

І.Є. Ряполов, Я.О. Белевщук, В.Ю. Колотілов, М.В. Качан, І.Р. Медінець

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗСІЯННЯ МОДЕЛІ ВИНИЩУВАЧА-БОМБАРДУВАЛЬНИКА Су-17М3 В САНТИМЕТРОВОМУ ТА ДЕЦИМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ

У статті обґрунтована актуальність дослідження характеристик радіолокаційного розсіяння сучасних повітряних об'єктів за допомогою методів математичних моделювання. Проведено аналіз існуючих методів оцінювання вторинного випромінювання повітряних об'єктів, які дозволяють досягти поставленої мети – отримання характеристик радіолокаційного розсіяння моделі винищувача-бомбардувальника Су-17М3. Рядом переваг у цьому випадку володіють методи, засновані на інтегральних уявленнях класичної електродинаміки та їх короткохвильових асимптотиках. Розроблена модель поверхні літака Су-17М3. 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 Су-17М3 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 розвідувальну та бойову інформацію 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 моде-

люванні 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; 8–12], проте загальним їх недоліком є відсутність комплексного врахування всієї сукупності домінуючих чинників.

В [3–5] запропонований метод розрахунку ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) антеною системи 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) в сантиметровому та дециметровому діапазоні довжин хвиль на прикладі винищувача-бомбардувальника Су-17М3 із застосуванням методів, що представлені в [3–6].

Виклад основного матеріалу

Су-17М3 – винищувач-бомбардувальник (рис. 1), призначений для знищення цілей, що візуально виявляються на полі бою і є подальшим розвитком літаків Су-17, Су-17М2.

Су-17 брали участь в різних збройних конфліктах і регіональних війнах. Найбільш суворим випробуванням для них стала війна в Афганістані, де вони зарекомендували себе надійною і живучою машиною. Не дивлячись на роботу в умовах високих температур і гірничо-пустинної місцевості, не завжди високу якість палива і бойові пошкодження, двигун АЛ-21Ф-3 отримав високу оцінку з точки зору надійності. Паливні баки з поліуретановою губкою виключали вибух при попаданні в них куль і осколків.



Рис. 1. Винищувач-бомбардувальник Су-17М3

Встановлені знизу фюзеляжу броньовані плити скоротили втрати машин від ураження коробки приводів, генератора, паливного насоса та елементів гідросистеми. Система АСО-2В з тепловими пастками дозволяла у багатьох випадках успішно вирішувати завдання в умовах використання противником переносних зенітно-ракетних комплексів.

У Афганістані Су-17М3 активно використовувалися для контролю результатів бомбоштурмових ударів і розвідки противника за допомогою фото, радіотехнічної, інфрачервоної та телевізійної апаратури. В розпал війни Су-17М3 за надійністю випереджали штурмовики і бойові вертольоти – напра-

цювання на відмову складало 145 годин.

За весь час серійного виробництва Су-17, яке продовжувалося 20 років, було виготовлено 2820 машин різних модифікацій. На теперішній час Су-17 в різних модифікаціях (Су-22 в експортному варіанті), продовжують стояти на озброєнні Польщі, В'єтнаму, Лівії, Сирії, Ємену, Анголи [7].

1. Опис об'єкту моделювання та його модель поверхні

Літак Су-17М3 має класичну аеродинамічну компоновку з геометрією крила, що змінюється.

Окремі характеристики Су-17М3 наступні: розмах крила – 10,02...13,68 м, довжина – 19,02 м, висота – 5,13 м, площа крила – 34,45...38,49 м², маса – 11800...19630 кг, тип двигуна – одно контурний одновальний турбореактивний двигун з форсажною камерою третього покоління АЛ-21Ф-3, максимальна швидкість – 2230 км/год., практична дальність – 1520...1550 км, практична стеля – 14000 м [7].

У відповідності з конструкцією Су-17М3 для проведення розрахунків радіолокаційних характеристик (РЛХ) (зокрема, ЕПР) була побудована модель його поверхні.

Модель поверхні винищувача-бомбардувальника Су-17М3 представлена на рис. 2.

