

CONFERENCE PROCEEDINGS

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

infoCom advanced solutions **2026**

**XIV МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
З ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

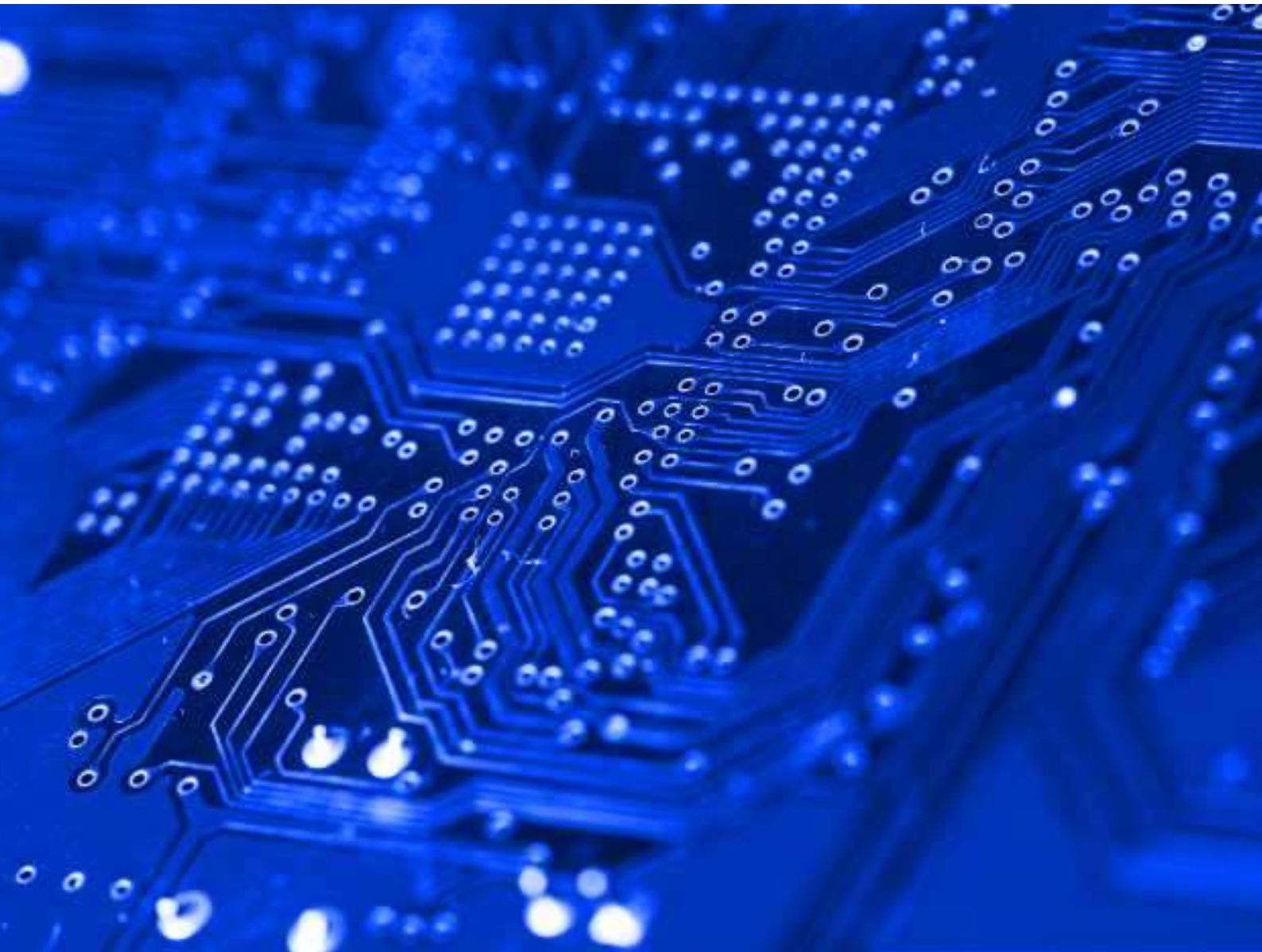
InfoCom

Advanced Solutions 2026

**14th INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES**

**21–22 квітня 2026 року
Україна, Київ**

**April 21–22, 2026
Ukraine, Kyiv**



Міністерство освіти і науки України
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
КПІ ім. Ігоря Сікорського

