

УДК 621.396.96

О.І. Сухаревський, В.О. Василець, Я.О. Белевщук, І.В. Московченко

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

РОЗРАХУНОК РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛІ ВИСОТНОГО РОЗВІДУВАЛЬНОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ RQ-4 "GLOBAL HAWK"

Розроблена модель поверхні висотного розвідувального безпілотного літального апарату RQ-4. Наведені основні співвідношення для розрахунку ефективної поверхні розсіяння об'єкту, що розглядається. Проведені розрахунки радіолокаційних характеристик (ефективної поверхні розсіяння, некогерентної ефективної поверхні розсіяння, середніх та медіанних значень ефективної поверхні розсіяння, щільності розподілу ймовірності) RQ-4 для різних частотних діапазонів. Зроблені висновки відносно використання отриманих результатів.

Ключові слова: радіолокаційні характеристики, ефективна поверхня розсіяння.

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. RQ-4 "Global Hawk" - висотний розвідувальний безпілотний літальний апарат (БПЛА). Знаходиться на озброєнні армії США. Як об'єкт військової техніки БПЛА RQ-4 потребує знання його радіолокаційних характеристик (РЛХ). Отриманню довідкових даних про РЛХ, зокрема ефективної поверхні розсіяння (ЕПР) БПЛА RQ-4 у різних частотних діапазонах опромінення присвячена ця стаття.

Мета роботи – отримання РЛХ (ЕПР, некогерентної ЕПР (НЕПР), середніх та медіанних значень ЕПР) БПЛА RQ-4.

Основний матеріал

Основною характеристикою, яка визначає властивості об'єкту, що відбиває електромагнітні хвилі, є ЕПР [1, 2]:

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{p}^{\text{пр}} \cdot \vec{E}^{\text{пр}}(\vec{R}, \vec{r}^0)|^2}{|\vec{p} \cdot \vec{E}(\vec{R}, \vec{r}^0)|^2}, \quad (1)$$

де R – відстань між передавачем і об'єктом; $\vec{E}(\vec{R}, \vec{r}^0)$ – вектор електричної напруженості плоскої електромагнітної хвилі, що поширюється у напрямі орта – \vec{R}^0 ; $\vec{E}^{\text{пр}}(\vec{R}, \vec{r}^0)$ – вектор електричної напруженості електромагнітної хвилі, що розсіяна об'єктом у напрямі орта \vec{r}^0 ; $\vec{p}^{\text{пр}}$, \vec{p} – орти поляризації приймальної і передавальної антен відповідно. Передбачається, що зондування проводиться плоскою монохроматичною електромагнітною хвилею одиничної амплітуди.

Для розрахунку вторинного випромінювання об'єктів складної форми їх поверхня умовно розділяється на дві частини: „гладкі” ділянки і локальні ділянки розсіяння крайкового типу:

$$\vec{E}^{\text{пр}} = \vec{E}_{\text{гл}}^{\text{пр}} + \vec{E}_{\text{кр}}^{\text{пр}}. \quad (2)$$

Моделювання поверхні БПЛА RQ-4. Зовнішній вигляд БПЛА RQ-4 зображено на рис. 1. Перший політ відбувся у 1998 році.

Характеристики БПЛА RQ-4 [3]: розмах крила – 39,90 м, довжина – 14,50 м, висота – 4,70 м, площа крила – 50,00 м², маса – 6781... 14628 кг, тип двигуна – 1 ТРДД Allison AE3007H, крейсерська швидкість – 639 км/год, радіус дії – 4445 км, практична стеля – 18288 м. У відповідності з конструкцією БПЛА RQ-4 для проведення розрахунків РЛХ (зокрема, ЕПР) була побудована модель його поверхні, яка представлена на рис. 2. При моделюванні гладка частина поверхні літака була апроксимована за допомогою ділянок 50 трьохвісних еліпсоїдів. Зломи поверхні були промодельовані за допомогою 29 прямих кромкових ділянок розсіяння.