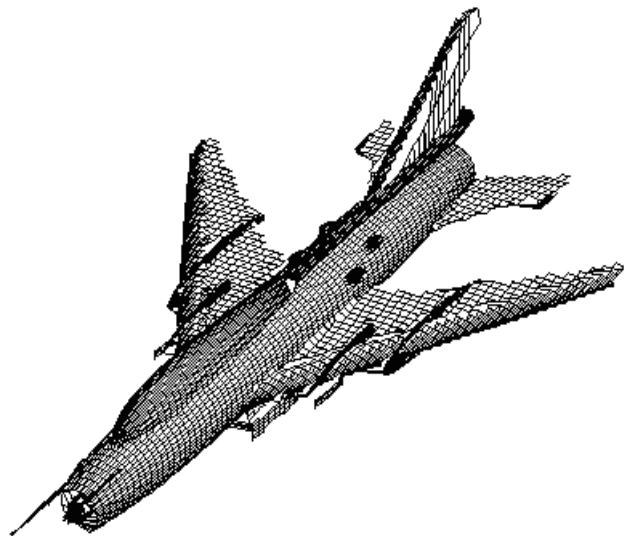


Рис. 2. Модель поверхні винищувача-бомбардувальника Су-17М3

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 крайкові локальні ділянки розсіювання, а також на антенну систему, що розташована під носовим діелектричним обтічником. Гладка частина поверхні літака була апроксимована за допомогою ділянок 48 трьохвісних еліпсоїдів. Зломи поверхні були промодельовані за допомогою 23 прямих локальних кромочних ділянок розсіяння.

2. Радіолокаційні характеристики моделі винищувача-бомбардувальника Су-17М3 при різних частотах опромінення

Розрахунок характеристик розсіювання винищувача-бомбардувальника (ВБ) Су-17М3 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.

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 зонduючого сигналу.

Всі перераховані характеристики наведені для випадку сумісного прийому.

2.1 РЛХ моделі ВБ Су-17М3 при частоті опромінення 10ГГц (довжина хвилі 3см)

На рис. 3 приведена кругова діаграма ЕПР моделі ВБ Су-17М3. На рис. 4 приведена кругова діаграма НЕПР моделі ВБ Су-17М3.

Середня ЕПР моделі ВБ Су-17М3 складає 39,35 м². Кругова медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення літака з ймовірністю 0,5) складає 0,85 м².