INFOCOM ADVANCED SOLUTIONS 2026

МАТЕРІАЛИ

ЧОТИРНАДЦЯТОЇ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
З ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
21–22 квітня 2026 р., Київ

PROCEEDINGS

OF THE FOURTEENTH INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES
April 21–22, 2026, Kyiv

УДК 004

XIV міжнародна науково-практична конференція з інформаційних систем та технологій — «INFOCOM ADVANCED SOLUTIONS 2026» (Київ, 21–22 квітня 2026 р.): зб. праць / за заг. ред. О. І. Роліка, С. Ф. Теленика; уклад. Л. В. Рибачук. — Київ: Кафедра інформаційних систем та технологій, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. — 191 с. — Режим доступу: <http://ist.kpi.ua/wp-content/uploads/2026/05/infocom-advanced-solutions-2026.pdf>

Редакційна колегія:

О. І. Ролік, д. т. н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ
С. Ф. Теленик, д. т. н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Редактор та укладач:

Л. В. Рибачук, к. ф.-м. н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Програмний комітет:

Голова: проф. Олександр Ролік, Україна

Члени: проф. Łukasz Ścisło, Польща
проф. Zbigniew Kokosiński, Польща
проф. Benjamin Reed, США
Leonid Kuhn, Німеччина
проф. Durmuş Özdemir, Туреччина
проф. Сергій Стіренко, Україна
проф. Сергій Теленик, Україна
проф. Анатолій Дорошенко, Україна
член-кор. НАН України. Леонід Гуляницький, Україна
проф. Віталій Снитюк, Україна
проф. Едуард Жаріков, Україна

Наказ ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського № НОД/134/26 від 25 лютого 2026 р.

Усі права застережено. Передруки та переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції. За достовірність фактів, цитат, назв та іншої інформації несуть відповідальність автори. Редакційна колегія дотримується прийнятих міжнародною спільнотою принципів публікаційної етики, відображених, зокрема, у рекомендаціях Комітету з етики наукових публікацій (Committee on Publication Ethics, COPE), а також враховує досвід авторитетних міжнародних видавництв.

Щоб уникнути недобросовісної практики у публікаційній діяльності (плагіат, виклад недостовірних відомостей тощо) та забезпечити високу якість наукових публікацій, ми впроваджуємо суворі стандарти перевірки результатів. Кожен член редакційної колегії, автор, рецензент, видавець, а також установи, які беруть участь у видавничому процесі, зобов'язані дотримуватися етичних норм і вживати заходів для запобігання їхнім порушенням. Дотримання правил етики сприяє забезпеченню прав авторів на інтелектуальну власність, підвищенню якості видання та усуненню можливості неправомірного використання матеріалів.

Сайт кафедри інформаційних систем та технологій: <https://ist.kpi.ua/uk/>

Assessment of detection ranges of small UAVs by radar in adverse weather conditions

Danylo Lakhtyr¹, Oleksandr Bushma²

¹ Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine

² Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University
Kyiv, Ukraine

¹ danilkovnir@gmail.com, ² o.bushma@kubg.edu.ua

Abstract. The study evaluates the detection range of airplane type unmanned aerial vehicles (UAVs) based on their radar cross section (RCS) under observation by an airport radar operating at a frequency of 2,8 GHz. The RCS was determined using computational electromagnetic modeling with a 3D object model constructed via a polygonal mesh approach. It is shown that the detection range of a typical UAV, depending on the observation angle and fog density, decreases by a factor of 2,5 to 8.

Keywords: radiolocation, radar, radar cross section, computational electromagnetic modeling, computer modeling, unmanned aerial vehicles.

