. Karlov V.D.,Maksjuta D.V.,Gavrilkina V.V
 7. Леонов И.Г.Результати експериментальних досліджень коефіцієнта рефракції у континентальній частині України. Восьма наукова конференція ХУПС ім. І. Кожедуба «Новітні технології-для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 18-19 квітня 2012 року.-Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012.- С. 304 А.М.Коржов,А.С.Присяжний,Р.М.Животовський
 8. Война в зоне Персидского залива .(Анализ действий СВН и ПВО) / Авт.кол.под рук. Лосева И.Ф. Пособие – Киев: в/ч 22455,1991. – С.128.
 9. Бин Б.Р. Радиометеорология: Пер. с англ. / Бин Б.Р., Даттон Е.Дж.Под общ. ред. А.А. Семенова // Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 368
 10. Дальнее тропосферное распространение радиоволн./ Под ред. Б. А. Введенского и др.// Советское радио, 1965.
 11. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью / Л.М. Лобкова // Радио и связь, 1991. – С. 256
 12. Иванов В.Х. Распространение УК радиоволн над морем: Дис.д-ра. физ. мат. наук: 01.04.03/ Иванов Виктор Кузьмич– Харьков: ИРЭ АН Украины, 1994. – С. 201
 13. Калинин А.И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолиний /А.И.Калинин // Связь, 1979. – С. 296
 14. Казаков Л.Я. Неоднородности коэффициента преломления воздуха в тропосфере /Л.Я. Казаков А.Н. Ломакин // Наука, 1976. – С. 165
 15. Ширман Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех /Я.Д. Ширман, В. Н. Манжос //Радио и связь, 1981. – С. 416
 16. Karlov V. Evaluation of the accuracy of measuring the radial velocity of a target with an exponential and alternating decrease in phase correlation of the burst radio signal. Друк.Сучасні інформаційні системи. Щоквартальний науково-технічний журнал. – Х.: НТУ ХПІ, 2019. – Том 3, № 1 – С. 71-75.О. Kuznietsov A.ArtemenkoA. Karlov
 17. Кравцов Ю.А., Свистунов К.В., Тинин М.В. Об использовании представлений лучевых траекторий в расширенном пространстве параметров при решении задач распространения волн в неоднородных средах/ Ю.А.Кравцов., К.В. Свистунов, М.В. Тинин.// Радиотехника и электроника. – 1990. – № 8. – С.1603–1609.
 18. Красюк Н.П. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС /Н.П.Красюк, В.Л. Коблов, В.Н. Красюк // Радио и связь, 1988. – С. 216
 19. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
 20. Donets V., Kuchuk N., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>
 21. Максимова Н.Г. Современное состояние дистанционного зондирования атмосферного пограничного слоя с поверхности Земли (Методы исследования, наиболее важные результаты)/ Н.Г. Максимова// Радиотехника. – 1998. – Вып.10.– С.43-57.
 22. Рекомендация МСЭ-R P.1407-2. Многолучевое распространение и параметризация его характеристик.
 23. Татарский В.И. Распространение радиоволн в турбулентной атмосфере / В.И. Татарский // Наука, 1967. 548 с.

Received (Надійшла) 25.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

Experimental studies of passive interference near the Azov sea in the presence of a tropospheric UHF waves

Vladimir Karlov, Igor Leonov, Andriy Nos, Serhiy Leushyn, Mykola Oleschuk

Abstract. Experience in the operation of radar stations located near the sea shows that the range of electromagnetic waves in the presence of tropospheric radio waveguides can significantly exceed the range relative to the radio horizon. However, this increases the impact of additional passive interference, which enters, both within and beyond the radio horizon. The reason for this is considered to be the state of radiophysical characteristics of the troposphere above the sea surface. As you know, the main means of ensuring noise immunity from passive interference is the construction of special signal processing systems in radar stations, which are under the influence of passive interference. Radar station processing systems in passive interference are usually built under the condition of stationarity and normality of time and spectral characteristics of passive interference. The difference in the conditions of propagation of electromagnetic waves from the standard ones that exist in the coastal areas of the Sea of Azov in the presence of tropospheric radio waveguides may lead to non-compliance with such conditions. For each position of the radar station passive interference has its own temporal, spectral and statistical characteristics. Therefore, passive obstacles for different coastal positions of radar stations were investigated and averaged results were obtained. Studies of physical processes over the waters of the inland seas show that climate change increases the likelihood of tropospheric radio waves over them. Therefore, the probability of additional passive interference, which is both within and beyond the radio horizon, increases. Meteorological processes occurring in the coastal areas of the Sea of Azov are non-stationary, so the statistical parameters of passive interference, both within and beyond the radio horizon, are significantly non-stationary have a weak correlation in time, azimuth and city angle.

Keywords: experimental studies; decimeter range; passive interference; the source of which is beyond the radio horizon; tropospheric radio waveguide; the coast of the Sea of Azov.