

І.Є. Ряполов, Я.О. Белевщук, Р.В. Лященко, А.В. Поляков

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗСІЯННЯ ПАЛУБНОГО ВИНИЩУВАЧА-БОМБАРДУВАЛЬНИКА F/A-18A HORNET В САНТИМЕТРОВОМУ, ДЕЦИМЕТРОВОМУ ТА МЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНАХ ДОВЖИН ХВИЛЬ

У статті обґрунтована актуальність дослідження характеристик радіолокаційного розсіяння сучасних повітряних об'єктів за допомогою методів математичних моделювання. Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки дозволяє вирішити це завдання і реалізовувати достатньо складні методи математичного моделювання вторинного випромінювання повітряних об'єктів з необхідною точністю для використання на практиці. Проведено аналіз існуючих методів оцінювання вторинного випромінювання повітряних об'єктів, які дозволяють досягти поставленої мети – отримання характеристик радіолокаційного розсіяння палубного винищувача-бомбардувальника F/A-18A Hornet. Рядом переваг у цьому випадку володіють методи, засновані на інтегральних уявленнях класичної електродинаміки та їх короткохвильових асимптотиках. Розроблена модель поверхні літака F/A-18A Hornet та наведені основні розрахункові співвідношення, на основі яких розроблено метод чисельного моделювання. Наводяться результати розрахунку характеристик радіолокаційного розсіяння (ефективної поверхні розсіяння, "некогерентної" ефективної поверхні розсіяння, середніх та медіанних значень ефективної поверхні розсіяння, законів розподілу амплітудного множника відбитого сигналу) літака F/A-18A Hornet для різних частот опромінення зондувального сигналу. Отримані результати можуть бути використані на етапі модернізації існуючих і проектування перспективних вітчизняних радіолокаційних систем з метою оцінювання можливостей різних конструктивних варіантів систем, що розглядаються, щодо виявлення, супроводження та розпізнавання повітряних об'єктів даного типу. Крім того, використання результатів, які отримуються за допомогою розробленого методу математичного моделювання, дозволить оптимізувати конструкцію перспективних вітчизняних літальних апаратів з метою зменшення їх радіолокаційної помітності. Розроблений метод дозволяє проводити чисельне моделювання радіолокаційних характеристик повітряних об'єктів різних типів при заданих поляризаціях, просторових і часово-частотних параметрах зондувальних сигналів в інтересах розв'язання широкого кола прикладних задач радіолокації.

**Ключові слова:** аеродинамічний повітряний об'єкт, вторинне випромінювання, ефективна поверхня розсіяння, метод математичного моделювання, радіолокаційні характеристики.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Наявність даних про характеристики вторинного випромінювання літального апарату дозволяє вирішувати декілька практичних задач радіолокації. З одного боку, проводити комплекс заходів щодо формування позиційного району підрозділів, що забезпечують розвідувальною та бойовою інформацією частини і підрозділи зенітних ракетних військ. А з другого боку, можна отримувати інформацію, яка дозволяє виявити ділянки поверхні об'єкту, що вносять домінуючий внесок в зворотне розсіювання об'єкта в цілому. Це надасть можливість оцінювати ефективність передбачуваних заходів з оптимізації радіолокаційних характеристик як всього об'єкта, так і окремих його ділянок.

Існує два найбільш відомих способу отримання радіолокаційної інформації про повітряні об'єкти: натурні (фізичні) експерименти та математичне моделювання вторинного випромінювання повітряних об'єктів.

Кожен із запропонованих способів пов'язаний з певними труднощами. Так, при проведенні натурних

(фізичних) експериментів необхідні колосальні матеріальні, організаційні та часові витрати. Основні труднощі при математичному моделюванні вторинного випромінювання моделей повітряних об'єктів пов'язані з точністю розробки самої моделі, правильністю її математичного опису та інше.

Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки дозволяє реалізовувати достатньо складні методи математичного моделювання вторинного випромінювання повітряних об'єктів з необхідною точністю для використання на практиці.

Таким чином, розрахунок характеристик розсіювання сучасних повітряних об'єктів є актуальним науковим завданням.

**Аналіз літератури.** Отримання характеристик розсіювання повітряних об'єктів було проведено на основі раніше створених високочастотних методів розрахунку [1–2], проте загальним їх недоліком є відсутність комплексного врахування всієї сукупності домінуючих чинників.