Оцінка дальності виявлення малорозмірних БпЛА радіолокаційними засобами при складних погодних умовах

Данило Лахтир¹, Олександр Бушма²

¹ Інститут інформаційних технологій і систем НАН України

² Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
Київ, Україна

¹ danilkovnir@gmail.com, ² o.bushma@kubg.edu.ua

Анотація. В роботі оцінено дальність виявлення БпЛА літакового типу на основі їх ефективної площі розсіювання (ЕПР) при спостереженні аеропортним радаром з частотою сигналу 2,8 ГГц. Визначення ЕПР здійснено методом обчислювального електромагнітного моделювання з використанням 3D моделі об'єкту, побудованої методом полігональної сітки. Показано, що дальність виявлення типового БпЛА з різних ракурсів в залежності від густини туману зменшується в 2,5–8 раз.

Ключові слова: радіолокація, радар, ефективна площа розсіювання, обчислювальне електромагнітне моделювання, комп'ютерне моделювання, безпілотні літальні апарати.

ВСТУП

Виявлення малорозмірних, низькошвидкісних та радіолокаційно малопомітних безпілотних літальних апаратів (БпЛА) на поточний момент є одним із ключових викликів для систем повітряного спостереження, охорони та безпеки повітряного простору критичної інфраструктури. Такі БпЛА мають невелику ефективну площу розсіювання (ЕПР), виготовлені з матеріалів із слабким відбиттям радіо-

хвиль або з неметалевих компонентів. При цьому швидкість їх польоту та висота можуть бути низькими або мінливими. Внаслідок цього традиційні радарні системи часто не здатні забезпечити надійне виявлення таких об'єктів, тому що радіолокаційні сигнали від них можуть губитися на тлі шумів або природного фону середовища. Це призводить до безпекових ризиків в аеропортах та ризиків зіткнення БпЛА з повітряними суднами [1-4].

Комп'ютерне моделювання відіграє ключову роль у розробці ефективних систем виявлення малорозмірних БпЛА. Воно дозволяє імітувати радіолокаційні сигнали, поведінку дронів і умови навколишнього середовища без необхідності проводити дорогі експериментальні вимірювання. В такий спосіб можна оцінити ЕПР різних конструкцій БпЛА, проаналізувати вплив матеріалів, геометрії та режимів польоту на радіолокаційні сигнали. У результаті комп'ютерне моделювання слугує інструментом для прогнозування надійності систем безпеки, зменшення ймовірності пропуску цілей і прискорення розробки комплексних рішень для контролю повітряного простору [5-7].

Дослідження комп'ютерних моделей малорозмірних БпЛА дозволяє отримати оцінку характеристики розсіювання радіолокаційних сигналів, а також вплив їх різних компонентів та матеріалів на ЕПР. Такі дослідження достатньо універсальні та надають можливість порівняти ЕПР моделей БпЛА літакового типу та квадрокоптерів різних конструкцій, й оцінити дальність їх виявлення системами радіо-локаційного виявлення. [2, 3, 8].

Метою роботи є оцінка дальності виявлення малорозмірних БпЛА літакового типу за різних погодних умов на основі комп'ютерного моделювання. Проведене дослідження показало, що теоретична дальність виявлення при використанні типового активного авіаційного радару ASR-9 [9] може досягати 220 км та зменшуватись 2,5–8 разів, в залежності від густини туману. При спостереженні спереду або ззаду БпЛА фіксуються на відстані до 70 км в хороших погодних умовах.

МЕТОДОЛОГІЯ

Радіолокаційна помітність БпЛА оцінюється максимальною дальністю, на якій радар здатен надійно розрізнити відбитий від об'єкта сигнал. Для контролю повітряного простору та моніторингу метеорологічних явищ у районах аеропортів часто використовується активний радар цивільної авіації ASR-9 [9]. До ключових характеристик ASR-9 належать робоча частота у діапазоні 2,7–2,9 ГГц. Пікова потужність, що формує енергетичний потенціал імпульсу, складає у ASR-9 1,1 МВт. Коефіцієнт підсилення антени 34 дБ відображає ступінь фокусування випромінювання у вибраному напрямі. Чутливість приймача задає мінімальний рівень сигналу, що може бути відокремлений від шуму, та дорівнює –108 дБм [9].

Сукупність зазначених параметрів формує вхідні дані для обчислення максимальної дистанції виявлення цілі з відомою ЕПР. Для цього застосовується класичне рівняння радіолокаційної дальності [10].

