

УДК 621.396

В.Д. Карлов¹, А.М. Артеменко², О.В. Струцінський³, І.М. Пічугін¹¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків² Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ³ Військова частина А0780

ОСОБЛИВОСТІ ЛОКАЦІЇ ВЕРТОЛЬОТІВ В УМОВАХ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ НАД МОРЕМ

У статті на основі даних про ефективну поверхню вертольотів, що відбивається, які отримані з урахуванням впливу головного гвинта, розглянута можливість збільшення дальності виявлення вертольота в умовах його локації над морем. Особливістю розглянутої можливості збільшення дальності локації вертольота, є існування над морем тропосферного радіохвильоводу, в межах якого проводиться локація вертольота. Отримання даних про ефективну поверхню розсіювання вертольота проведено на основі розгляду особливостей використання при їх розрахунку високочастотного методу.

Розглянуто основні етапи обчислювальної процедури ефективної поверхні розсіювання вертольота, з урахуванням особливостей, внесених обертовим ефектом головного гвинта вертольота. Узагальнені результати статистичних радіолокаційних характеристик вертольотів, які виходять шляхом підсумовування середньої ефективної площі розсіювання гвинта з ефективною площею розсіювання фюзеляжу, які використані при оцінці дальності виявлення вертольотів, що знаходяться в межах тропосферного радіохвильоводу над морем.

Ключові слова: ефективна площа розсіювання, тропосферний радіохвильовід, радіолокаційні характеристики, моделювання, гвинт, вертоліт, зворотне вторинне випромінювання.

Вступ

Аналіз військових конфліктів останніх років [1–3] та сучасний досвід проведення антитерористичної операції на Сході України переконливо свідчить про зростаючу роль ударних вертольотів для виконання бойових завдань [4]. Україна має досить протяжний морський кордон та значну морську акваторію. В даних умовах зростає актуальність проблеми своєчасного виявлення вертольотів, які здійснюють політ над морською поверхнею на малих та гранично малих висотах.

Традиційно для збільшення дальності виявлення вертольота, обмеженою дальністю прямої видимості, здійснюють підйом антени радіолокаційної станції (РЛС). Вказана дія здійснюється або за рахунок розміщення РЛС над піднесеністю, або за рахунок підйому антени РЛС на вищі. Проте, враховуючи на структуру берегової лінії чорноморського узбережжя України, зазначені можливості збільшення дальності прямої видимості не завжди вдається реалізувати. У зв'язку з цим, актуальним є питання використання нетрадиційних методів збільшення дальності виявлення вертольотів, що здійснюють політ над морем.

В якості такого методу, як показано в [5], може бути використаний метод, заснований на використанні особливостей поширення радіохвиль над морською поверхнею. Разом з тим, даних про можливість збільшення дальності локації вертольотів в відомій літературі в даний час немає.

Метою статті є оцінка можливості дальності виявлення вертольота з урахуванням отриманих в [6–9] даних про ефективну поверхню розсіювання (ЕПР) вертольотів при їх локації над морем.

Виклад основного матеріалу

Авторами роботи [6] був розроблений метод, у рамках якого поверхня вертольоту представлялася у вигляді суперпозиції поверхонь фюзеляжу і гвинтів. Крім того метод [6] розвинений у напрямі обліку обертання гвинтів.

Даний метод розрахунку дозволяє розраховувати характеристики розсіювання відокремленого об'єкту з неідеально відзеркалювальною поверхнею. При цьому розрахунок радіолокаційних характеристик (РЛХ) вертольоту в більшій частині співпадає з розрахунком РЛХ будь-якого об'єкту радіолокації у вільному просторі. Проте, це твердження справедливе, тільки якщо говорити про корпус (фюзеляж) вертольоту.

Однак для практичного використання (при рішенні задачі виявлення і розпізнавання) корисно використовувати такі характеристики як середнє і медіанне значення ЕПР [8]. В даному випадку, під медіанним значенням ЕПР в заданих ракурсах опромінення (носовий, бічний, хвостовий), розуміється заздалегідь передбачене значення ЕПР, вірогідність відхилення у велику або меншу сторони, якого, є випадковою величиною ЕПР в заданому секторі кутів на рівні 0,5.

В [9] запропонована модель головного гвинта, який обертається з великою швидкістю, що і є його головною відмітною особливістю в порівнянні з іншими складними радіолокаційними об'єктами. Як приклад в [9], розглянуто головний гвинт вертольоту Мі-8МТ. Діаметр головного гвинта складає 21,30 м, гвинт має 5 лопатей шириною 50 см і завітовшки 6 см.

Використовуючи данні, які наведено у [9] проаналізуємо радіолокаційні характеристики гвинта, який обертається, для кута місця зондування – 3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої півсфери) і 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої півсфери).