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

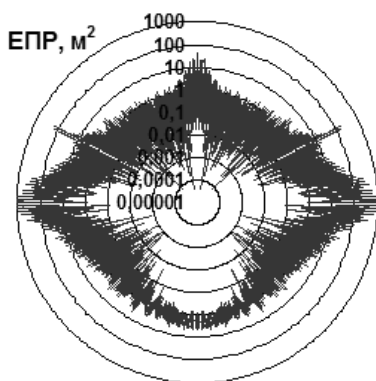


Рис. 3. Кругова діаграма ЕПР моделі ВБ Су-17М3

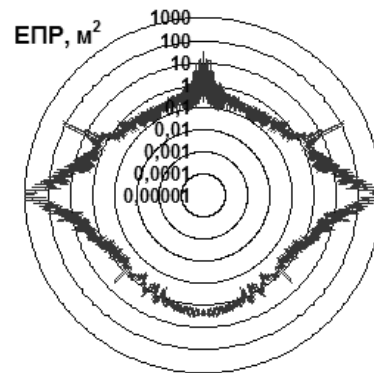


Рис. 4. Кругова діаграма НЕПР моделі ВБ Су-17М3

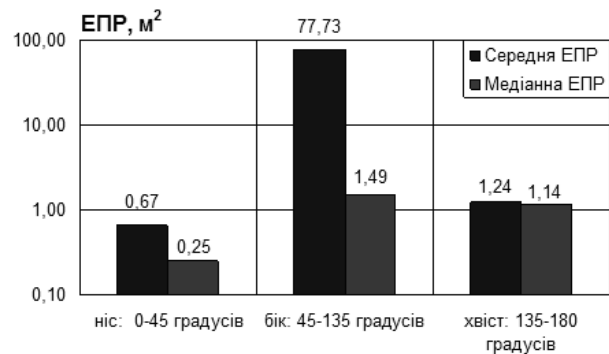


Рис. 5. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

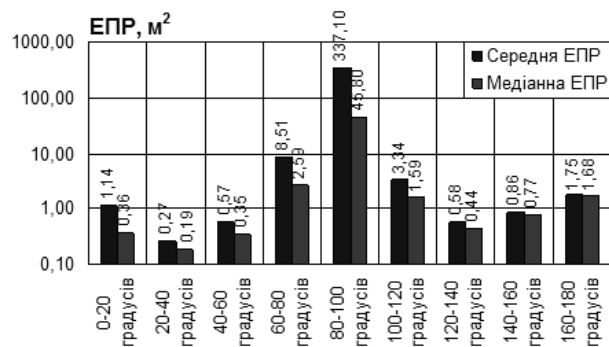


Рис. 6. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

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:

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

де $\mu = -0,534$; $\sigma = 0,792$.

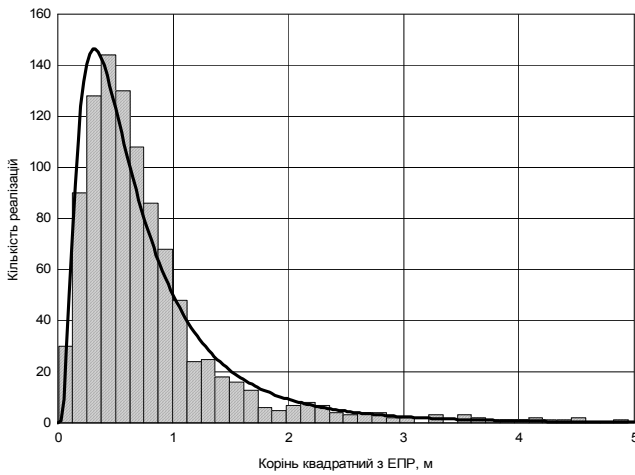


Рис. 7. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

2.2 РЛХ моделі ВБ Су-17М3 при частоті опромінення 1ГГц (довжина хвилі 30 см)

На рис. 8 приведена кругова діаграма ЕПР моделі ВБ Су-17М3.

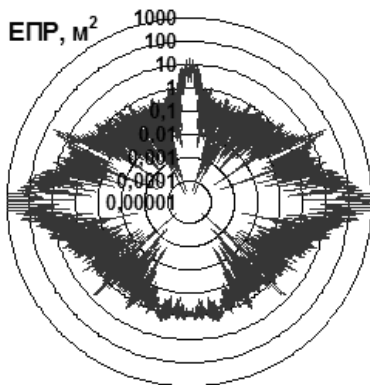


Рис. 8. Кругова діаграма ЕПР моделі ВБ Су-17М3

На рис. 9 приведена кругова діаграма НЕПР моделі ВБ Су-17М3.

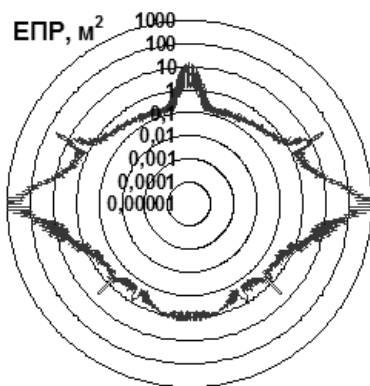


Рис. 9. Кругова діаграма НЕПР моделі ВБ Су-17М3

Середня ЕПР моделі ВБ Су-17М3 складає $28,98 \text{ м}^2$; кругова медіанна ЕПР складає $0,54 \text{ м}^2$.

