

УДК 621.396.96

Я.О. Белевщук, М.М. Бречка, В.О. Василець, О.І. Сухаревський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

РОЗРАХУНОК РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛІ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВЕРТОЛЬОТУ Ми-8МТ

Розроблена модель поверхні вертольоту Ми-8МТ. Наведені основні співвідношення для розрахунку ефективної поверхні розсіяння вертольоту Ми-8МТ. Проведені розрахунки радіолокаційних характеристик (ефективної поверхні розсіяння, некогерентної ефективної поверхні розсіяння, середніх та медіанних значень ефективної поверхні розсіяння, щільності розподілу ймовірності) вертольоту Ми-8МТ для різних частотних діапазонів. Зроблені висновки відносно використання отриманих результатів.

Ключові слова: вертоліт, радіолокаційні характеристики, ефективна поверхня розсіяння

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. Багатоцільовий вертоліт Ми-8МТ складає значну частину бойової вертолітної техніки Збройних Сил України та збройних сил суміжних країн. Як об'єкт військової техніки вертоліт Ми-8МТ потребує знання його радіолокаційних характеристик (РЛХ). Отриманню довідкових даних про РЛХ, зокрема ефективну поверхню розсіяння (ЕПР) вертольоту Ми-8МТ у різних частотних діапазонах опромінення і присвячена ця стаття.

На основі раніше запропонованого методу розрахунку радіолокаційних характеристик (РЛХ) роз-

сіювання зразків авіаційної техніки [1] була розроблена методика оцінки РЛХ вертолітної техніки [2].

Мета роботи – отримання РЛХ (ЕПР, некогерентної ЕПР (НЕПР), середніх та медіанних значень ЕПР) вертольоту Ми-8МТ.

Основний матеріал

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

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

де R – відстань між передавачем і об’єктом; $\vec{E}(\vec{R}^0)$ – вектор електричної напруженості плоскої електромагнітної хвилі, що поширюється у напрямі орта $-\vec{R}^0$; $\vec{E}^{np}(R \vec{r}^0)$ – вектор електричної напруженості електромагнітної хвилі, що розсіяна об’єктом у напрямі орта \vec{r}^0 ; \vec{p}^{np} , \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 поверхню умовно розділяється на дві частини: „гладкі” ділянки і локальні ділянки розсіяння крайкового типу

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

Моделювання поверхні вертольоту Ми-8МТ.

Ми-8МТ (рис. 1) – багатоцільовий вертоліт. Перший політ відбувся у 1970 році.

Характеристики Ми-8МТ [3]: діаметр головного гвинта – 20,3 м, довжина – 18,42 м, висота – 5,34 м, маса – 21200...39700 кг, тип двигуна – 2 ГТД Klimov ТВ3-117МТ, максимальна швидкість – 250 км/г, практична стеля – 5000 м.



Рис. 1. Багатоцільовий вертоліт Ми-8МТ

У відповідності з конструкцією Ми-8МТ для проведення розрахунків РЛХ (зокрема, ЕПР) була побудована модель його поверхні, яка представлена на рис. 2. При моделюванні гладка частина поверхні вертольоту була апроксимована за допомогою ділянок 96 трьохвісних еліпсоїдів. Зломи поверхні були промодельовані за допомогою 11 прямих кромкових ділянок розсіяння.

РЛХ моделі вертольоту Ми-8МТ 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 градусів – зондування в ніс, 180 градусів – зондування у хвіст).

На рис. 3 приведена кругова діаграма ЕПР Ми-8МТ.

