

О. В. Борисенко

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ КРИЛАТОЇ РАКЕТИ ЗМ-14 “КАЛИБР” У БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ МЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ

**Анотація.** У роботі розглядається можливість підвищення ефективності виявлення крилатих ракет (КР) у багатопозиційних радіолокаційних системах (БПРЛС) різних конфігурацій, які складаються з радіолокаційної станції (РЛС) метрового діапазону хвиль типу П-18 та радіопередавальних пристроїв ефірного цифрового телебачення (ЕЦТ) DVB-T2, які виступають у ролі додаткових джерел підсвічування цілі. Дослідження діаграм розсіювання (ДР) КР проводились шляхом математичного моделювання методом, заснованим на розв'язанні інтегрального рівняння магнітного поля та адаптованої до нього комп'ютерної моделі поверхні КР ЗМ-14 “Калибр”. Результати, які наводяться демонструють збільшення значень ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) КР типу ЗМ-14 “Калибр” та зменшення кількості та рівня провалів у її сумарній ДР. Зазначені зміни призведуть до підвищення показників якості виявлення та супроводження КР у запропонованих БПРЛС. Реалізація розглянутих БПРЛС значно покращать їх перешкодозахищеність та скритність бойової роботи у порівнянні з моностатичною РЛС типу П-18.

**Ключові слова:** багатопозиційна радіолокаційна система, діаграма розсіювання, крилата ракета, математичне моделювання, DVB-T2.

**Abstract.** The paper considers the possibility of increasing the effectiveness of cruise missile detection in multisite radar systems of various configurations, which consist of a P-18 radar type and transmission stations of the terrestrial digital television network of Ukraine, which act as additional sources of target illumination. The study of the scattering diagrams of the cruise missile was carried out by means of mathematical modeling using the method based on the magnetic field integral equation solution, and the cruise missile ЗМ-14 "Kalibr" computer model adapted to used method. The presented results demonstrate an increase in the values of the radar cross-section of the cruise missile ЗМ-14 "Kalibr" and a decrease in the number and level of dips in its total scattering diagrams. The specified changes will lead to an increase in the quality indicators of the detection and tracking of cruise missile in the proposed multisite radar systems. The implementation of the proposed multisite radar systems will significantly improve their immunity to interference and the stealth of combat operations in comparison with the P-18 type monostatic radar.

**Keywords:** cruise missile, DVB-T2, mathematical modeling, multisite radar systems, scattering diagram.

### Вступ

В умовах масового застосування країною агресором проти цивільної та військової інфраструктури України ракет різних типів та модифікацій у Збройних Силах України відчувається гостра нестача джерел радіолокаційної інформації (РЛС). Допомога країн партнерів та спроможності вітчизняного оборонно-промислового комплексу не здатні покривати поточні потреби у засобах радіолокації та їх втрати, які пов'язані з веденням бойових дій. В умовах, які склались виникає необхідність підвищення ефективності, перешкодозахищеності та скритності бойового застосування наявних зразків радіолокаційного озброєння.

Метою роботи є аналіз ефективності використання БПРЛС на базі РЛС П 18 (варіантах її модернізації) та джерел ЕЦТ DVB-T2 в якості станцій підсвічування для підвищення показників якості виявлення та супроводження КР ЗМ 14 “Калибр”.

### Результати дослідження

З робіт [1; 2] відомо що з усього різноманіття джерел сигналів телекомунікаційних систем (сигнали радіомовлення, аналогове телебачення, стільникові системи зв'язку GSM, системи зв'язку 3G та 4G та цифрове телебачення) найбільш ефективною системою, з точки зору радіолокації (висока потужність та роздільна здатність сигналу, низький вплив погодних умов на поширення радіохвиль, спектр близький до прямокутного, шумоподібна структура сигналу) є система ЕЦТ DVB T2 [3]. До того ж територія України має доволі щільне покриття цими

сигналами (рисунок 1). Це створює умови для реалізації БПРЛС у якій цілі будуть додатково опромінюватись сигналами DVB T2 з різних ракурсів, що призведе до збільшення їх ЕПР (покарачить показники якості виявлення) та зменшить глибину та кількість провалів ДР (покарачить якість супроводження). Виходячи з інформації про покриття ЕЦТ DVB T2 найбільш ймовірною кількістю додаткових джерел підсвічування буде лише одна станція DVB T2, у деяких окремих випадках дві (рисунок 1).



Рис. 1. Карта покриття цифрового телебачення DVB-T2 в Україні

А з робіт [4-5] відомо, що при наближенні довжини хвилі опромінення до геометричних розмірів об'єкта опромінення та його окремих елементів (фюзеляж, крила, хвостове оперення, двигун тощо) її ЕПР значно збільшується (ефект резонансу), тож у якості основної станції у БПРЛС доцільно використовувати наявні РЛС метрового діапазону хвиль [6] (П-18 або варіанти її модернізації). Також виходячи з цього оптимальним діапазоном ЕЦТ DVB-T2 для додаткового підсвічування КР буде III частотний діапазон ( $f=174\text{--}230$  МГц). У зв'язку з близькістю частот III діапазону DVB-T2 до робочого діапазону частот РЛС типу П-18, який складає  $f=150\text{--}180$  МГц, радіоприймальний пристрій станції типу П-18 буде потребувати мінімального доопрацювання, у той час, як використання IV – ( $470\text{--}582$ ) МГц та V – ( $582\text{--}862$ ) МГц. частотних діапазонів DVB-T2 буде потребувати більш глибокого доопрацювання не тільки радіоприймального пристрою а й антено-фідерної системи. Також ЕПР КР у зазначених частотних діапазонах буде значно меншою ніж у III діапазоні [4-5].