В [3–5] запропонований метод розрахунку ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) антеною сис-

теми з носовим діелектричним обтічником. Також, в [3–5] представлені методи, які дозволяють розраховувати характеристики розсіювання об'єктів складної геометричної форми у вільному просторі з неідеально відбивною поверхнею.

В [6] запропоновано метод, який дозволяє враховувати перевідбиття електромагнітної хвилі (EMX) між елементами об'єкту складної форми.

Методи [3–6] засновані на інтегральних уявленнях класичної електродинаміки (які можуть бути отримані за допомогою леми Лоренца) і короткохвильових асимптоти та дозволяють отримувати результати характеристик розсіювання повітряних об'єктів з достатньою точністю для практичного застосування.

**Метою статті є** отримання радіолокаційних характеристик (ЕПР, "некогерентної" ЕПР, середніх та медіанних значень ЕПР, законів розподілу амплітудного множника відбитого сигналу) на прикладі палубного винищувача-бомбардувальника F/A-18A Hornet із застосуванням методів, що представлені в [3–6].

### Виклад основного матеріалу

F/A-18A Hornet – палубний винищувач-бомбардувальник (рис. 1), призначений як для вирішення завдань завойовування переваги у повітрі, так і суто ударних завдань.



Рис. 1. Палубний винищувач-бомбардувальник F/A-18A Hornet

Володіючи високим бойовим потенціалом, в 1990 році Hornet активно брали участь в операції "Буря в пустелі". Після виходу резолюції ООН про іракську агресію проти Кувейту Hornet стартували з американських авіаносців. Перші їх ракетно-бомбові удари, вироблені спільно з літаками "Стелс" F-117A, в першу чергу, були спрямовані на об'єкти протиповітряної оборони (ППО), що розташовані в східних і північних районах Іраку [7].

Використовуючи свої високі швидкісні і маневрені якості, а також можливість польотів на малій висоті з бойовим навантаженням, завданням Hornet були атаки складів з озброєнням і військовим майном іракської армії. Крім того, були знищені радіолокаційні станції ППО на південній околиці Багдада. Кілька ви-

льотів групи Hornet здійснили проти скупчень іракської бронетехніки на території Кувейту [7].

### 1. Опис об'єкту моделювання та його модель поверхні

За своєю конструкцією літак F/A-18 – моноплан нормальної схеми з середньо розташованим вільнонесучим крилом, з двома двигунами в хвостовій частині і двокілевим оперенням. Фюзеляж – полумонококової конструкції. Однією з важливих особливостей Hornet є подовжені напливи, що йдуть від передньої кромки крила вздовж фюзеляжу в напрямку повітрязабірників. Напливи, що мають значну площу – 5,5 м<sup>2</sup>, набагато збільшують підйомну силу при великих кутах атаки [7].

Окремі характеристики F/A-18A Hornet наступні: розмах крила – 11,43 м, довжина – 17,07 м, висота – 4,66 м, маса – 10640...22320 кг, тип двигуна – 2 турбореактивних двоконтурних двигуна з форсажною камерою General Electric F404-GE-400, максимальна швидкість – 1915 км/год, бойовий радіус дії – 750...1065 км, практична стеля – 15240 м [7].

У відповідності з конструкцією F/A-18A Hornet для проведення розрахунків радіолокаційних характеристик (РЛХ) (зокрема, ЕПР) була побудована модель його поверхні.

Модель поверхні винищувача-бомбардувальника F/A-18A Hornet представлена на рис. 2.

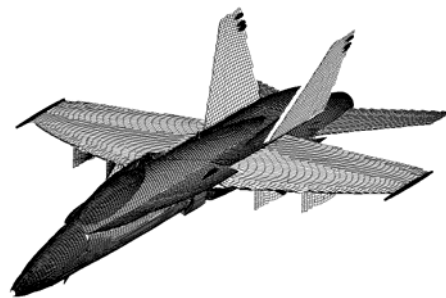


Рис. 2. Модель поверхні палубного винищувача-бомбардувальника F/A-18A Hornet

Моделювання поверхні проводилось у відповідності з методикою, яка приведена в [3–6]. Ця методика передбачає розбиття поверхонь, що розсіюють та елементів об'єкту на дві групи: гладка частина поверхні і кромкові локальні ділянки розсіювання, а також на антенну систему, що розташована під носовим діелектричним обтічником. Гладка частина поверхні літака була апроксимована за допомогою ділянок 49 трьохвісних еліпсоїдів. Зломи поверхні були промодельовані за допомогою 14 прямих локальних кромкових ділянок розсіяння.