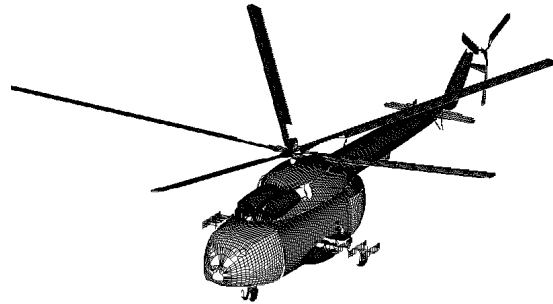


Рис. 2. Поверхня моделі багатоцільового вертольоту Ми-8МТ

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

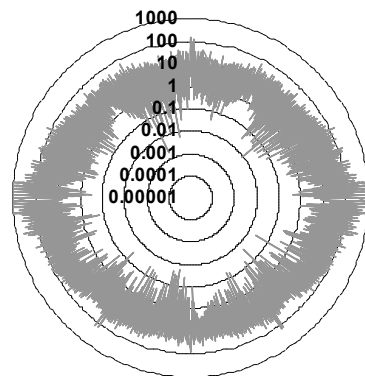


Рис. 3. Кругова діаграма ЕПР моделі Ми-8МТ

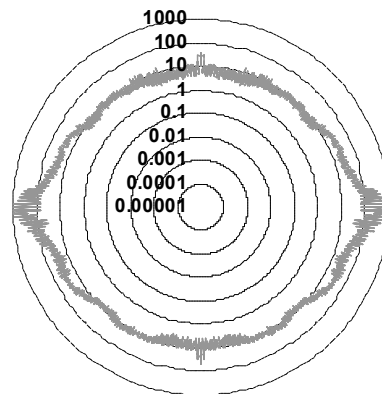


Рис. 4. Кругова діаграма НЕПР моделі Ми-8МТ

Середня ЕПР Ми-8МТ складає 37,89 м². Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає 10,31 м².

На рис. 5, 6 наведені середні та медіанні зна-

чення 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 гамма закону розподілу ймовірності з функцією щільності:

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

де $b = 0,651$, $c = 3,53$.

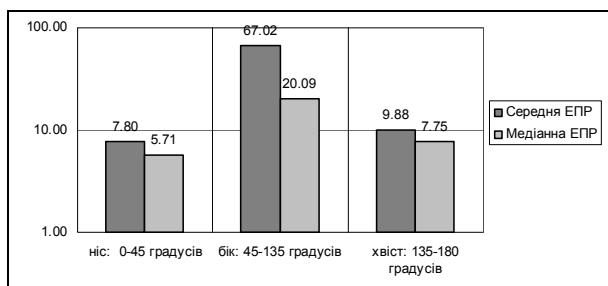


Рис. 5. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

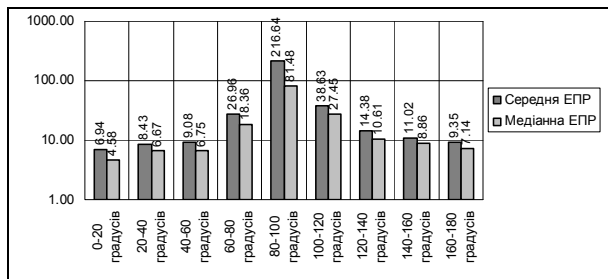


Рис. 6. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

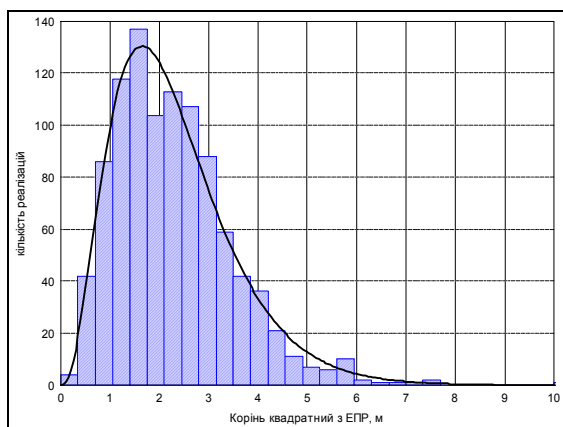


Рис. 7. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

РЛХ моделі Ми-8МТ при частоті опромінення

ня 1ГГц (довжина хвилі 30см). 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 Ми-8МТ. На рис. 9 приведена кругова діаграма НЕПР Ми-8МТ. Значення НЕПР є доброю та достатньо стійкою оцінкою ЕПР в певному діапазоні зондуючих частот та ракурсів опромінення цілі. Значення ЕПР наведені в квадратних метрах.

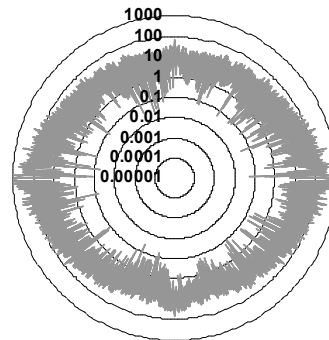


Рис. 8. Кругова діаграма ЕПР моделі Ми-8МТ

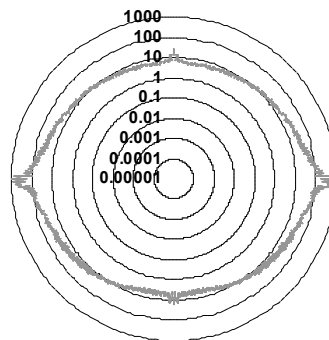


Рис. 9. Кругова діаграма НЕПР моделі Ми-8МТ

Середня ЕПР Ми-8МТ складає 34,60 м². Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає 12,75 м².

На рис. 10, 11 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.

