

УДК 621.396.96

О.І. Сухаревський¹, В.О. Василець¹, Я.О. Белевщук¹, Г.Я. Криховецький²¹ Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУУ «КПІ», Київ

РОЗРАХУНОК РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛІ ТАКТИЧНОГО ВИНИЩУВАЧА F-15

Розроблена модель поверхні тактичного винищувача F-15. 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) F-15 для різних частотних діапазонів. Зроблені висновки відносно використання отриманих результатів.

Ключові слова: радіолокаційні характеристики, ефективна поверхня розсіяння.

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. F-15 - американський тактичний винищувач (ТВ). Знаходиться на озброєнні армії США. Як об'єкт військової техніки ТВ F-15 потребує знання його радіолокаційних характеристик (РЛХ). Отриманню довідкових даних про РЛХ, зокрема ефективну поверхню розсіяння (ЕПР) ТВ F-15 у різних частотних діапазонах опромінення присвячена ця стаття.

Мета роботи – отримання РЛХ (ЕПР, некогерентної ЕПР (НЕПР), середніх та медіанних значень ЕПР) ТВ F-15.

Основний матеріал

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

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

де R – відстань між передавачем і об'єктом; $\vec{E}(\vec{R}^0)$ – вектор електричної напруженості плоскої електромагнітної хвилі, що поширюється у напрямі орта – \vec{R}^0 ; $\vec{E}^{pp}(\mathbf{R}, \vec{r}^0)$ – вектор електричної напруженості електромагнітної хвилі, що розсіяна об'єктом у напрямі орта \vec{r}^0 ; \vec{p}^{pp} , \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

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

Моделювання поверхні ТВ F-15. Зовнішній вигляд ТВ F-15 зображено на рис. 1.

Перший політ відбувся у 1974 році.

Характеристики ТВ F-15 [3]: розмах крила – 13,05 м, довжина – 19,05 м, висота – 5,63 м, площа крила – 56,6 м², маса – 12970... 30850 кг, тип двигуна – 2 ТРДДФ Pratt Whitney F100-PW-100, максимальна швидкість – 2650 км/год, бойовий радіус дії – 1900 км, практична стеля – 18300 м.



Рис. 1. ТВ F-15.

У відповідності з конструкцією ТВ F-15 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 64 трьохвісних еліпсоїдів. Зломи поверхні були промодельовані за допомогою 22 прямих кромкових ділянок розсіяння.

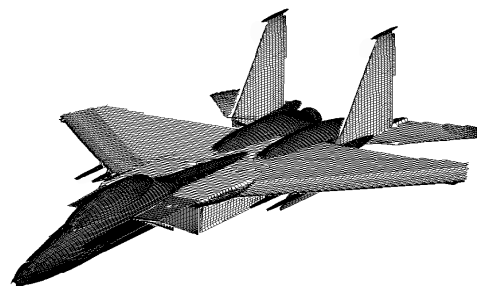


Рис. 2. Поверхня моделі ТВ F-15.

РЛХ моделі ТВ F-15 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 ракурсу (0° – зондування в ніс, 180° – зондування у хвіст).

На рис. 3 приведена кругова діаграма ЕПР моделі ТВ F-15. На рис. 4 приведена кругова діаграма НЕПР моделі ТВ F-15. Значення НЕПР є доброю та достатньо стійкою оцінкою ЕПР в певному діапазоні зондуючих частот та ракурсів опромінення цілі. Значення ЕПР наведені в квадратних метрах.