### 2. Основні розрахункові співвідношення

Основною характеристикою, яка визначає властивості об'єкту, що відбиває електромагнітні хвилі, є ЕПР [3–6; 8]:

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

де  $R$  – відстань від об'єкта до точки спостереження;  $\vec{p}^{mp}, \vec{p}^0$  – орти поляризації приймальної і передавальної антен відповідно;  $\vec{E}_s$  – комплексна амплітуда поля, що розсіяно в напрямку точки прийому сигналу;  $\vec{E}^0$  – комплексна амплітуда поля плоскої монохроматичної ЕМХ, що зондує об'єкт.

Передбачається, що зондування проводиться плоскою монохроматичною ЕМХ одиничної амплітуди з ортом поляризації  $\vec{p}^0$  і напрямком поширення, що характеризується ортом  $\vec{R}^0$ , яка падає на поверхню об'єкта, розташованого в вільному просторі (рис. 2):

$$\vec{E}^0(\vec{x}) = \vec{p}^0 \exp(jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})); \quad (2)$$

$$\vec{H}^0(\vec{x}) = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (\vec{R}^0 \times \vec{p}^0) \exp(jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})), \quad (3)$$

де  $k_0$  – хвильове число у вільному просторі ( $k_0 = 2\pi/\lambda$ ;  $\lambda$  – довжина падаючої монохроматичної хвилі);  $\epsilon_0, \mu_0$  – абсолютні діелектрична і магнітна проникності вакууму;  $\vec{x}$  – радіус-вектор точки на поверхні об'єкта. Поле, розсіяне об'єктом в напрямку  $\vec{r}^0$ , за допомогою леми Лоренца може бути представлено у вигляді [3–6]:

$$\vec{p}^{mp} \cdot \vec{E}_s = -jk_0 \frac{\exp(jk_0 R)}{4\pi R} \cdot \int_S \left( \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} (\vec{p} \cdot \vec{H}^\perp) + (\vec{p} \times \vec{r}^0) \cdot \vec{E}^\perp \right) \exp(-jk_0(\vec{r}^0 \cdot \vec{x})) dS, \quad (4)$$

де  $\vec{E}^\perp = \vec{n} \times \vec{E}$ ,  $\vec{H}^\perp = \vec{n} \times \vec{H}$ ,  $(\vec{E}, \vec{H})$  – повне поле;  $\vec{n}$  – орт зовнішньої нормалі до поверхні інтегрування  $S$ , що охоплює даний об'єкт.

Поверхня  $S$  вибрана так, щоб вона збігалася з поверхнею об'єкта всюди за винятком околиць зламів, де вона проходить по тороїдальній поверхні кругового перетину, "натягнутого" на злам.

Поверхню можна представляється у вигляді суми  $S = S_1 + S_0$ , де  $S_1$  збігається з гладкими ділянками поверхні, а  $S_0$  – сукупність тороїдальних околиць кромки. Таким чином, інтеграл в (4) являє собою суму інтегралів по поверхнях  $S_1$  і  $S_0$ .

Поле, розсіяне гладкою частиною поверхні об'єкта  $S_1$  в напрямку  $\vec{r}^0$ , може бути представлено у вигляді частини виразу (4):

$$\vec{p}^{mp} \cdot \vec{E}_{s_1} = -jk_0 \frac{\exp(jk_0 R)}{4\pi R} \cdot \int_{S_1} \left( \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} (\vec{p} \cdot \vec{H}^\perp) + (\vec{p} \times \vec{r}^0) \cdot \vec{E}^\perp \right) \exp(-jk_0(\vec{r}^0 \cdot \vec{x})) dS. \quad (5)$$