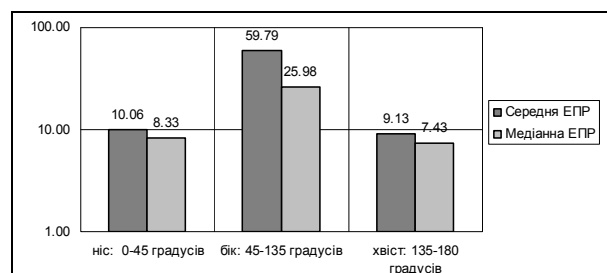


Рис. 10. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

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 вейбульовського закону розподілу ймовірності з функцією щільності:

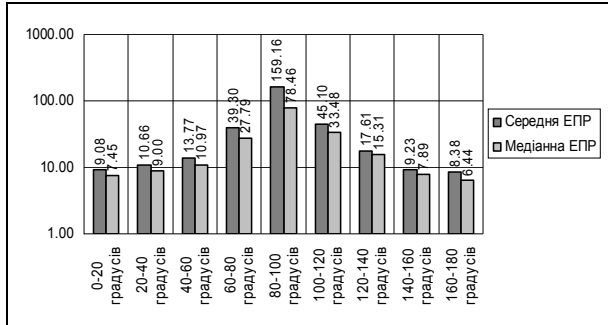


Рис. 11. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

$$F(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right), \quad (2)$$

де $b = 3,1267$, $c = 2,5466$.

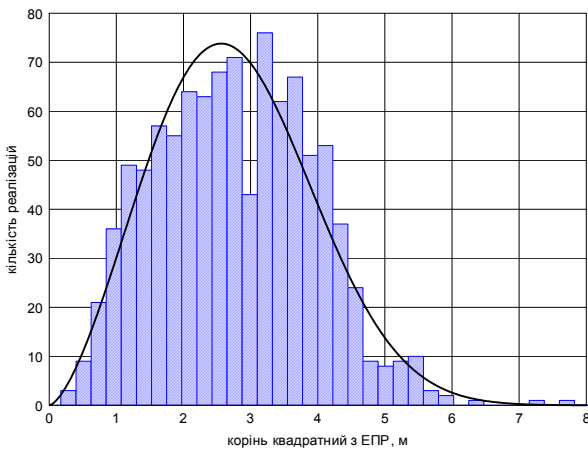


Рис. 12. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

РЛХ моделі Ми-8МТ 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).

На рис. 13 приведена кругова діаграма ЕПР Ми-8МТ. На рис. 14 приведена кругова діаграма НЕПР Ми-8МТ. Значення НЕПР є доброю та достатньо стійкою оцінкою ЕПР в певному діапазоні зондуючих частот та ракурсів опромінення цілі. Значення ЕПР наведені в квадратних метрах.

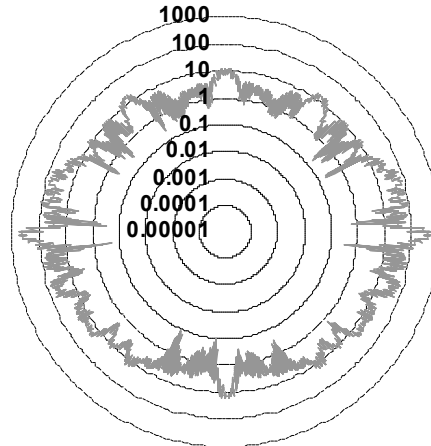


Рис. 13. Кругова діаграма ЕПР моделі Ми-8МТ

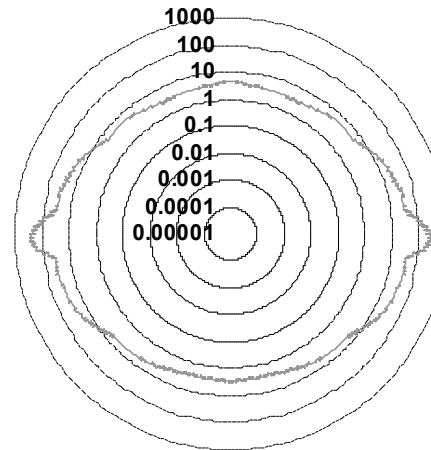


Рис. 14. Кругова діаграма НЕПР моделі Ми-8МТ

Середня ЕПР Ми-8МТ складає $19,28 \text{ м}^2$. Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає $6,50 \text{ м}^2$.

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 м^2 .