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

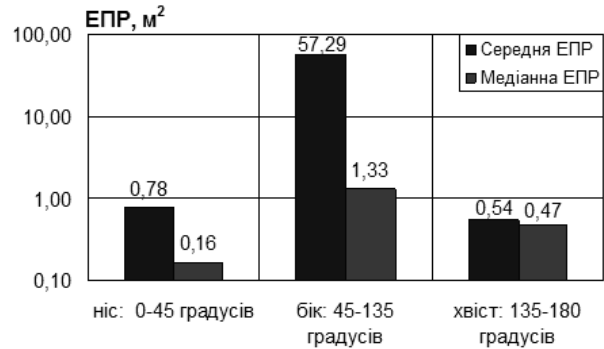


Рис. 10. Середні та медіанні ЕПР для головних діапазонів азимутів опромінення (ніс, бік, хвіст)

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

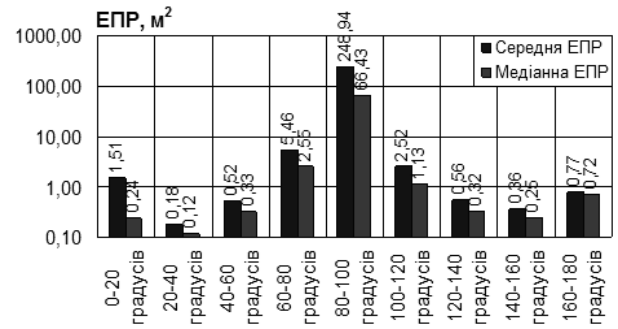


Рис. 11. Середні та медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення

На рис. 12 наведена гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу для діапазону азимутів опромінення $-20...+20$ градусів (бойові носові ракурси).

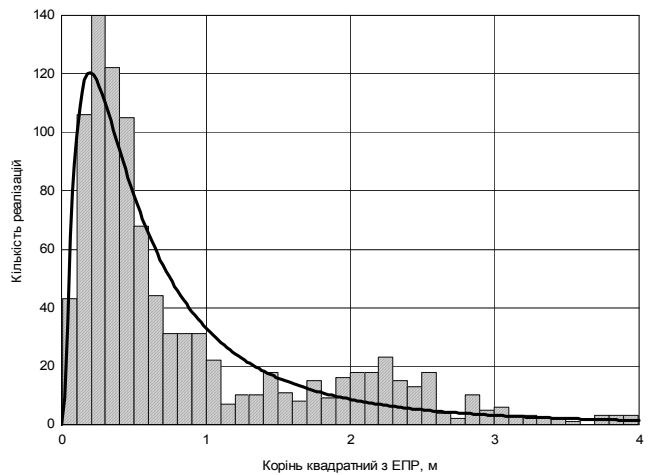


Рис. 12. Гістограма амплітудного множника (квадратного кореня з ЕПР) відбитого сигналу

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:

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

де $\mu = -0,605$; $\sigma = 1,010$.

Висновки

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

Побудована геометрична модель винищувача-бомбардувальника Су-17МЗ. Під час моделювання проводилось попереднє розбиття об'єкту на гладкі та кромочні ділянки поверхні.

На основі високочастотних методів оцінювання вторинного випромінювання аеродинамічних повітряних об'єктів, отримані результати моделювання характеристик вторинного випромінювання моделі літака Су-17МЗ при зондуванні із нижньої на півсфери (–3 град) для частот окремих радіолокаційних засобів зенітних ракетних і радіотехнічних військ та проведено їх аналіз.

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 граду-

сів), хвіст (135–180 градусів)), а також середні і медіанні значення миттєвої ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів опромінення.

Результати, які представлені, показують, що середні ЕПР зазначеної моделі літака знаходяться в діапазоні від 28 м² до 40 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, дозволять 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. Юсеф Н.Н. Эффективная площадь отражения сложных радиолокационных целей / Н.Н. Юсеф // 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. – 468 с., 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. Sukhoi Su-17. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.airvectors.net/avsu17_2.html#m3.
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.
9. Ряполов І.С. Характеристики розсіяння палубного винищувача-бомбардувальника F/A-18A Hornet в сантиметровому, дециметровому та метровому діапазонах довжин хвиль / І.С. Ряполов, Я.О. Белешчук, Р.В. Лященко, А.В. Поляков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1(26). – С. 85-91.
10. Ряполов І.Е. Высокочастотный метод расчета рассеяния вторичного излучения диэлектрических частей модели беспилотного летательного аппарата / И.Е. Ряполов, В.А. Василец, О.И. Сухаревский // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 2(118). – С. 58-62.
11. Ryapolov I. Radar cross-section calculation for unmanned aerial vehicle / I. Ryapolov, O. Sukharevsky, V. Vasilets // Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET-2014): 2014 International Conference, 26-28 August, 2014: Proceedings. – Dnepropetrovsk, 2014. – P. 258-261.