Вираз для поля, розсіяного кромочними локальними ділянками розсіювання можна представити у вигляді:

$$\vec{p}^{mp} \cdot \vec{E}_{s_0} = -jk_0 \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{\exp(jk_0 R)}{4\pi R} (\vec{p} \cdot \vec{F}(\vec{r}^0)), \quad (6)$$

де

$$\vec{F}(\vec{r}^0) = \int_{S_0} \left[ \vec{H}^\perp - \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (\vec{E}^\perp \times \vec{r}^0) \right] \exp(-jk_0(\vec{r}^0 \cdot \vec{x})) dS.$$

Крім того, було оцінено вклад в зальне розсіяне поле, який оснований на перевідбитті ЕМХ між антенною системою і носовим діелектричним обтічником та між ідеально провідними елементами поверхні літака.

### 3. Радіолокаційні характеристики моделі палубного винищувача-бомбардувальника F/A-18A Hornet при різних частотах опромінення (довжинах хвиль)

Розрахунок характеристик розсіювання палубного винищувача-бомбардувальника (ВБ) F/A-18A Hornet проводився при наступних параметрах:

- 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);

- поляризація – горизонтальна.

Наводяться наступні РЛХ: кругові діаграми ЕПР і "некогерентної" ЕПР; середні і медіанні значення миттєвої ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс (0-45 градусів), бік (45-135 градусів), хвіст (135-180 градусів)), а також середні і медіанні значення миттєвої ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення.

Під медіанним значенням ЕПР в конкретному секторі кутів опромінення розуміється деяке не випадкове значення ЕПР, ймовірність перевищення і не перевищення якого в заданому секторі кутів становить 0,5.

Під "некогерентною" ЕПР (НЕПР) розуміється сума ЕПР окремих ділянок поверхні, яка не враховує взаємних фазових набігів.

Наведені гістограми амплітудного множника відбитого сигналу для різних частот опромінення зондуючого сигналу.

Всі перераховані характеристики наведені для випадку сумісного прийому.

#### 3.1 РЛХ моделі ВБ F/A-18A Hornet при частоті опромінення 10ГГц (довжина хвилі 3см)

На рис. 3 приведена кругова діаграма ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet.

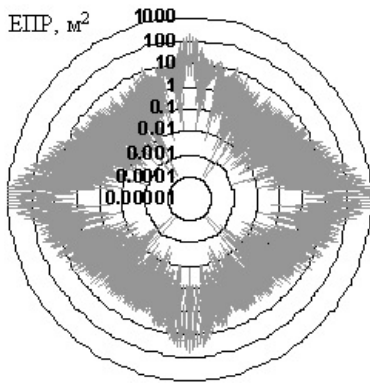


Рис. 3. Кругова діаграма ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet

На рис. 4 приведена кругова діаграма НЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet.

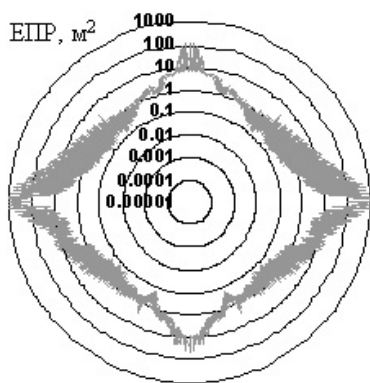


Рис. 4. Кругова діаграма НЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet

Середня ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet складає 27,36 м<sup>2</sup>. Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає 2,14 м<sup>2</sup>.

На рис. 5 наведені середні та медіанні значення ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст).

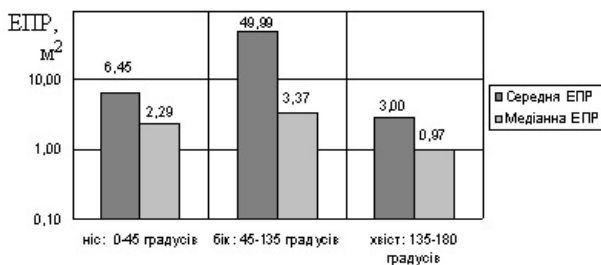


Рис. 5. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

На рис. 6 наведені середні та медіанні значення ЕПР для діапазонів у 20 градусів.

На рис. 7 наведена гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу для діапазону азимутів опромінення -20...+20 градусів (бойові носові ракурси).

