

# Розвиток, бойове застосування та озброєння зенітних ракетних військ

УДК 621.396.96

О.І. Сухаревський, В.О. Василюк, І.Є. Ряполов

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗОН ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ "ОРЛАН-10" РАДІОЛОКАЦІЙНИМИ ЗАСОБАМИ САМОХІДНОГО ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ 9К33МЗ "ОСА-АКМ"

У статті побудована геометрична модель безпілотного літального апарату "Орлан-10". На основі розроблених авторами високочастотних методів оцінювання вторинного випромінювання безпілотних літальних апаратів, створених із застосуванням композиційних матеріалів, отримані характеристики вторинного випромінювання моделі безпілотного літального апарату для різних кутів опромінення та проведено їх аналіз. Оцінено максимальна дальність виявлення безпілотного літального апарату "Орлан-10" радіолокаційними засобами самохідного зенітного ракетного комплексу 9К33МЗ "Оса-АКМ".

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, високочастотний метод розрахунку, зенітний ракетний комплекс, ефективна поверхня розсіювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Наявність даних про характеристики вторинного випромінювання конкретного типу літального апарату дозволяє розрахувати його дальність виявлення радіолокаційною станцією (РЛС). У свою чергу, знання параметрів зони виявлення РЛС дозволяє виконувати комплекс заходів по формуванню позиційного району підрозділів та вирішення інших тактичних завдань. За повідомленнями засобів масової інформації проти сил антитерористичної операції на сході України були зафіксовані масові випадки використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) супротивною стороною.

**Актуальним** стає завдання отримання характеристик розсіювання БПЛА, які використовуються протиборчою стороною на сході України та розрахунок максимальної дальності їх виявлення радіолокаційними засобами зенітних ракетних комплексів (ЗРК), якими озброєні Збройні Сили України.

**Аналіз літератури.** На даний час при вирішенні прикладних завдань в якості максимальної дальності виявлення РЛС (на заданій висоті) приймається відповідне значення, яке зазначене у документації на РЛС, для заданої цілі з визначеною ефективною поверхнею розсіювання (ЕПР). На практиці різноманіття типів радіолокаційних цілей і способів їх бойового застосування вимагає більш точної оцінки зазначеної тактико-технічної характеристики, зокрема для кожної конкретної цілі.

Одним з представників БПЛА, які використовуються на сході України, є "Орлан-10". ЗРК "Оса-

АКМ" являє собою один з найефективніших видів озброєння, спроможних знищувати БПЛА такого типу. В [1] наведені дальності виявлення радіолокаційними засобами ЗРК "Оса-АКМ" для винищувача, але детальних даних про дальності виявлення БПЛА "Орлан-10" радіолокаційними засобами ЗРК "Оса-АКМ" у відомій літературі немає.

**Метою статті** є отримання характеристик розсіювання БПЛА "Орлан-10" та оцінка параметрів зони виявлення у вільному просторі радіолокаційними засобами ЗРК "Оса-АКМ", що надасть можливість підвищити ефективність протидії БПЛА такого типу.

### Основна частина

#### 1. Опис БПЛА "Орлан-10"

Зовнішній вигляд БПЛА "Орлан-10" наведений на рис. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд БПЛА "Орлан-10"

БПЛА "Орлан-10" (рис. 1) знаходиться у складі безпілотного авіаційного комплексу "Леер" та приз-

начений для ведення тактичної повітряної розвідки на території противника. До складу БпЛА "Орлан-10" входять: двигун; паливна система; модуль передачі інформації; модулі обробки даних польотного контролеру; блок цільового навантаження; система посадки (парашут, амортизаційна подушка). До бортового обладнання входить: система автоматизованого управління; система навігації та позиціонування; система електроживлення; бортовий самописець; додаткове обладнання в консолях крила [2; 3].