Рис. 1. БПЛА RQ-4

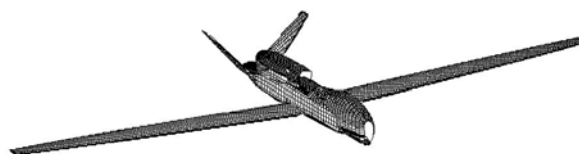


Рис. 2. Поверхня моделі БПЛА RQ-4

РЛХ моделі БПЛА RQ-4 при частоті опромінення 10ГГц (довжина хвилі 3см). Параметри опромінення: кут місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери), крок зміни азимуту зондування 0,02 градуса, азимут відраховується в градусах від носового ракур-

су (0 градусів - зондування в ніс, 180 градусів - зондування у хвіст). Горизонтальна поляризація.

На рис. 3 приведена кругова діаграма ЕПР моделі БПЛА RQ-4. На рис. 4 приведена кругова діаграма НЕПР моделі БПЛА RQ-4. Значення НЕПР є доброю та достатньо стійкою оцінкою ЕПР в певному діапазоні зондуючих частот та ракурсів опромінення цілі. Значення ЕПР наведені в квадратних метрах.

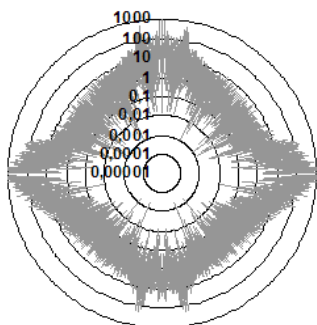


Рис. 3. Кругова діаграма ЕПР моделі БПЛА RQ-4

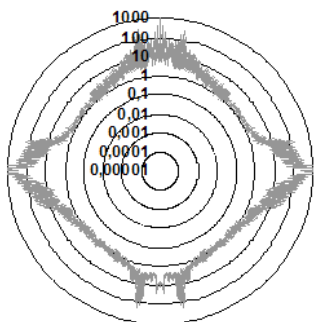


Рис. 4. Кругова діаграма НЕПР моделі БПЛА RQ-4

Середня ЕПР моделі БПЛА RQ-4 складає 44,36 м². Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає 2,16 м².

На рис. 5, 6 наведені середні та медіанні значення ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст) та для діапазонів у 20 градусів. Значення ЕПР наведені в квадратних метрах.

На рис. 7 наведена гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу для діапазону азимутів опромінення - 20...+20 градусів (бойові носові ракурси). Жирною лінією наведена функція щільності ймовірності розподілу, якою можна апроксимувати гістограму амплітудного множника.

В даному випадку гістограма амплітудного множника може бути апроксимована за допомогою логнормального закону розподілу ймовірності з функцією щільності:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \chi\sigma} \exp\left(-\frac{(\log(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

де $\mu = 1,155$; $\sigma = 0,818$.

