

О. В. Борисенко

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВТОРИННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ КРИЛАТОЇ РАКЕТИ ЗМ-14 “КАЛИБР”.

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Анотація. За допомогою електродинамічного методу моделювання, заснованого на розв'язанні інтегрального рівняння магнітного поля, отримано характеристики вторинного випромінювання крилатої ракети (КР) ЗМ-14 “Калибр”. Результати, які демонструються, надають додаткову інформацію для розв'язання різних практичних завдань, у тому числі розробки пропозицій щодо підвищення ефективності виявлення крилатих ракет.

Ключові слова: ефективна поверхня розсіювання, інтегральне рівняння магнітного поля, крилата ракета, математичне моделювання, характеристики вторинного випромінювання.

Abstract. With the help of the electrodynamic modeling method, based on the solution of the integral equation of the magnetic field, the characteristics of the secondary radiation of the ЗМ-14 “Kalibr” cruise missile were obtained. The demonstrated results provide additional information for solving various practical tasks, including the development of proposals for increasing the effectiveness of cruise missile detection.

Keywords effective scattering surface, integral equation of the magnetic field, cruise missile, mathematical modeling, characteristics of secondary radiation.

Вступ

У ході російського повномасштабного вторгнення в Україну, станом на 20.08.2023 року агресор завдав 6500 ударів з використанням балістичних, аеробалістичних та КР [1]. Лівова частка з них це ракети ЗМ-14 “Калибр” та подібні до них за конструкцією планера (ракети 9М727, 9М728, 9М729 оперативного-тактичного ракетного комплексу “Искандер-К”). Це призводить до необхідності постійного удосконалення методів та засобів отримання радіолокаційної інформації про зазначені об'єкти з метою підвищення ймовірності їх виявлення, якості супроводження та знищення.

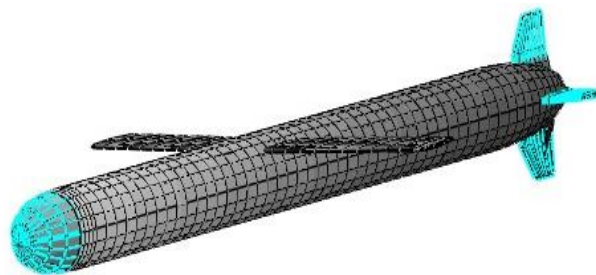
Метою роботи є комп'ютерне моделювання характеристик радіолокаційного розсіювання КР ЗМ-14 “Калибр” у метровому діапазоні хвиль та опис прикладу створення бази даних характеристик радіолокаційного розсіювання КР.

Результати дослідження

Для досягнення поставленої мети створено модель поверхні КР ЗМ-14 “Калибр” із застосуванням програмного середовища Mathcad 15. Зовнішній вигляд та модель ракети подано на рисунку 1.



(а)



(б)

Рис. 1. Зовнішній вигляд (а) та модель поверхні (б) КР ЗМ-14 “Калибр”

При моделюванні поверхні металевих елементів планера КР апроксимовано за допомогою ділянок 10-ти тривісних еліпсоїдів. Передній обтічник є діелектричним радіопрозорим

елементом. Оперення у хвостовій частині КР ЗМ-14 “Калибр” виготовлено з діелектричного матеріалу [2]. Таким чином вклад зазначених елементів конструкції КР у сумарне розсіяне поле буде зневажливо малим. Тому при розрахунку характеристик вторинного випромінювання використовувались лише металеві елементи конструкції КР. Розроблена модель використовувалась під час комп’ютерного моделювання характеристик вторинного випромінювання (ефективної поверхні розсіювання, ЕПР) КР у метровому діапазоні хвиль (довжина хвилі 1,667 м) за допомогою методу, заснованого на розв’язанні інтегрального рівняння магнітного поля [3-6]. Для моделювання були обрані наступні вихідні умови: тип радіолокаційної станції – однопозиційна, частота сигналу – 180 МГц, поляризація – вертикальна та горизонтальна. Результати моделювання демонструються на рисунку 2 та у таблицях 1, 2.