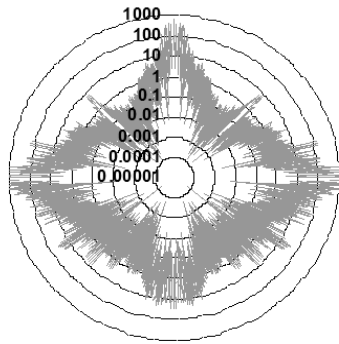


Рис. 3. Кругова діаграма ЕПР моделі ТВ F-15

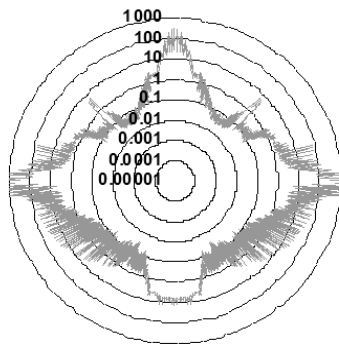


Рис. 4. Кругова діаграма НЕПР моделі ТВ F-15

Середня ЕПР моделі ТВ F-15 складає $117,63 \text{ м}^2$. Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає $0,48 \text{ м}^2$.

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 $-20 \dots +20$ 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:

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

де $\mu = 0,517$; $\sigma = 1,114$.

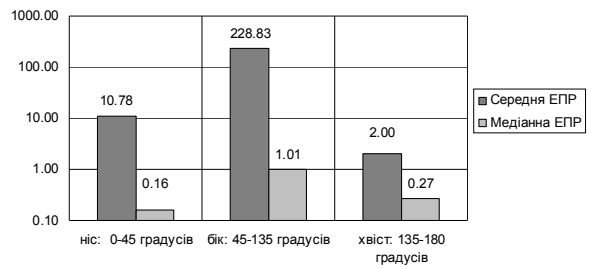


Рис. 5. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

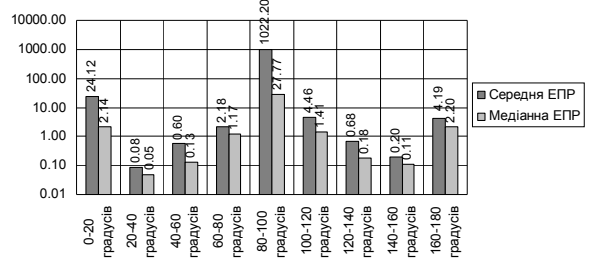


Рис. 6. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

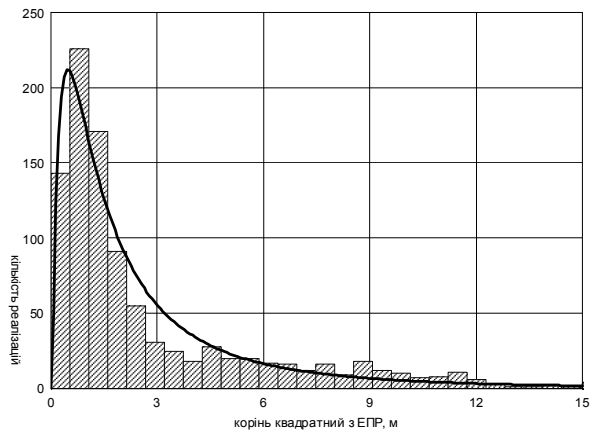


Рис. 7. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

РЛХ моделі ТВ F-15 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). На рис. 8 приведена кругова діаграма ЕПР моделі ТВ F-15. На рис. 9 приведена кругова діаграма НЕПР моделі ТВ F-15. 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 ТВ F-15 складає $85,74 \text{ м}^2$. Кругова медіанна ЕПР складає $1,38 \text{ м}^2$.

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.