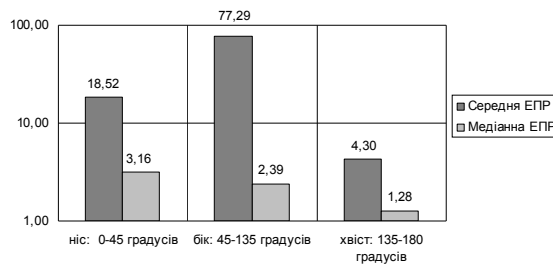


Рис. 5. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

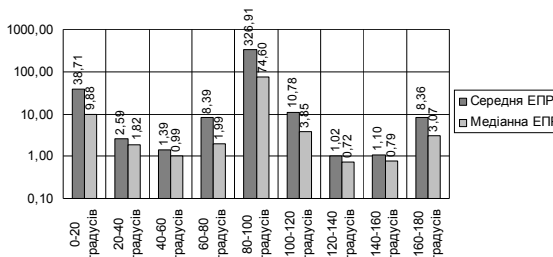


Рис. 6. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

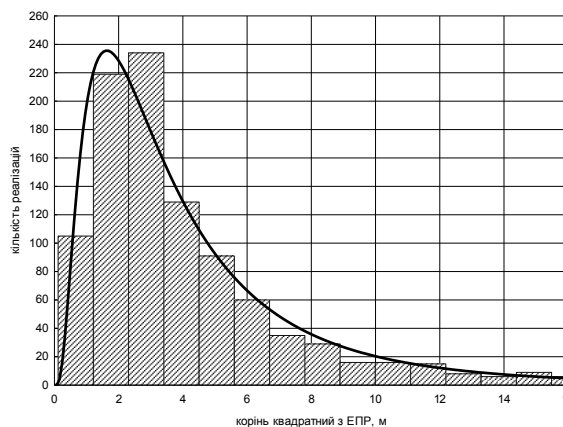


Рис. 7. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

РЛХ моделі БПЛА RQ-4 при частоті опромінення 1ГГц (довжина хвилі 30 см). Параметри опромінення: кут місця зондування -3 градуси відносно площини крила (зондування з нижньої напівсфери), крок зміни азимуту зондування 0,02 градуса, азимут відраховується в градусах від носового ракурсу (0 градусів - зондування в ніс, 180 градусів - зондування у хвіст). Горизонтальна поляризація.

На рис. 8 приведена кругова діаграма ЕПР моделі БПЛА RQ-4. На рис. 9 приведена кругова діаграма НЕПР моделі БПЛА RQ-4. Значення НЕПР є доброю та достатньо стійкою оцінкою ЕПР в певному діапазоні зондуючих частот та ракурсів опромінення цілі. Значення ЕПР наведені в квадратних метрах.

Середня ЕПР моделі БПЛА RQ-4 складає 41,35 м². Кругова медіанна ЕПР складає 1,35 м².

На рис. 10, 11 наведені середні та медіанні значення ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення та для діапазонів у 20 градусів. Значення ЕПР наведені в квадратних метрах.

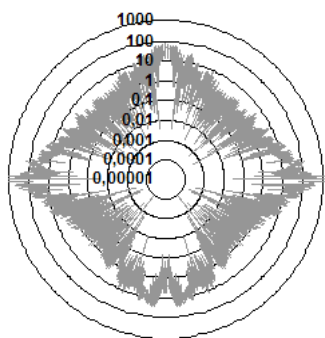


Рис. 8. Кругова діаграма ЕПР моделі БПЛА RQ-4

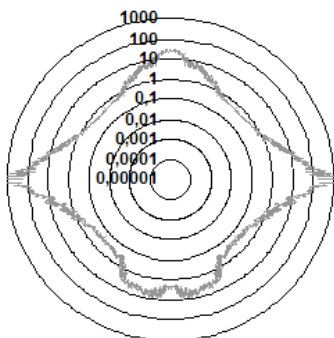


Рис. 9. Кругова діаграма НЕПР моделі БПЛА RQ-4

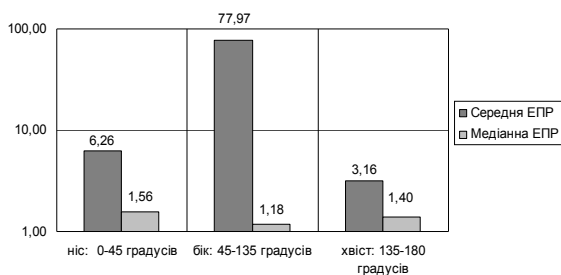


Рис. 10. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

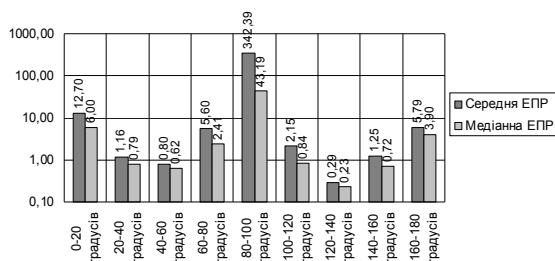


Рис. 11. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

На рис. 12 наведена гістограма амплітудного множника відбитого сигналу для діапазону азимутів опромінення $-20...+20^\circ$ (бойові носові ракурси). Жирною лінією наведена функція щільності ймовірності розподілу, якою можна апроксимувати гістограму амплітудного множника. В даному випадку гістограма амплітудного множника може бути апроксимована за допомогою гамма розподілу ймовірності з функцією щільності:

$$F(x) = \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left(-\frac{x}{b}\right) \cdot \frac{1}{b\Gamma(c)}, \quad (4)$$

де $b = 1,320$; $c = 2,271$.