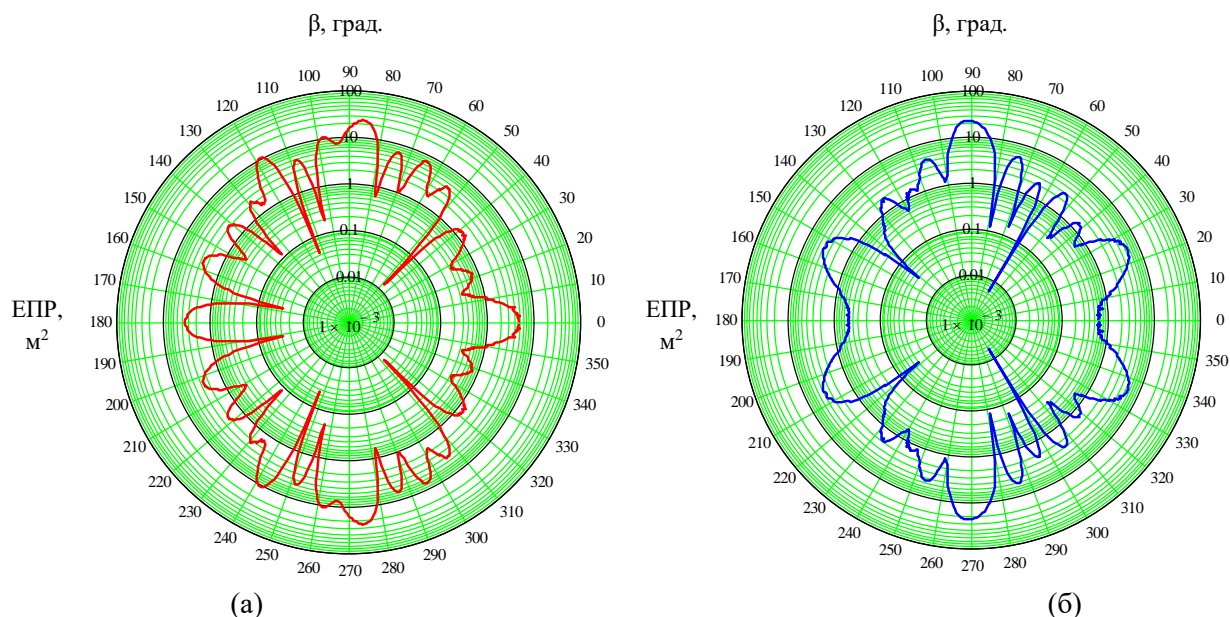


Рис. 2. Діаграма зворотного вторинного випромінювання КР ЗМ-14 “Калибр” на довжині хвилі 1,667 м. (а – горизонтальна поляризація, б – вертикальна поляризація)

Таблиця 1 – Середні та медіанні ЕПР КР ЗМ-14 “Калибр” для головних діапазонів азимутів зондування на вертикальній поляризації

Таблиця 2 – Середні та медіанні ЕПР КР ЗМ-14 “Калибр” для головних діапазонів азимутів

Довжина хвилі, м (частота, ГГц)	Характеристика	Значення ЕПР, м ²		
		Азимутальний ракурс		
		0-45 град.	45-135 град.	135-180 град.
1, 667 (0,18)	Середня ЕПР	2,173	4,12	1,437
	Медіанна ЕПР	1,373	1,638	0,859

зондування на горизонтальній поляризації

Довжина хвилі, м (частота, ГГц)	Характеристика	Значення ЕПР, м ²		
		Азимутальний ракурс		
		0-45 град.	45-135 град.	135-180 град.
1, 667 (0,18)	Середня ЕПР	1,243	5,524	1,388
	Медіанна ЕПР	0,698	3,815	1,397

Як і очікувалось, отримані значення ЕПР КР у метровому діапазоні хвиль мають достатньо високі значення. Це пояснюється тим, що більшість елементів конструкції ракети є резонансними по відношенню до довжини хвилі зондувального сигналу. З цієї точки зору РЛС

метрового діапазону хвиль мають певні переваги. Разом із цим не слід забувати, що РЛС дециметрового і сантиметрового діапазону мають кращі точності вимірювання координат.