У результаті аналізу отриманих у [9] РЛХ, (а саме, ЕПР, серединні і медіанні значення ЕПР) можна зробити висновок про вклад головного гвинта (який обертається) в РЛХ вертольоту. На рис. 1–2 представлені РЛХ моделі гвинта, які були отримані в [9], при частоті опромінення 3 ГГц (довжина хвилі 10 см).

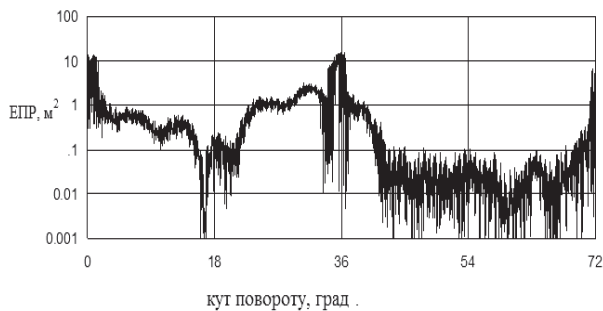


Рис. 1. ЕПР моделі гвинта Мі-8МТ (кут місця зондування 3 градуси)

На рис. 2 приведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту. Середня ЕПР гвинта складає 0,62 м². Медіанна ЕПР гвинта складає 0,118 м².

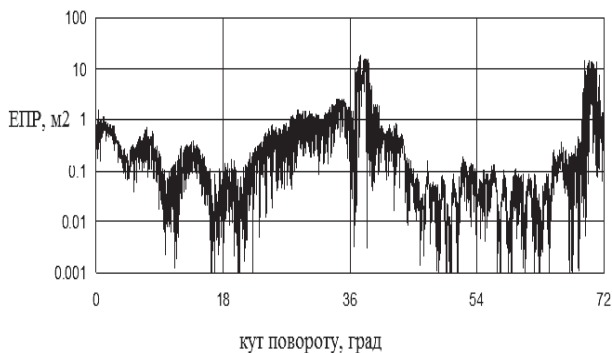


Рис. 2. ЕПР моделі гвинта Мі-8МТ (кут місця зондування 10 градусів)

На рис. 3 приведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту гвинта для кута місця зон-

дування – 3 градуси відносно площини горизонту. Середня ЕПР гвинта складає 0,73 м². Медіанна ЕПР гвинта складає 0,14 м².

Приведені дані показують, що середні ЕПР моделі гвинта знаходяться в діапазоні 0,62...0,73 м² залежно від кута місця опромінення. Нижче розглядаються дані, отримані в [10], в яких включена щільність амплітудного множника відбитого сигналу при зондуванні вертольотів з бойових ракурсів для дециметрового (1ГГц) діапазонів радіохвиль.

Параметри опромінення: кут місця зондування – 3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої півсфери), крок зміни азимута зондування 0,02 градуса, азимут відлічується в градусах від носового ракурсу (0 градусів – зондування в ніс, 180 градусів – зондування у хвіст).

На рис. 3 приведена кругова діаграма ЕПР Мі-8МТ. Значення ЕПР приведені в квадратних метрах.

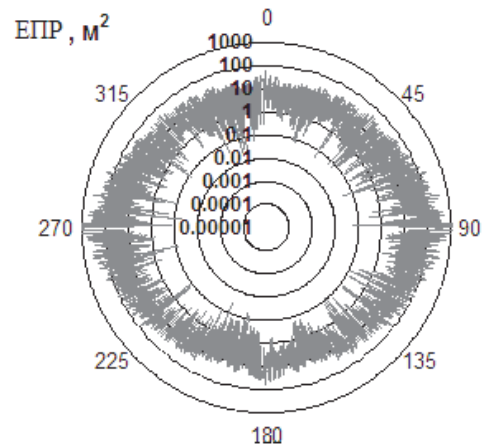


Рис. 3. Кругова діаграма ЕПР моделі Мі-8МТ

З даних наведених на рис. 3 випливає, що середня ЕПР Мі-8МТ складає 34,60 м². Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення вертольоту з ймовірністю 0,5) складає 12,75 м².

Таким чином, оцінки ЕПР вертольота з урахуванням впливу головного гвинта, свідчать про те, що в дециметровому діапазоні хвиль середня ЕПР гвинта знаходиться в діапазоні 0,62...0,7 м². У свою чергу, середня ЕПР вертольота Мі-8МТ становить 34,6 м. При цьому значенні ЕПР, яке використовується при розрахунковій дальності виявлення вертольота з ймовірністю 0,5 становить 12,75 м².