12. Бейліс Л.В. Radar reconnaissance capabilities estimation of low-sized low-altitude aircrafts by means of radiotechnical troops surveillance radars / Л.В. Бейліс, В.Ф. Зюкін, С.В. Кукобко // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2017. – Вип. 1(147). – С. 6-8.

References

1. Martynov, N.A. and Myronenko, H.N. (1996), "Otsenka kharakterystyk rasseianiya elektromahnytnykh voln na slozhnykh telakh, chastychno pokrytykh radyopohloshchayushchymy materialamy" [Evaluation of the characteristics of the scattering of electromagnetic waves on complex bodies partially covered with radio absorbing materials], *Radiotechnics*, No. 6, pp. 102-105.
2. Yussef, N.N. (1989), "Effektyvnaia ploshchad otrazheniya slozhnykh radyolokatsyonnykh tselei" [Effective area of reflection of complex radar targets], *Proceedings of the IEEE*, Vol. 77, No. 5, pp. 110-112.
3. Sukharevsky, O.I., Vasilets, V.A., Kukobko, S.V., Nechitaylo, S.V. and Sazonov, A.Z. (2009), "Rasseyaniye elektromagnitnykh voln vozduzhnyimi i nazemnyimi radiolokatsionnyimi ob'ektami" [The Electromagnetic Wave Scattering By Aerial And Ground Radar Objects], Kharkiv University of Air Forces, Kharkiv, 468 p.
4. Taylor, J.D. (2012), *Ultrawideband Radar. Application and Design*, SRC Press Taylor & Francis Group, London, New York, 520 p.
5. Nechitaylo, S.V., Orlenko, V.M., Sukharevsky, O.I. and Vasilets, V.A. (2014), *Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects*, SRC Press Taylor & Francis Group, USA, 334 p.
6. Sukharevsky, O.I., Vasilets, V.A. and Nechitaylo, S.V. (2015), Scattering characteristics computation method for corner reflectors in arbitrary illumination conditions, *International Conference on Antenna Theory and Techniques*, 21-24 April, Kharkiv, pp. 222-224.
7. "Sukhoi Su-17" [Sukhoi Su-17], http://www.airvectors.net/avs_u17_2.html#m3.
8. Sirenko, Yu.K., Suharevsky, I.V., Suharevsky, O.I. and Yashina, N.P. (2000), "Fundamentalnyie i prikladnyie zadachi teorii rasseyaniya elektromagnitnykh voln" [Fundamental and applied problems of the theory of scattering of electromagnetic waves], Krok, Kharkiv, 344 p.
9. Ryapolov, I.Ye., Belevshchuk, Ya.O., Lyaschenko, R.V. and Polyakov, A.V. (2017), "Harakteristiki rozsiyannya palubnogo vinischuvacha-bombarduvalnika F/A-18A Hornet v santimetrovomu, detsimetrovomu ta metrovomu diapazonah dovzhin hvil" [Radar scattering characteristics of F/A-18A Hornet seaborne fighter-bomber in SHF, UHF and VHF band], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(26), pp. 85-91.
10. Ryapolov, I.Ye., Vasilets, V.A. and Suharevsky, O.I. (2014), "Vyisokochastotnyiy metod rascheta rasseyaniya vtorignogo izlucheniya dielektricheskikh chastey modeli bespilotnogo letatel'nogo apparata" [High-frequency method for calculating the scattering of secondary radiation dielectric parts of the model UAV], *Information Processing Systems*, Vol. 2(118), pp. 58-62.
11. Ryapolov, I.Ye., Sukharevsky, O.I. and Vasilets, V.A. (2014), Radar cross-section calculation for unmanned aerial vehicle, *Mathematical Methods in Elec-tromagnetic Theory (MMET-2014)*, 26-28 August, Dnepropetrovsk, pp. 258-261.
12. Beylls, L.V., Zyukin, V.F. and Kukobko, S.V. (2017), Radar reconnaissance capabilities estimation of low-sized low-altitude aircrafts by means of radiotechnical troops surveillance radars, *Information Processing Systems*, Vol. 1(117), pp. 6-8.