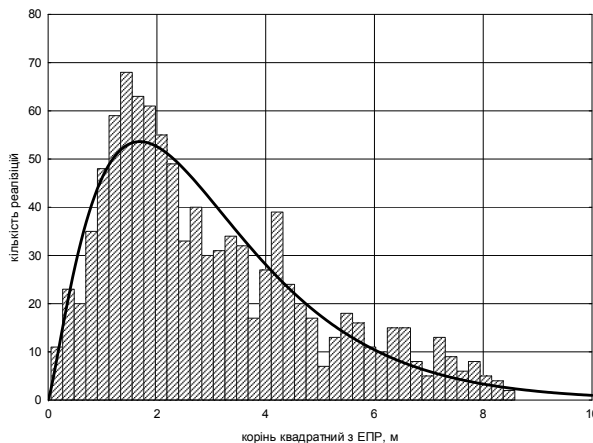


Рис. 12. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

РЛХ моделі БПЛА RQ-4 при частоті опромінення 166МГц (довжина хвилі 1,8 м). Параметри опромінення: кут місця зондування -3 градуси відносно площини крила (зондування з нижньої напівсфери), крок зміни азимуту зондування $0,02$ градуса, азимут відраховується в градусах від носового ракурсу (0 градусів - зондування в ніс, 180 градусів - зондування у хвіст). Горизонтальна поляризація.

На рис. 13 приведена кругова діаграма ЕПР моделі БПЛА RQ-4. На рис. 14 приведена кругова діаграма НЕПР моделі БПЛА RQ-4. Значення НЕПР є доброю та достатньо стійкою оцінкою ЕПР в певному діапазоні зондуючих частот та ракурсів опромінення цілі. Значення ЕПР наведені в квадр. метрах.

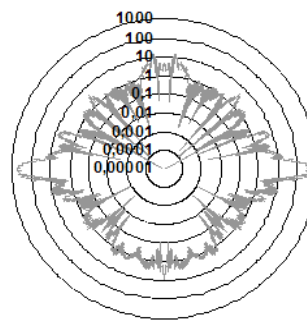


Рис. 13. Кругова діаграма ЕПР моделі БПЛА RQ-4

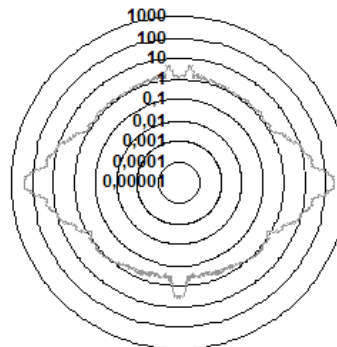


Рис. 14. Кругова діаграма НЕПР моделі БПЛА RQ-4

Середня ЕПР моделі БПЛА RQ-4 складає 12,90 м². Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає 0,86 м².

На рис. 15, 16 наведені середні та медіанні значення ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст) та для діапазонів у 20 градусів. Значення ЕПР наведені в м².