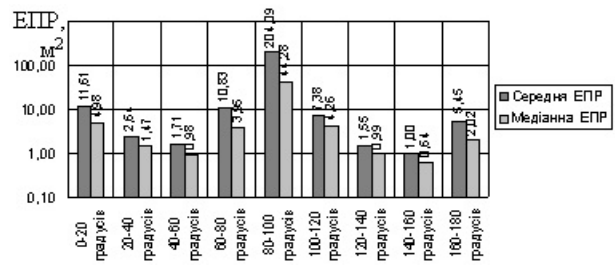


Рис. 6. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

Жирною лінією наведена функція щільності ймовірності розподілу, якою можна апроксимувати гістограму амплітудного множника. В даному випадку гістограма амплітудного множника може бути апроксимована за допомогою екстремального закону розподілу ймовірності з функцією щільності:

$$p(x) = \frac{1}{b} \exp\left(-\frac{(x-a)}{b}\right) \exp\left(-\exp\left(-\frac{(x-a)}{b}\right)\right), \quad (7)$$

де  $a = 1,891$ ;  $b = 1,274$ .

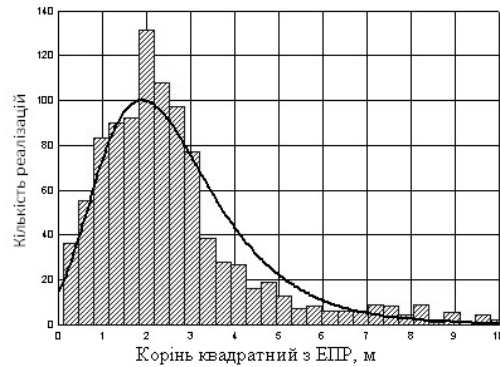


Рис. 7. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

### 3.2 РЛХ моделі ВБ F/A-18A Hornet при частоті опромінення 1ГГц (довжина хвилі 30 см)

На рис. 8 приведена кругова діаграма ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet.

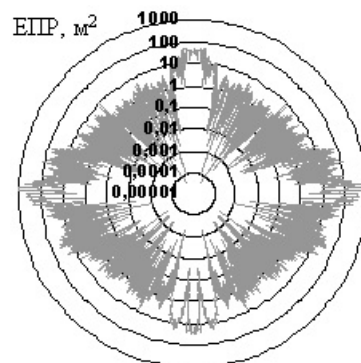


Рис. 8. Кругова діаграма ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet

На рис. 9 приведена кругова діаграма НЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet.

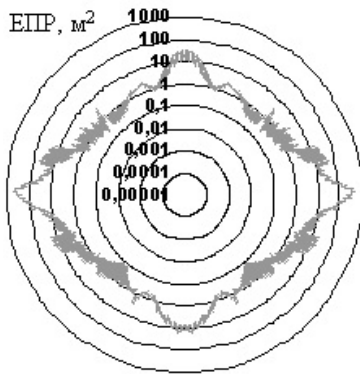


Рис. 9. Кругова діаграма НЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet

Середня ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet складає 15,94 м<sup>2</sup>; кругова медіанна ЕПР складає 1,11 м<sup>2</sup>.

На рис. 10 наведені середні та медіанні значення ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст).

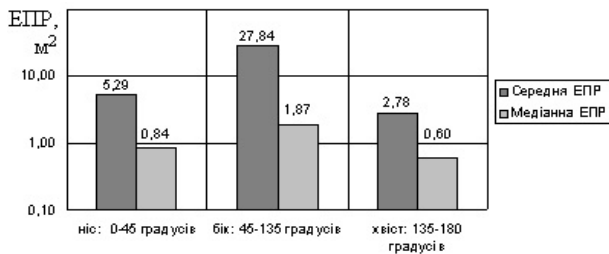


Рис. 10. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

На рис. 11 наведені середні та медіанні значення ЕПР для діапазонів у 20 градусів.