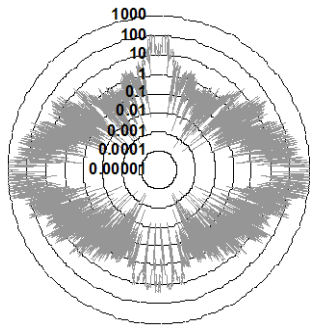


Рис. 8. Кругова діаграма ЕПР моделі ТВ F-15

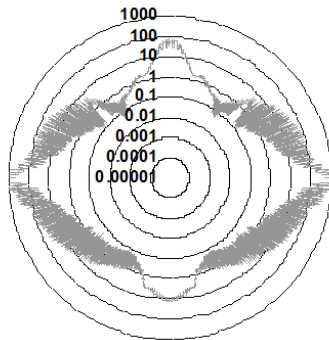


Рис. 9. Кругова діаграма НЕПР моделі ТВ F-15

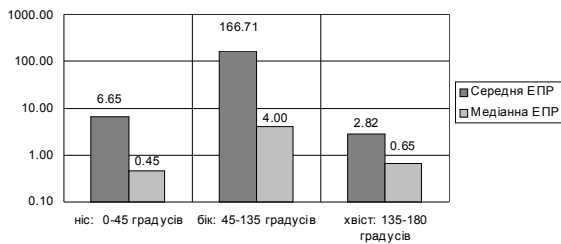


Рис. 10. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

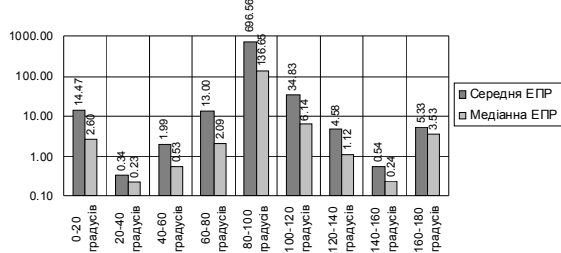


Рис. 11. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

На рис. 12 наведена гістограма амплітудного множника (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:

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

де $\mu = 0,547$; $\sigma = 1,019$.

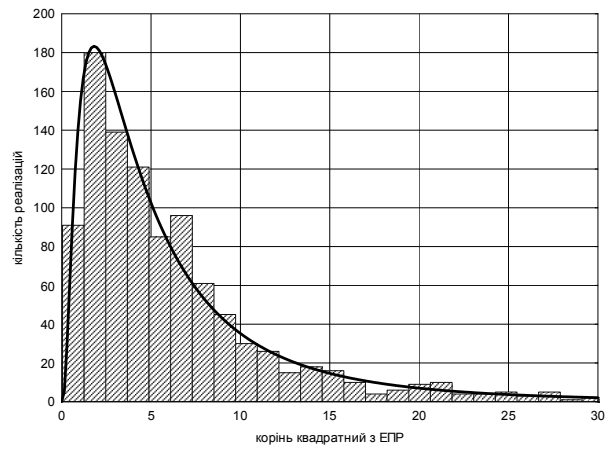


Рис. 12. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

РЛХ моделі ТВ F-15 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° – зондування в ніс, 180° – зондування у хвіст).

На рис. 13 приведена кругова діаграма ЕПР моделі ТВ F-15. На рис. 14 приведена кругова діаграма НЕПР моделі ТВ F-15. Значення НЕПР є доброю та достатньо стійкою оцінкою ЕПР в певному діапазоні зондуючих частот та ракурсів опромінення цілі. Значення ЕПР наведені в квадратних метрах.

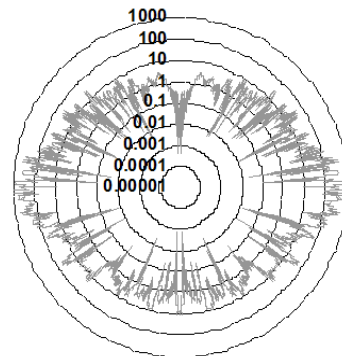


Рис. 13. Кругова діаграма ЕПР моделі ТВ F-15

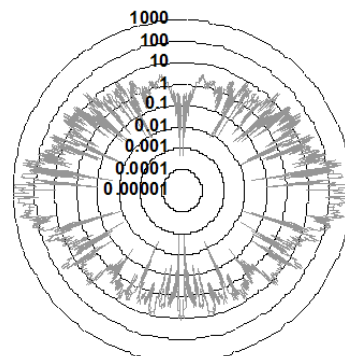


Рис. 14. Кругова діаграма НЕПР моделі ТВ F-15

Середня ЕПР моделі ТВ F-15 складає 42,07 м². Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке викорис-

товується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає 3,82 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.