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_s G^2 \lambda^2 \sigma}{P_{\min} (4\pi)^3}}, \quad (1)$$

де P_s – потужність випромінювання, Вт

G – коефіцієнт підсилення антени

λ – довжина хвилі, м

σ – ефективна площа розсіювання цілі (ЕПР), м²

P_{\min} – найменша приймана потужність (чутливість приймача), Вт

Рівняння не враховує згасання сигналу в земній атмосфері, яке виникає через явище молекулярного поглинання та зменшує реальну дальність виявлення. Коефіцієнт згасання залежить від частоти радіохвилі, вмісту водяної пари та інтенсивності опадів [11]. Для врахування атмосферного поглинання, до рівняння радіолокації додається множник $e^{-\alpha R_{\max}}$, де α – коефіцієнт одностороннього згасання, що вимірюється в дБ/км [12]. Рівняння дальності радіолокації з врахуванням атмосферного поглинання набуває наступного вигляду:

$$R_{\max} = \frac{2}{\alpha} W \left(\frac{\alpha}{2} \sqrt[4]{\frac{P_s G^2 \lambda^2 \sigma}{P_{\min} (4\pi)^3}} \right), \quad (2)$$

де $W(x)$ – W-функція Ламберта.

В роботі розглядаються три варіанти атмосферних умов:

1) Ясна погода, з сухим повітрям, в якому густина водяної пари дорівнює нулю. При цьому $\alpha=0,01$ дБ/км

2) Середній туман, при якому густина водяної пари в повітрі дорівнює 0,05 г/м³, а видимість близько 300 м. При цьому $\alpha=0,1$ дБ/км

3) Густи туман, при якому густина водяної пари в повітрі дорівнює 0,5 г/м³, а видимість близько 50м. При цьому $\alpha=0,5$ дБ/км [11].

Практичний інтерес представляє дослідження радіолокаційної помітності розповсюджених варіантів аеродинамічної схеми БпЛА літакового типу. Для оцінки дальності виявлення малорозмірних БпЛА було створено відповідну 3D модель (рис.1) з наступними геометричними характеристиками:

- розмах крила – 2 м;
- площа крила – 0,37 м²;
- довжина фюзеляжу – 1,53 м;



Рис. 1. 3-D модель БпЛА

Використана для дослідження 3-D модель, яка подана на рис. 1, була побудована методом полігонального моделювання, що розбиває поверхні складної форми на плоскі трикутні елементи. Модель складається з близько 29 тисяч таких часток, що забезпечує достатню точність моделювання за рахунок малих розмірів окремих елементів поверхні. Поверхня БпЛА моделюється як ідеальний провідник. Такий підхід дозволяє спростити обчислення та наблизити результати до характеристик розсіювання БпЛА з металеву обшивкою.

Для дослідження використано програмне середовище високочастотного електромагнітного моделювання Altair Feko, яке базується на розв'язанні рівнянь Максвелла за допомогою чисельних методів [13]. Програмна платформа дозволяє працювати з полігональними 3D моделями та отримати графіки ЕПР. Також було використано метод геометричної оптики з виведенням променів RL-GO (Ray Launching Geometrical Optics), який розроблено для використання у випадках моделювання великих ($> 20\lambda$) металевих або діелектричних структур [13].

Для оцінки дальності виявлення БпЛА, промодельовано його опромінення активним радаром з різних ракурсів спостереження для отримання направленої діаграми відбитого сигналу. Розглядається ситуація, в якій джерело сигналу та приймач знаходяться в одному місці. Комп'ютерне моделювання дозволяє отримати графіки направленості ЕПР для різних кутів падіння сигналу. Відповідно, моделювання проводиться для отримання діаграми направленості в горизонтальній проекції з діапазонами кутів від 0° до 360° з кроком в 0.2°.

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

На рис. 2 зображено отриманий графік направленості ЕПР моделі БпЛА. Побудова графіку виконана в полярних координатах, що дозволяє наочно оцінити залежність радіолокаційної помітності БпЛА від кута падіння радіохвиль. Значення ЕПР наведені у логарифмічній шкалі (дБ).