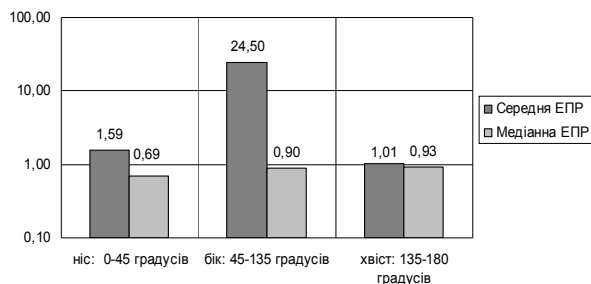


Рис. 15. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

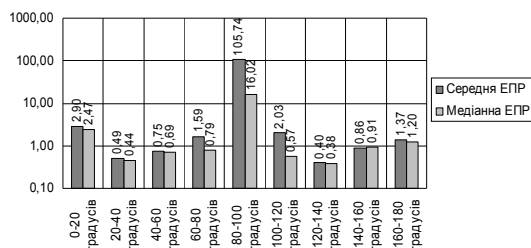


Рис. 16. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

На рис. 17 наведена гістограма амплітудного множника відбитого сигналу для діапазону азимутів опромінення – 20...+20 градусів (бойові носові ракурси). Жирною лінією наведена функція щільності ймовірності розподілу, якою можна апроксимувати гістограму амплітудного множника. В даному випадку гістограма амплітудного множника може бути апроксимована за допомогою нормального закону розподілу ймовірності з функцією щільності:

$$F(x) = 1 / (\sqrt{2\pi} \sigma) \cdot \exp\left(- (x - \mu)^2 / (2\sigma^2)\right), \quad (5)$$

де $\mu = 1,498$; $\sigma = 0,806$.

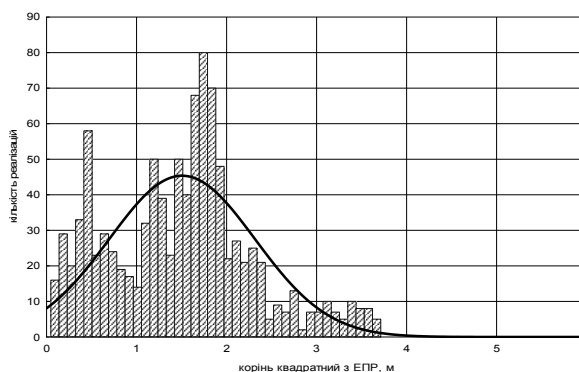


Рис. 17. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

Висновки

Наведені дані показують, що середні ЕПР моделі БПЛА RQ-4 знаходяться в діапазоні 13...44 м² в залежності від частоти зондуючого сигналу. Отримані результати можуть бути використані на етапах проектування перспективних вітчизняних систем радіолокаційного виявлення з метою виявлення повітряних об'єктів схожого типу з більшою ймовірністю.

Список літератури

1. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / Под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с.
2. Фундаментальные и прикладные задачи теории рассеяния электромагнитных волн / Ю.К. Сиренко, И.В. Сухаревский, О.И. Сухаревский, Н.П. Яшина; под ред. Ю.К. Сиренко – Х.: Крок, 2000. – 344 с.
3. RQ-4 Global Hawk [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.airwar.ru/enc/bpla/rq4.html>.

Надійшла до редколегії 14.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.П. Лещенко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РАСЧЕТ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ВЫСОТНОГО РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА RQ-4 “GLOBAL HAWK”

О.И. Сухаревский, В.А. Василец, Я.А. Белевшук

Разработана модель поверхности высотного разведывательного беспилотного летательного аппарата RQ-4. Приведены основные соотношения для расчета эффективной поверхности рассеяния рассматриваемого объекта. Проведены расчеты радиолокационных характеристик (эффективной поверхности рассеяния, некогерентной эффективной поверхности рассеяния, средних и медианных значений эффективной поверхности рассеяния, плотности распределения вероятности) RQ-4 для различных частотных диапазонов. Сделаны выводы об использовании полученных результатов.

Ключевые слова: радиолокационные характеристики, эффективная поверхность рассеяния.

CALCULATION OF RADIO-LOCATION DESCRIPTIONS OF MODEL OF HEIGHT RECONNAISSANCE PILOTLESS AIRCRAFT RQ-4 “GLOBAL HAWK”

O.I. Sukharevsky, V.A. Vasilets, Ya.A. Belevshchuk

The model of surface of height reconnaissance pilotless aircraft RQ-4 is developed. Basic correlations are resulted for the calculation of effective surface of dispersion of the examined object. The calculations of radio-location descriptions (to the effective surface of dispersion, non-coherent effective surface of dispersion, mean and median values of effective surface of dispersion, closeness of distributing of probability) of RQ-4 are conducted for different frequency ranges. Conclusions are done about drawing on the got results.

Keywords: radio-location descriptions, effective surface of dispersion.