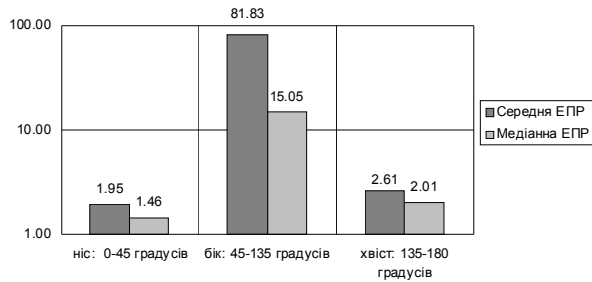


Рис. 15. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

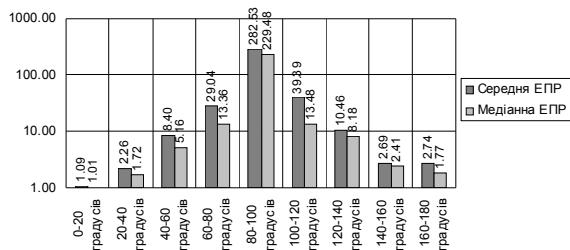


Рис. 16. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

На рис. 17 наведена гістограма амплітудного множника (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 не може бути апроксимована за допомогою будь-якого закону розподілу ймовірності, тому для моделювання відгуку літака в цих умовах необхідно користуватись даними гістограми.

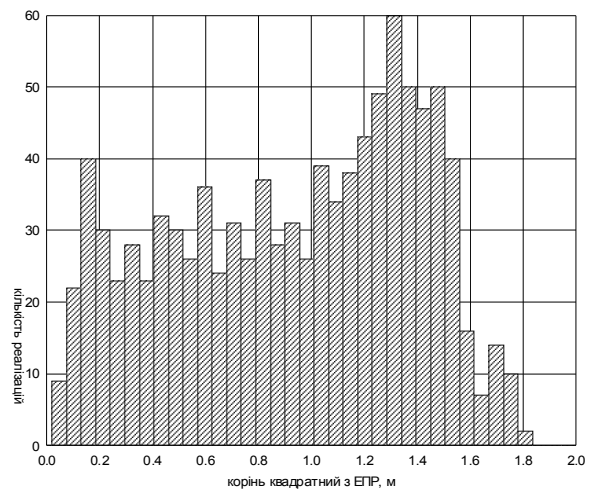


Рис. 17. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу.

Висновки

Наведені дані показують, що середні ЕПР моделі ТВ F-15 знаходяться в діапазоні 42...117 м² в залежності від частоти зонduючого сигналу. Отримані результати можуть бути використані на етапах проектування перспективних вітчизняних систем радіолокаційного виявлення з метою виявлення повітряних об'єктів схожого типу з більшою вірогідністю.

Список літератури

1. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / [О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.В. Кужобко, [и др.]; 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. F-15A/B Eagle [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://airwar.ru/enc/fighter/f15.html>.

Надійшла до редколегії 5.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук ст. наук. співр. В.К. Іванов, Інститут радіофізики та електроніки НАН України, Харків.

РАСЧЕТ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ТАКТИЧЕСКОГО ИСТРЕБИТЕЛЯ F-15

О.И. Сухаревский, В.А. Василец, Я.А. Белевщук, Г.Я. Криховецкий

Разработана модель поверхности тактического истребителя F-15. 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) F-15 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 TACTICAL DESTROYER F-15

O.I. Sukharevsky, V.A. Vasilets, Y.A. Belevshchuk, H.Ya. Krikhoveckiy

The model of surface of tactical destroyer F-15 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 F-15 are conducted for different frequency ranges. Conclusions are done about drawing on the got results.

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