Планер виконаний за схемою високоплана з переднім розміщенням двигуна і тяговим гвинтом. Побудований з композиційних матеріалів високої міцності. Двигун літального апарату, який вкритий діелектричним капотом, знаходиться в носовій частині фюзеляжу. Кіль і стабілізатор виконані з композиційних матеріалів, причому кіль має пропорційно більшу площину поверхні, ніж стабілізатор.

Короткі льотно-технічні характеристики БпЛА "Орлан-10" [2; 3] приведені в табл. 1:

Таблиця 1

Короткі льотно-технічні характеристики БпЛА "Орлан-10"

Розмах крила, м	3,1
Довжина, м	2
Злітна маса, кг	14
Корисне навантаження, кг	5
Вага/корисне навантаження, кг	4
Радіус дії, км	500-1000
Швидкість, км/год	70-150
Практична стеля, м	5000
Модель камери (кількість пікселів)	Canon EOS 5D Mark II (21Mpix)
Максимальна роздільна здатність фотографій, см/піксель	1,5
Додаткове корисне навантаження	тепловізор FLIR Tau640 (діапазон 7,5-13,5мкм) відеокамери 2 Mpix
GPS- приймач	JAVAD TRE - G3T
Тип двигуна	бензиновий, чотири-тактний

## 2. Моделювання БпЛА "Орлан-10"

Скористаємося способом моделювання як діелектричних, так і ідеально провідних ділянок поверхні об'єкта, що запропонований в [4]. Всі елементи поверхні об'єкта, що розсіюють, розбиваються на кілька груп: гладка частина поверхні та кромочні локальні ділянки розсіювання. Гладка частина поверхні апроксимується ділянками тривісних еліпсоїдів. Кромочні локальні ділянки досліджуваного об'єкта моделюються за допомогою ділянок прямих ліній або еліпсів.

Оскільки габаритні розміри БпЛА "Орлан-10" становлять кілька метрів, то в сантиметровому діа-

пазоні довжин хвиль опромінення БпЛА являє собою розсіювач великих електричних розмірів. У такому разі до повністю ідеально провідного об'єкта можуть бути застосовані асимптотичні методи короткохвильової дифракції, такі як методи фізичної і геометричної оптики в їх класичній інтерпретації. У БпЛА частиною, що істотно розсіює, є металевий об'ємний об'єкт, що знаходиться під діелектричною оболонкою.

Розрахунок вкладу діелектричних елементів у загальне поле, а також врахування взаємодії діелектричної оболонки з внутрішнім ідеально провідним об'єктом проводився на основі розроблених авторами методів [5; 6].

В загальному вигляді модель БпЛА "Орлан-10" являє собою внутрішні металеві елементи бортового обладнання, які вкриті зовнішньою діелектричною оболонкою (рис. 2).

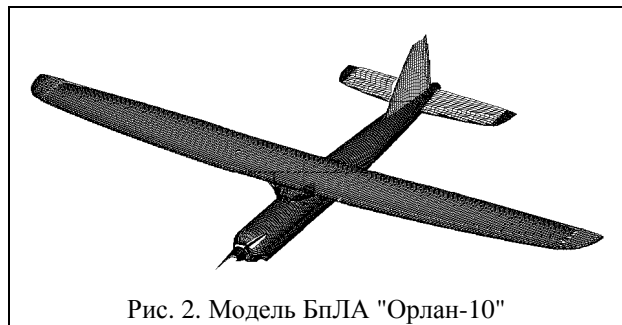


Рис. 2. Модель БпЛА "Орлан-10"

Моделювання поверхні проводилося у відповідності з методом, викладеним в [4], а саме:

- моделювання металевих (ідеально провідних) елементів конструкції;
- моделювання поверхні елементів конструкції, що знаходиться під діелектричною оболонкою;
- моделювання поверхні діелектричних елементів.

При моделюванні поверхні діелектричної оболонки було використано 23 частини тривісних еліпсоїдів. При моделюванні поверхні внутрішніх металевих елементів було використано 22 частини тривісних еліпсоїдів та 16 прямолінійних кромок.