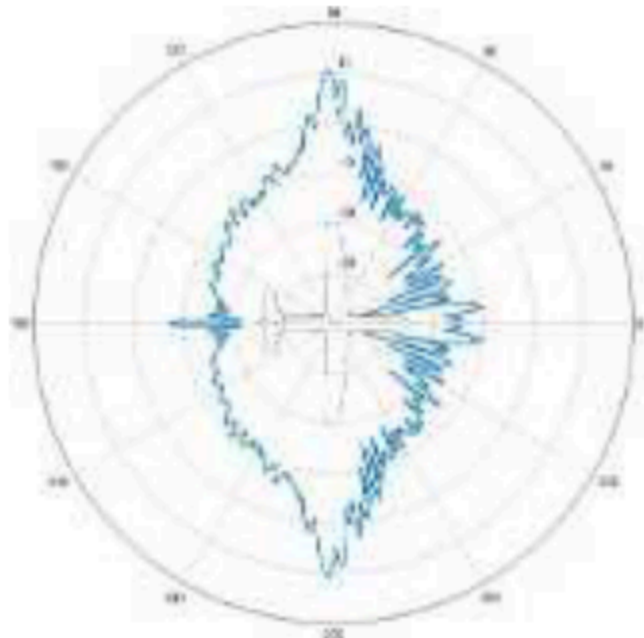


Рис. 2. Графік направленості ЕПР БпЛА

На основі отриманих значень ЕПР та (2) було побудовано залежності дальності виявлення від кута спостереження при різних погодних умовах – ясна погода, середній туман та густий туман, з відповідними значеннями коефіцієнту атмосферного поглинання ($\alpha=0,01$ дБ/км, $\alpha=0,1$ дБ/км, $\alpha=0,5$ дБ/км відповідно). На рис. 3 для порівняння подано значення дальності виявлення БпЛА в кілометрах в залежності від кута спостереження при різних погодних умовах.

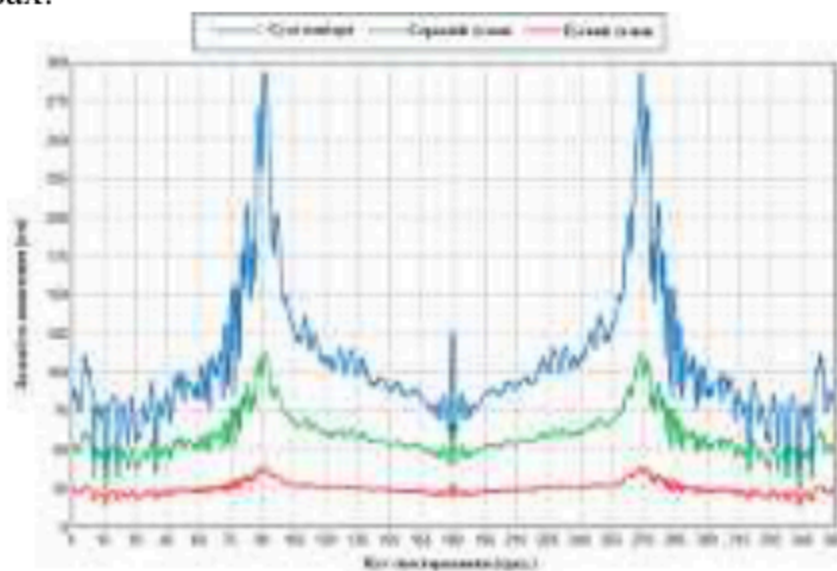


Рис. 3. Графік дальності виявлення БпЛА при різних погодних умовах

На графіку видно, що дальність виявлення суттєво залежить від кута спостереження. При спостереженні з фронтального та заднього ракурсу дальність виявлення коливається в межах 75–100 км при ясній погоді, але при спостереженні з правого або лівого боку (азимуту 90° та 270°), дальність виявлення зростає до 200–290 км. В умовах туману помітність БпЛА значно падає, при цьому, максимальні значення дальності виявлення зменшуються більше, ніж мінімальні. При середньому тумані (видимість 300 м) дальність виявлення коливається в межах 40–110 км для всіх ракурсів спостереження. При густому тумані (видимість 50 м) це значення падає до 20–30 км.