Дослідженню підлягали 3 варіанти побудови БПРЛС: перший – БПРЛС складалась з однієї станції типу П-18, яка працювала у режимі радіомовчання (приховане спостереження) та одного радіопередавального пристрою DVB-T2 ; другий – склад БПРЛС ідентичний першому варіанту в якій РЛС працювала як на прийом так і на випромінювання; третій – БПРЛС містила РЛС типу П-18 та два радіопередавальних пристрої ЕЦТ DVB-T2. Дослідження ДР КР проводилось на двох ортогональних поляризаціях за допомогою електродинамічного методу, який базується на розв'язанні інтегрального рівняння магнітного поля другого роду [6; 7]. У якості цілі використовувалась модель поверхні російської КР ЗМ-14 “Калибр”. Детально процес розробки та адаптації моделі поверхні КР ” до електродинамічного методу описано у роботі [5].

Результатами досліджень підтверджено більшу ефективність використання радіосигналів (зондувальних та підсвічування) з горизонтальною поляризацією. Середні значення ЕПР КР на горизонтальній поляризації приблизно у 3 рази більші ніж на вертикальній.

Результати дослідження БПРЛС першої конфігурації демонструють потенційні можливості системи вести скрите спостереження за повітряною обстановкою, якість якої, в більшій мірі залежить від потужності радіопередавального пристрою ЕЦТ DVB-T2 та ракурсу цілі.

Дослідження ДР КР у БПРЛС другої конфігурації демонструє збільшення середньої ЕПР КР (у порівнянні з моностатичним прийомом) при різних ракурсах опромінення та прийому до 3 разів, що еквівалентно збільшенню дальності виявлення (відносно середньої дальності виявлення КР РЛС П-18) КР до 10 км. Також у сумарній ДР суттєво зменшилась кількість та рівень провалів, що свідчить про підвищення якості супроводження КР у запропонованій системі.

Результати отримані у БПРЛС третьої конфігурації демонструють суттєве збільшення середніх значень ЕПР КР (у порівнянні з моностатичним прийомом та результатами отриманими у попередніх конфігураціях БПРЛС), але при аналізі ДР встановлено, що основний внесок у сумарну діаграму вносить значення ЕПР у порівняно незначному діапазоні азимутів (близько 50 градусів), а у переважній більшості азимутів збільшення ЕПР не є суттєвим. Кількість та глибина провалів у ДР, у порівнянні з другою конфігурацією майже не змінилась.

#### **Висновки**

Результати досліджень підтверджують доцільність застосування БПРЛС, яка складається з РЛС типу П-18 та радіопередавальних пристроїв ЕЦТ DVB-T2 у порівнянні з моностатичною РЛС П-18. Завдяки опроміненню цілі з різних ракурсів у БПРЛС забезпечує кращі показники якості виявлення та супроводження КР.

Запропонована БПРЛС здатна здійснювати приховане спостереження за повітряними об'єктами (РЛС у режимі радіомовчання), чим забезпечується максимальна скритність та перешкодозахищеність її бойової роботи.

Зі збільшенням кількості додаткових джерел підсвічування ЕЦТ DVB-T2 у БПРЛС (більше однієї) ефективність системи знижується, а використання більш високочастотних діапазонів DVB-T2 вимагає встановлення на РЛС додаткових радіоприймальних пристроїв та антено-фідерних систем.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Пасивні радіолокаційні системи виявлення малорозмірних повітряних об'єктів з використанням сигналів телекомунікаційних систем / Д. В. Шимонець та ін. Системи управління, навігації та зв'язку. 2017. № 4. С. 138-142.
2. Comparison of the parameters of signals with external illumination for supervision of the area for the protection of important state objects / S. Horielyshev et al. EUREKA: physics and engineering. 2021. No. 1. P. 14–23. URL: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001607> (date of access: 13.09.2024).
3. Карта покриття цифрового ефірного телевидення DVB-T2 в Україні. Інтернет-магазин SatMaster.com.ua - Продажа, монтаж, обслуговування Систем Спутникового ТВ, Спутникового обладнання, Кондиціонерів. URL: <http://89.184.83.10/category/karta-pokrytija/> (дата звернення: 03.09.2024).
4. Борисенко О. В. Характеристики вторинного випромінювання крилатих ракет ЗМ-14 “Калибр” та Х-101 у метровому діапазоні хвиль. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2024. № 1 (54). С. 78–86. <https://doi.org/10.30748/nitps.2024.54.09>
5. Сухаревський О. І., Василець В. О., Нечитайло С. В. Довідник характеристик розсіювання повітряних та наземних радіолокаційних об'єктів. Харків : ХНУПС, 2019. 304 с.
6. Sukharevsky, O., Zalevsky, G. and Vasilets, V. (2016), Modeling of Ultra wideband (UWB) Impulse Scattering by Aerial and Subsurface Resonant Objects Based on Integral Equation Solving, Advanced Ultra wideband Radar: Signals, Targets, and Applications, London, New York, J.D. Taylor ed. Boca Raton, pp. 195-235. <https://doi.org/10.1201/9781315374130>.
7. Вторинне випромінювання безпілотних літальних апаратів (математичне моделювання) : монографія / О.І Сухаревський та ін. ; за ред. О.І. Сухаревського. Харків : ХАІ, 2022. 270 с.

**Борисенко Олександр Васильович** — ад'юнкт науково-організаційного відділу,  
e-mail: [a.v.borisenko1980@ukr.net](mailto:a.v.borisenko1980@ukr.net) Харківський національний університет  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0810-4616>

**Oleksandr Borysenko** — Post-Graduate of scientific and organizational department,  
e-mail: [a.v.borisenko1980@ukr.net](mailto:a.v.borisenko1980@ukr.net) Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force  
University, Kharkiv  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0810-4616>