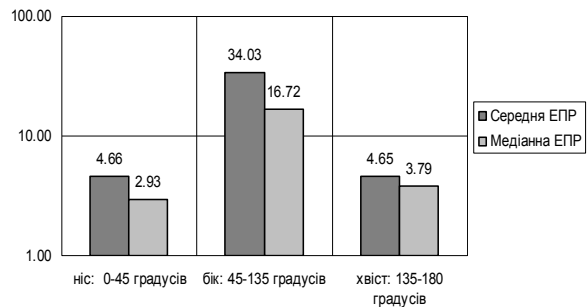


Рис. 15. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

На рис. 17 наведена гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу для діапазону азимутів опромінення -20...+20 градусів (бойові носові ракурси).

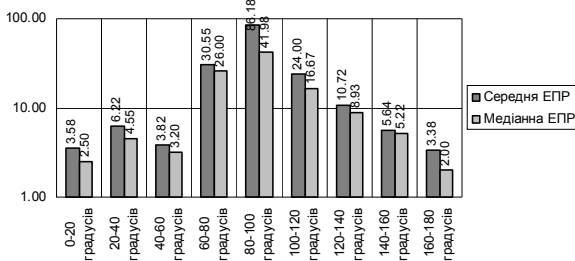


Рис. 16. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

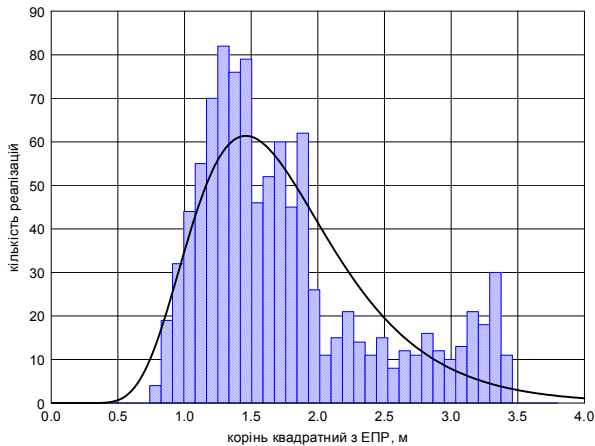


Рис. 17. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

Жирною лінією на рис. 17 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 $\mu = 0,5047$; $\sigma = 0,3556$.

Висновки

Наведенні данні показують, що середні ЕПР моделі вертольоту Ми-8МТ знаходяться в діапазоні 19...40м² в залежності від частоти зондуючого сигналу. При збільшенні довжини зондуючого сигналу середня ЕПР зменшується, а кругова діаграма ЕПР стає більш плавною. Отримані результати можуть бути використані для модернізації розглянутого об'єкту та на етапах проектування перспективних зразків військової техніки схожої конфігурації з метою зниження її радіолокаційної помітності.

Список літератури

1. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.В. Кукобко, [и др.]; под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с., ил.
2. Розробка методики оцінки радіолокаційних характеристик вертолітної техніки Повітряних Сил Збройних сил України / Я.О. Белевщук, М.М. Бречка, В.О. Василець, О.І. Сухаревський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: наук.-техн. ж. – 2011. – № 1(5). – С. 83-87.
3. Мороз С. Многоцелевой вертолет Ми-8 / С. Мороз. – М.: Экспрент, 2008. – 48 с.

Надійшла до редколегії 14.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Певцов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РАСЧЕТ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ МНОГОЦЕЛЕВОГО ВЕРТОЛЕТА Ми-8МТ

Я.А. Белевщук, М.М. Бречка, В.А. Василец, О.И. Сухаревский

Разработана модель поверхности вертолета Ми-8МТ. Приведены основные соотношения для расчета эффективной поверхности рассеяния вертолета Ми-8МТ. Проведены расчеты радиолокационных характеристик (эффективной поверхности рассеяния, некогерентной эффективной поверхности рассеяния, средних и медианных значений эффективной поверхности рассеяния, плотности распределения вероятности) вертолета Ми-8МТ для различных частотных диапазонов. Сделаны выводы об использовании полученных результатов.

Ключевые слова: эффективная поверхность рассеяния, вертолет, радиолокационные характеристики.

RADAR CHARACTERISTIC CALCULATION FOR MODEL OF HELICOPTER Mi-8MT

Y.A. Belevshchuk, M.M. Brechka, V.A. Vasilets, O.I. Sukharevsky

A model of the surface for the helicopter Mi-8MT has been developed. The basic relations for the calculation of the radar cross section of the helicopter Mi-8MT is carried out. Calculations of the radar characteristics (the radar cross section, incoherent radar cross section, mean and median values of the radar cross section, the probability density) of the helicopter Mi-8MT is obtained for various frequency bands. The conclusions about using the results are done.

Keywords: radar cross section, helicopter, radar characteristics.