ВИСНОВКИ

Отримані результати характеризують радіолокаційну помітність типових БпЛА літакового типу з різних ракурсів спостереження та дозволяють оцінити вплив складних погодних умов на можливості виявлення БпЛА радіолокаційними засобами. Оцінка дальності виявлення типової моделі БпЛА радаром, які працюють на частоті близько 2,8 ГГц, показала, що вона може досягати 220 км, але зменшуватись у 2,5–8 раз в залежності від густини туману.

Результати роботи можна використовувати для досліджень в галузі спеціалізованих радарів для виявлення

БпЛА в районах контрольованого повітряного простору або критичної інфраструктури. Подальші розвідки доцільно розширити та доповнити за допомогою методів 3D та обчислювального електромагнітного моделювання, застосувавши аналогічні підходи для дослідження літальних апаратів різних конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Patel, J.S., Fioranelli, F. and Anderson, D., Review of radar classification and RCS characterisation techniques for small UAVs or drones. IET Radar Sonar Navig., 2018, vol. 12, p. 911-919. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2018.0020>
2. Sukharevsky, O., Vasylets, V., Orlenko, V. and Ryapolov, I., Radar scattering characteristics of a UAV model in X-band. IET Radar Sonar Navig., 2020, vol. 14, p. 532-537. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2019.0243>
3. Kapoulas, I.K.; Hatziefremidis, A.; Baldoukas, A.K.; Valamontes, E.S.; Statharas, J.C. Small Fixed-Wing UAV Radar Cross-Section Signature Investigation and Detection and Classification of Distance Estimation Using Realistic Parameters of a Commercial Anti-Drone System. Drones 2023, vol. 7, 39. <https://doi.org/10.3390/drones7010039>
4. Zhang, J., Na, X., Xi, R., Sun, Y., & He, Y., mmHawkeye: Passive UAV Detection with a COTS mmWave Radar., arXiv, 2023 <https://doi.org/10.48550/arXIV.2308.06479>
5. Sumithra, P. & Dhanasingh, Thiripurasundari, Review on Computational Electromagnetics, Advanced Electromagnetics, 2017, 6, p. 42. <https://doi.org/10.7716/aem.v6i1.407>
6. Özdemir, C., Radar cross section analysis of unmanned aerial vehicles using predics, International Journal of Engineering and Geosciences, 2020, vol. 5(3), p. 144-149. <https://doi.org/10.26833/ijeg.648847>
7. Komar, M., Sieriebriakov, A., Tymchyshyn, R., & Bondar, S., Developing a technology for modeling radar portraits of complex-shape objects for intelligent recognition systems, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, vol. 3, p. 46–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.30562>
8. Sevoor Meenakshisundaram Vaitheeswaran, Talapaneni Shantakumar Gowthami, Sunil Prasad, Bharadwaja Yathirajam, Monostatic radar cross section of flying wing delta planforms, Engineering Science and Technology, an International Journal, 2017, vol. 20, 2, p. 467-481 <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.02.001>
9. Mahapatra, Pravas & Zrnic, Dusan., Sensors and systems to enhance aviation safety against weather hazards. Proceedings of the IEEE, 1991, vol. 79, p. 1234 - 1267. DOI:10.1109/5.97295
10. B.I. Bakare1, M.U. Ajaegbu2 and V.E. Idigo, "A Comprehensive Review of Radar System Technology," Journal of Electronics and Communication Engineering Research, 2022, vol. 8, 8 p: 16-23
11. Banday, Y., Mohammad Rather, G. and Begh, G.R., Effect of atmospheric absorption on millimetre wave frequencies for 5G cellular networks, IET Communications, 2019, vol. 13: 265-270. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2018.5044>
12. Skolnik, M.I., "Introduction to Radar Systems," International edition, – Singapore, McGraw-Hill, 1981, p. 459.
13. Altair® Feko® <https://altair.com/feko> (07.04.2026)