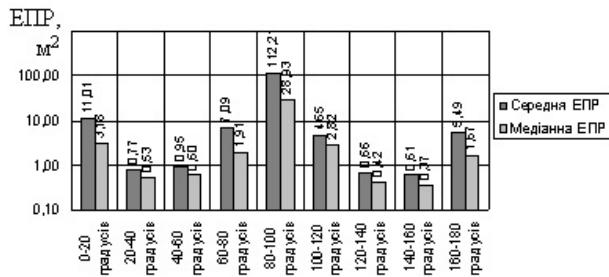


Рис. 11. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

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 експоненціального закону розподілу ймовірності з функцією щільності:

$$p(x) = \lambda \exp(-\lambda x), \quad (8)$$

де  $\lambda = 2,561$ .

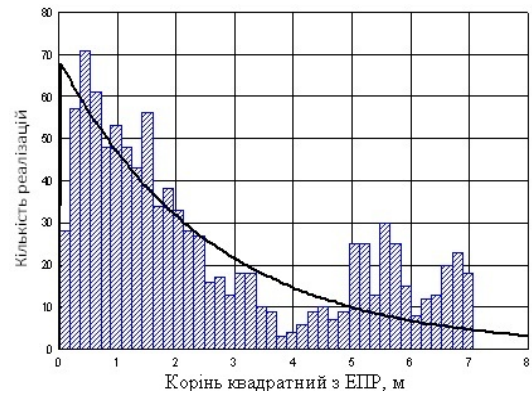


Рис. 12. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

### 3.3 РЛХ моделі ВБ F/A-18A Hornet при частоті опромінення 166 МГц (довжина хвилі 1,8 м)

На рис. 13 приведена кругова діаграма ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet.

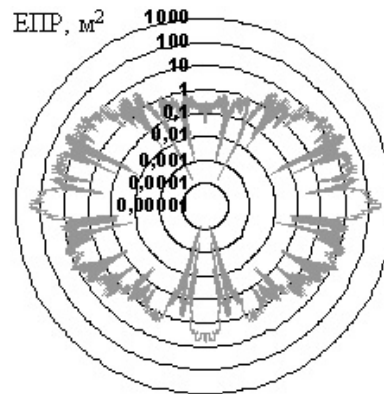


Рис. 13. Кругова діаграма ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet

На рис. 14 приведена кругова діаграма НЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet.

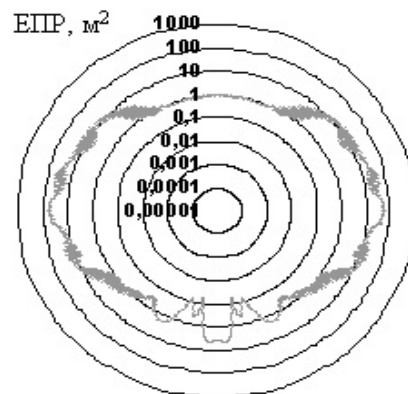


Рис. 14. Кругова діаграма НЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet

Середня ЕПР моделі ВБ F/A-18A Hornet складає 10,78 м<sup>2</sup>; кругова медіанна ЕПР складає 1,95 м<sup>2</sup>.

На рис. 15 наведені середні та медіанні значення ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст).

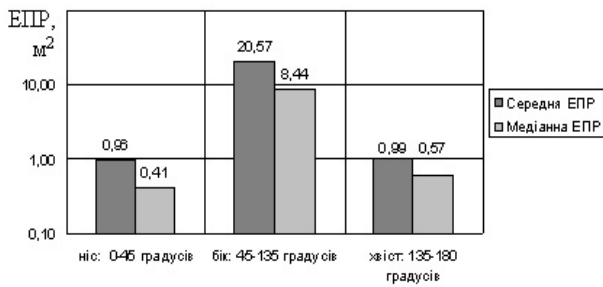


Рис. 15. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

На рис. 16 наведені середні та медіанні значення ЕПР для діапазонів у 20 градусів.

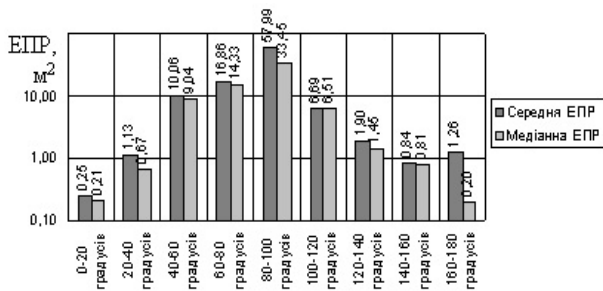


Рис. 16. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

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 може бути апроксимована за допомогою нормального закону розподілу ймовірності з функцією щільності:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (9)$$

де  $\mu = 0,474$ ;  $\sigma = 0,165$ .