Надійшла до редколегії 14.02.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

Відомості про авторів

Ряполов Іван Євгенович

кандидат технічних наук
науковий співробітник
Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3139-1644>
e-mail: i.ryapolov.79@gmail.com

Белевщук Ярослав Олександрович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1736-851X>
e-mail: belevyar@gmail.com

Колотілов Віталій Юрійович

доцент кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5050-3587>
e-mail: kolotiloff1971@gmail.com

Information about the author:

Ivan Ryapolov

Candidate of Technical Sciences
Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3139-1644>
e-mail: i.ryapolov.79@gmail.com

Yaroslav Belevshchuk

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force
University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1736-851X>
e-mail: belevyar@gmail.com

Vitalii Kolotiliv

Senior Lecturer of Department of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5050-3587>
e-mail: kolotiloff1971@gmail.com

Качан Микола Віталійович

старший викладач кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3732-0369>
 e-mail: vebsternick1972@gmail.com

Nikolai Kachan

Senior Instructor of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3732-0369>
 e-mail: vebsternick1972@gmail.com

Медінець Іван Романович

викладач кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0750-4423>
 e-mail: vanowarii@gmail.com

Ivan Medinets

Lecturer of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0750-4423>
 e-mail: vanowarii@gmail.com

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕЯНИЯ МОДЕЛИ ИСТРЕБИТЕЛЯ-БОМБАРДИРОВЩИКА Су-17М3 В САНТИМЕТРОВОМ И ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

И.Е. Ряполов, Я.А. Белевшук, В.Ю. Колотилев, Н.В. Качан, И.Р. Мединетц

В статье обоснована актуальность исследования характеристик радиолокационного рассеяния современных воздушных объектов с помощью методов математического моделирования. Современный уровень развития вычислительной техники позволяет решить эту задачу и реализовывать достаточно сложные методы математического моделирования вторичного излучения воздушных объектов с необходимой точностью для использования на практике. Проведен анализ существующих методов оценки вторичного излучения воздушных объектов, которые позволяют достичь поставленной цели - получения характеристик радиолокационного рассеяния модели истребителя-бомбардировщика Су-17М3. Рядом преимуществ в этом случае обладают методы, основанные на интегральных представлениях классической электродинамики и их коротковолновых асимптотики. Разработанная модель поверхности самолета Су-17М3. 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 Су-17М3 для различных частот облучения зондирующего сигнала. Полученные результаты могут быть использованы на этапе модернизации и проектирования перспективных отечественных радиолокационных систем для оценки возможностей различных конструктивных вариантов систем, рассматриваемых по обнаружению, сопровождению и распознаванию воздушных объектов данного типа. Кроме того, использование результатов, получаемых с помощью разработанного метода математического моделирования, позволит оптимизировать конструкцию перспективных отечественных летательных аппаратов с целью уменьшения их радиолокационной заметности. Разработанный метод позволяет проводить численное моделирование радиолокационных характеристик воздушных объектов различных типов при заданных поляризации, пространственных и время-частотных параметрах зондирующих сигналов в интересах решения широкого круга прикладных задач радиолокации.

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

RADAR SCATTERING CHARACTERISTICS OF MODEL OF DESTROYER-BOMBER Su-17M3 IN SHF AND UHF BAND

I. Ryapolov, Ya. Belevshchuk, V. Kolotiliv, N. Kachan, I. Medinets

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 destroyer-bomber SU-17M3 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 SU-17M3 surface was constructed. 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 SU-17M3 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. Moreover, 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.