Використовуючи отримані дані оцінимо дальність виявлення вертольота над морською поверхнею у разі існування над нею тропосферного радіохвилеводу (ТРХ). Розглянемо випадок, коли ціль (вертоліт) і РЛС знаходяться всередині ТРХ як область простору, що має безмежно плоскі горизонтальні верхні і нижні стінки. Для обліку висвітлюван-

ня частини електромагнітної енергії з хвилеводу за рахунок нерівностей стінок ТРХ, наявність дрібно-масштабних неоднорідностей діелектричної проникності, горизонтальних градієнтів коефіцієнта заломлення повітря і інших чинників введемо множник втрат $V_{\text{ВВ}}$.

В рамках даної моделі ТРХ щільність потоку потужності, яка створена антеною в таких умовах, дорівнює

$$S_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{п}} \cdot G}{2\pi \cdot r \cdot H_{\text{ВВ}}} \cdot \gamma_{\text{ВВ}} \cdot V_{\text{ВВ}},$$

де $P_{\text{п}}$ – потужність передавача;

r – відстань до цілі;

$\gamma_{\text{ВВ}}$ – коефіцієнт, який показує, яка частина потужності випромінюється в хвилевід;

G – коефіцієнт посилення антени РЛС в напрямку на ціль:

$$G = G_{\text{max}} \cdot F^2(\theta, \varphi), \theta = \varepsilon_{\text{ц}}, \varphi = \beta_{\text{ц}},$$

де G_{max} – максимальний коефіцієнт посилення антени;

$F_2(\theta, \varphi)$ – діаграма спрямованості антени по потужності;

$\varepsilon_{\text{ц}}$ – кут місця цілі;

$\beta_{\text{ц}}$ – азимут цілі.

Так як розміри цілі, як правило, набагато менше відстані між стінками ТРХ, яке позначимо як $H_{\text{ВВ}}$, то її можна вважати точковою, а фронт падаючої хвилі плоским. Тоді щільність потоку потужності у приймальні антени становить

$$S_{\text{ПР}} = \frac{S_{\text{ц}} \cdot \sigma_{\text{ц}}}{2\pi \cdot r \cdot H_{\text{ВВ}}} \cdot \gamma_{\text{ВВ}} \cdot V_{\text{ВВ}}.$$

Використовуючи поняття ефективної площі антени $A = P_{\text{пр}}/S_{\text{пр}}$, отримуємо потужність сигналу на вході приймача РЛС

$$P_{\text{ПР}} = \frac{P_{\text{п}} \cdot G \cdot \sigma_{\text{ц}} \cdot A}{(2\pi)^2 \cdot r^2 \cdot H_{\text{ВВ}}^2} \cdot \gamma_{\text{ВВ}}^2 \cdot V_{\text{ВВ}}^2.$$

З огляду на то, що в свою чергу $A = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G$, при

$P_{\text{пр}} = P_{\text{прmin}}$ отримаємо вираз для максимальної дальності виявлення цілі РЛС в умовах її локації над морем при наявності ТРХ у вигляді:

$$r_{\text{ВВmax}} = \sqrt{\frac{P_{\text{п}} \cdot G^2 \cdot \sigma_{\text{ц}} \cdot \lambda^2 \cdot \gamma_{\text{ВВ}}^2 \cdot V_{\text{ВВ}}^2}{16\pi^3 \cdot H_{\text{ВВ}}^2 \cdot P_{\text{прmin}}}}. \quad (1)$$

Використовуючи співвідношення (1) стосовно РЛС 35Дб, параметри якої наведені в [12], отримуємо, що дальність виявлення вертольота з ЕПР $12,5 \text{ м}^2$ становить величину 380 км. З огляду на, що в разі локації вертольота, що здійснює політ на висоті 10 метрів над рівнем моря, а РЛС, що знахо-

диться на узбережжі, на рівні 10÷100 метрів над рівнем моря в цьому випадку дальність прямої видимості становитиме від 25 до 50 кілометрів. Використання тропосферних радіохвилеводів дозволить істотно збільшити дальність виявлення вертольотів, які здійснюють політ над морем на малих і гранично малих висотах.

Висновки

Таким чином, використання ТРХ при локації вертольотів над морем, які здійснюють політ на малих і гранично малих висотах, ЕПР яких в дециметровому діапазоні радіохвиль складає величину порядку 12 м^2 , дозволить істотно (від 7 до 10 разів у порівнянні з дальністю прямої видимості) збільшити дальність їх виявлення.