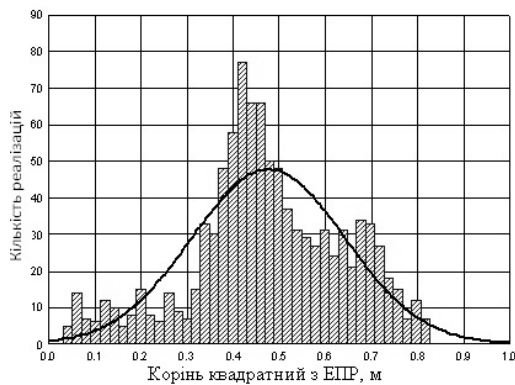


Рис. 17. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

Локальний максимум при довжинах хвиль 3 м та 30 см (азимут опромінення  $\pm 7^\circ$  від носового ра-

курсу) обумовлений розсіюванням на антенній системі, що розташована під діелектричним обтічником, а також повітрязабірником літака.

При опроміненні збоку маємо локальний максимум, який обумовлений відбиттям від бічної поверхні фюзеляжу літака.

Слід зазначити, що при зменшенні довжини хвилі зондуючого сигналу загальна ЕПР літака зростає.

## Висновки

У статті проведений аналіз методів розрахунку характеристик розсіювання повітряних об'єктів та визначена необхідність отримання апріорної інформації про їх радіолокаційні характеристики.

Побудована геометрична модель палубного винищувача-бомбардувальника F/A-18A Hornet. Під час моделювання проводилось попереднє розбиття об'єкту на гладкі та кромочні ділянки поверхні, а також окремо було промодельована антена системи, що розташована під носовим діелектричним обтічником.

На основі розроблених науковою групою професора Сухаревського О.І. високочастотних методів оцінювання вторинного випромінювання аеродинамічних повітряних об'єктів, отримані результати моделювання характеристик вторинного випромінювання моделі літака F/A-18A Hornet при зондуванні із нижньої на півсфери (-3 град) для частот радіолокаційних засобів зенітних ракетних і радіотехнічних військ та проведено їх аналіз.

Наведені дані показують, що середні ЕПР зазначеної моделі літака знаходяться в діапазоні 10...27 м² в залежності від частоти зондуючого сигналу. Наведені гістограми амплітудного множника відбитого сигналу для різних частот опромінення зондуючого сигналу, які можуть дозволити виконати ряд практичних завдань, пов'язаних із імітаційним моделюванням повітряної обстановки.

Отримані результати можуть бути використані на етапі модернізації існуючих і проектування перспективних вітчизняних радіолокаційних систем з метою оцінювання можливостей різних конструктивних варіантів систем, що розглядаються, щодо виявлення, супроводження та розпізнавання повітряних об'єктів даного типу.

Крім того використання результатів, які отримуються за допомогою розробленого методу математичного моделювання, дозволяють оптимізувати конструкцію перспективних вітчизняних літальних апаратів з метою зменшення їх радіолокаційної помітності. Розроблений метод дозволяє проводити чисельне моделювання радіолокаційних характеристик повітряних об'єктів різних типів при заданих поляризації, просторових і часово-частотних параметрах зондувальних сигналів в інтересах розв'язання широкого кола прикладних задач радіолокації.

## Список літератури

1. Мартынов Н.А. Оценка характеристик рассеяния электромагнитных волн на сложных телах, частично покрытых радиопоглощающими материалами / Н.А. Мартынов, Г.Н. Мироненко // Радиотехника. – 1996. – № 6. – С. 102-105.

2. Юссеф Н.Н. Эффективная площадь отражения сложных радиолокационных целей / Н.Н. Юссеф // ТИИЭР. – 1989. – Т. 77, № 5. – С. 100-112.

3. 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. – 468с., ил.

4. Ultrawideband Radar. Application and Design / edited by J. D. Taylor. – Boca Raton, London, New York: SRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 520 p.

5. Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects / S.V. Nechitaylo, V.M. Orlenko, O.I. Sukharevsky, V.A. Vasilets; edited by O.I. Sukharevsky. –

Boca Raton, USA: SRC Press Taylor & Francis Group, 2014. – 334 p.