Метод створення цифрових моделей розсіювачів та розроблене спеціальне програмне забезпечення, що реалізує електродинамічний метод розрахунку характеристик вторинного випромінювання повітряних об'єктів дозволяють отримувати інформацію, яка може застосовуватись для вирішення різних практичних завдань, у тому числі: створення бази даних характеристик радіолокаційного розсіювання повітряних об'єктів; оцінювання можливостей РЛС, що стоять на озброєнні Збройних Сил України, щодо виявлення і супроводження різних радіолокаційних цілей; розробка пропозицій щодо принципів побудови перспективних РЛС (зокрема у частині, що стосується обґрунтування вимог до потужності радіопередавального пристрою, закону модуляції та поляризації зондувального сигналу, показників якості алгоритмів обробки прийнятих сигналів) та щодо удосконалення способів їх застосування.

Розроблене спеціальне програмне забезпечення дозволяє отримувати характеристики радіолокаційного розсіювання КР різних типів при заданих умовах радіолокації, у метровому і дециметровому діапазоні хвиль. Слід зазначити, що електричні розміри КР у різних діапазонах хвиль суттєво відрізняються. Тому при створенні бази даних характеристик розсіювання КР доцільно використовувати різні методи – метод, заснований на розв'язанні інтегральних рівнянь у випадку резонансних розсіювачів та асимптотичний високочастотний метод у випадку електрично великих об'єктів [3-6].

Висновки

У роботі на прикладі моделі КР ЗМ-14 “Калибр” описано приклад створення бази даних характеристик радіолокаційного розсіювання КР у різних діапазонах хвиль.

Створення зазначеної бази даних дозволить врахувати особливості вторинного випромінювання КР на етапі розробки перспективних РЛС, удосконалення способів їх застосування, а також при розробці та удосконаленні алгоритмів обробки прийнятих сигналів

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Росіяни вже випустили по Україні понад 6,5 тисячі ракет - Президент. *Укрінформ* : веб-сайт. URL: <http://surl.li/mwya0> (дата звернення: 06.11.2023).
2. Рамшов Д. В., Сурков О. М., Бондаренко Є. О. Методичні рекомендації щодо ідентифікації крилатих ракет. Київ, 2022. 49 с.
3. Gibson W. C. The Method of Moments in Electromagnetics / W. C. Gibson. – Boca Raton, London, New York : Chapman & Hall / Taylor & Francis Group, 2008. – 288 p.
4. G. S. Zalevsky, O. I. Sukharevsky, V. A. Vasilets, “Radar Range Profiles of Cruise Missiles in VHF, UHF and SHF Bands,” [electron resource], 7th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS 2014), 15-19 Sept., 2014. Proc. Kharkiv, 2014, pp. 7-12, 1 CD-ROM.
5. G. S. Zalevsky, O. I. Sukharevsky, “Calculation of Scattering Characteristics of Aerial Radar Objects of Resonant Sizes Based on Iterative Algorithm,” Radioelectronics and Communications Systems, vol. 57, No. 6, 2014, pp. 244-253.
6. O. I. Sukharevsky, V. A. Vasilets, G. S. Zalevsky “Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects,” [electron resource], 2015 IEEE International Radar Conference, 10-15 May, 2015. Proc. Arlington VA, USA, 2015, pp. 162–167, 1 CD-ROM.

Борисенко Олександр Васильович — ад'юнкт Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: a.v.borisenko1980@ukr.net

Oleksandr Borysenko — Post-Graduate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: a.v.borisenko1980@ukr.net