Список літератури

1. Слипченко В.Н. *Война будущего (прогностический анализ)* / В.Н. Слипченко // АВН РФ. – 200. – С. 1-28.
2. Єрмошин М.О. *Борьба в повітрі: навч. посіб.* / М.О. Єрмошин, В.М. Федаї. – Х.: ХУПС, 2004.
3. Шутенко М.В. *В войнах шестого поколения приоритет будет отдан воздушно-космическим силам, а не танкам* / М.В. Шутенко // Независимое военное обозрение. – 2004. – № 8. – С. 2-3.
4. *Досвід та основні напрями розвитку форм і способів застосування військово-повітряних сил збройних сил зарубіжних країн.* – К.: ЦНДІ ЗСУ. Центр військово-наукової інформації, 2009. – № 3 (37). – 51 с.
5. *Деякі аспекти локації маловисотних цілей за межами дальності прямої видимості над морем* / В.Д. Карлов, Є.О. Меленті, О.К. Шейгас, В.М. Петрушенко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(108). – С. 66-69.
6. *Расcеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами* / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.В. Нечитайло и др.; под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с.
7. *Климов В.Е. Аксиоматизация задачи синтеза геометрии трехмерных объектов* / В.Е. Климов, В.В. Клишин // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1983. – № 4. – С. 57-62.
8. *Штагер Е.А. Расcеяние радиоволн на телах сложной формы* / Е.А. Штагер. – М.: Радио и связь, 1986. – 186 с.
9. *Розробка методики оцінки радіолокаційних характеристик вертолітної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України* / Я.О. Белевицук, М.М. Бречка, В.О. Василец, О.І. Сухаревський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 1 (5). – С. 83-88.
10. *Розрахунок радіолокаційних характеристик моделі багатоцільового вертольоту Ми-8МТ* / Я.О. Белевицук, М.М. Бречка, В.О. Василец, О.І. Сухаревський // Системи озброєння і військова техніка – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 2(26). – С. 18-23.
11. *Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации* / Я.Д. Ширман. – М.: Сов. радио, 1970.
12. *Статистичні характеристики радіолокаційних сигналів, відбитих від місцевих предметів в умовах анома-*

Надійшла до редколегії 15.06.2017

льної рефракції / В.Л. Мисайлов, В.Д. Карлов, Г.В. Певцов, М.М. Петрушенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС. – 2011. – Вип. 1(5). – С. 69-72.

Рецензент: д-р техн. наук проф. Л.Ф. Купченко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЦИИ ВЕРТОЛЕТОВ В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН НАД МОРЕМ

В.Д. Карлов, А.Н. Артеменко, О.В. Струцинский, И.М. Пичугин

В статье на основе данных о эффективную поверхность вертолетов что отражается, полученные с учетом влияния главного винта, рассмотрена возможность увеличения дальности обнаружения вертолета в условиях его локации над морем. Особенностью рассматриваемой возможности увеличения дальности локации вертолета, является существование над морем тропосферной радиоволновода, в рамках которого проводится локация вертолета. Получение данных о эффективную поверхность рассеяния вертолета проведено на основе рассмотрения особенностей использования при их расчете высокочастотного метода.

Рассмотрены основные этапы вычислительной процедуры эффективной поверхности рассеяния вертолета, с учетом особенностей, внесенных вращательным эффектом главного винта вертолета. Обобщенные результаты статистических радиолокационных характеристик вертолетов, которые получают путем суммирования средней эффективной площади рассеяния винта с эффективной площадью рассеивания фюзеляжа, использованные при оценке дальности обнаружения вертолете, находящихся в пределах тропосферной радиоволновода над морем.

Ключевые слова: эффективная площадь рассеяния, тропосферный радиоволновод, радиолокационные характеристики, моделирование, винт, вертолет, обратное вторичное излучение.

PECULIARITIES OF HELICOPTER LOCATION IN CONDITIONS OF DISTRIBUTION OF RADIO WAVES AT THE SEA

V. Karlov, A. Artemenko, O. Strucinsky, I. Pichugin

In the article, based on the data on the effective surface of the helicopters, which is reflected, taking into account the influence of the main propeller, the possibility of increasing the range of detection of the helicopter in conditions of its location over the sea is considered. The peculiarity of the considered possibility of increasing the range of the location of the helicopter is the existence of a tropospheric radio wave over the sea, within which the helicopter location is carried out. Obtaining data on the effective surface of the helicopter scattering is carried out on the basis of considering the peculiarities of use when calculating the high-frequency method.

The main stages of the computational procedure of the effective surface of the helicopter scattering are considered, taking into account the features made by the rotational effect of the helicopter's main propeller. The generalized results of the statistical radar characteristics of the helicopters, which are obtained by summing the average effective scattering area of the screw with an effective area of the fuselage diffusion, were used to estimate the range of the helicopter's discovery, located within the tropospheric radio wave over the sea.

Keywords: effective scattering area, tropospheric radio waveguide, radar characteristics, modeling, screw, helicopter, reverse secondary radiation.