6. Scattering characteristics computation method for corner reflectors in arbitrary illumination conditions / O.I. Sukharevsky, V.A. Vasilets, S.V. Nechitaylo // International Conference on Antenna Theory and Techniques, 21-24 April, 2015, Kharkiv, Ukraine. – P. 222-224.

7. F/A-18A Hornet: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://airwar.ru/enc/fighter/f18.html>.

8. 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. – Харьков: Крок, 2000. – 344 с.

Надійшла до редколегії 12.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук ст. наук співробітник В.О. Василець, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕЯНИЯ ПАЛУБНОГО ИСТРЕБИТЕЛЯ-БОМБАРДИРОВЩИКА F/A-18A HORNET В САНТИМЕТРОВОМ, ДЕЦИМЕТРОВОМ И МЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

И.Е. Ряполов, Я.А. Белешчук, Р.В. Лященко, А.В. Поляков

В статье обоснована актуальность исследования характеристик радиолокационного рассеяния современных воздушных объектов с помощью методов математического моделирования. Проведен анализ существующих методов оценки вторичного излучения воздушных объектов, которые позволяют достичь поставленной цели – получение характеристик радиолокационного рассеяния палубного истребителя-бомбардировщика F/A-18A Hornet. Приводятся результаты расчета характеристик радиолокационного рассеяния (эффективной поверхности рассеяния, "некогерентной" эффективной поверхности рассеяния, средних и медианных значений эффективной поверхности рассеяния, законов распределения амплитудного множителя отраженного сигнала) самолета F/A-18A Hornet для различных частот облучения зондирующего сигнала. Полученные результаты могут быть использованы на этапе модернизации и проектирования перспективных отечественных радиолокационных систем для оценки возможностей различных рассматриваемых конструктивных вариантов систем обнаружения, сопровождения и распознавания воздушных объектов данного типа. Кроме того, использование результатов, получаемых с помощью разработанного метода математического моделирования, позволят оптимизировать конструкцию перспективных отечественных летательных аппаратов с целью уменьшения их радиолокационной заметности.

**Ключевые слова:** аэродинамический воздушный объект, вторичное излучение, эффективная поверхность рассеяния, метод математического моделирования, радиолокационные характеристики.

### RADAR SCATTERING CHARACTERISTICS OF F/A-18A HORNET SEABORNE FIGHTER-BOMBER IN SHF, UHF AND VHF BAND

I. Ryapolov, Y. Belevshchuk, R. Lyaschenko, A. Polyakov

Relevance of the research of radar scattering characteristics of modern aerial objects using mathematical modeling substantiated in the paper. The current state of computer technology development allows solving aforementioned problem and implementation of rather complex algorithms for modeling secondary radiation of air objects with the required accuracy for use in practice. Analysis of existing methods for estimating secondary radiation of air objects, which allow achieving the goal connected with obtaining radar scattering characteristics of F/A-18A Hornet seaborne fighter-bomber was conducted. Methods based on integral representations of classical electrodynamics and their short-wave asymptotic behavior, have a number of advantages in this case. Model of aircraft F/A-18A Hornet surface was constructed, and basic mathematical relations are given, on the base of which the method of numerical simulation was developed. Results of calculation of radar scattering characteristics (radar cross section, "non-coherent" radar cross section, mean and median values of radar cross section, distribution laws of the reflected signal amplitude) of F/A-18A Hornet for various sounding frequencies are given. Obtained results can be used at the stage of modernization and design of advanced radar systems to estimate the capabilities of different design variants of considered systems for detection, tracking and non-cooperative identification of such type aerial objects. In order to use the results, obtained using the proposed method of mathematical modeling, will optimize the design of advanced aircraft to reduce their radar visibility. More over, the results, obtained using the proposed method of mathematical modeling, allow optimizing the design of advanced aircrafts to reduce their radar visibility. The developed method allows obtaining radar characteristics of various types of air objects for a given polarization, spatial and time-frequency parameters of the sounding signals in the interests of solving a wide range of radar problems.

**Keywords:** aerodynamic air facility, secondary radiation, the effective surface scattering method of mathematical modeling, radar characteristics.