## 3. Визначення висот польоту БпЛА "Орлан-10" під час виконання бойового завдання та оцінка кутів місця зондування радіолокаційними засобами ЗРК "Оса-АКМ"

БпЛА "Орлан-10" є всепогодним засобом розвідки, який дозволяє виконувати завдання вдень і вночі з можливістю діяти автономно. Точність роботи бортових навігаційних систем забезпечується корекцією за допомогою приймачів систем GPS (ГЛОНАСС). Причому БпЛА дозволяє передавати розвідувальну інформацію з координатною прив'язкою в режимі реального часу та вести її запис в ході польоту [2; 3].

Оцінимо діапазон можливих висот польоту БпЛА виходячи з покладених на нього завдань і технічних характеристик бортових засобів розвідки, які застосовуються. Важливою характеристикою оптико-електронних засобів розвідки є детальність зображення (роздільна здатність), що отримується за результатами розвідки і визначає можливість розпізнавання об'єктів.

Детальність зображень оптико-електронної системи ( $D$ ) пов'язана із фокусною відстанню ( $F$ ) і висотою польоту БпЛА ( $H$ ). Співвідношення, яке пов'язує вказані величини, за умови, що на 1 піксель зображення доводиться 3 елемента розрізнення матриці, може бути записано наступним чином:

$$H \approx \frac{D \cdot F}{3 \cdot \delta D}, \quad (1)$$

де  $\delta D$  – лінійний розмір елемента розрізнення матриці електронного оптичного пристрою.

Фізичні розміри елементів розрізнення болометричних матриць бортових тепловізорів (довжина хвилі  $\lambda_{\text{тв}}=7,5-13,5$  мкм) значно більші за розміри елементів розрізнення бортових оптико-електронних пристроїв видимого діапазону (довжина хвилі  $\lambda_{\text{в}}=380-780$  нм). Тому виходячи з (1) при інших рівних умовах нижню межу ведення повітряної розвідки БпЛА доцільно оцінювати виходячи з характеристик бортових тепловізорів.

Використаємо дані про можливості бортових тепловізорів БпЛА (табл. 1) з метою визначення детальності зображень, яку отримує протиборча сторона в ході повітряної розвідки.

В якості прикладу на рис. 3 наведено залежності детальності зображень тепловізорів ( $D_{\text{тв}}$ ) від висоти польоту ( $H$ ) БпЛА "Орлан-10", в якому застосовано тепловізійні камери лінійки FLIR Tau640 з елементом розрізнення  $\delta_{\text{тв}}=17$  мкм [6; 7] для різних значень фокусної відстані оптичних систем ( $F$ ), що можуть бути використані із даним тепловізором ( $F=9$  мм; 13 мм; 19 мм; 25 мм), оскільки відкриті дані щодо фокусної відстані відсутні.

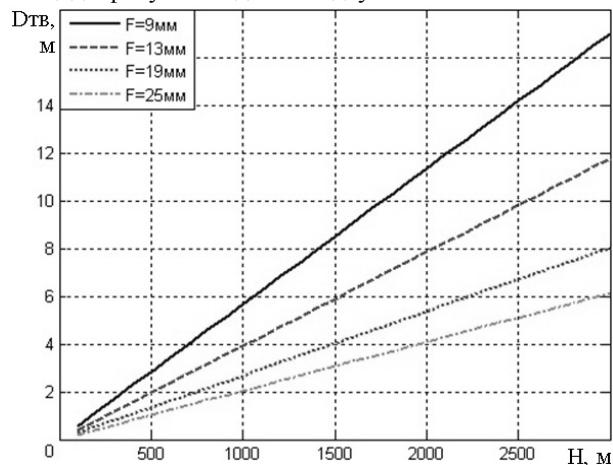


Рис. 3. Залежності детальності тепловізора від висоти польоту БпЛА "Орлан-10"

Виходячи з [8] при польотах вночі на висотах до 500 м забезпечується детальність зображення до 1 м, що дозволяє вести детальну розвідку з метою виявлення конкретних місць скупчень озброєння і військової техніки та її ідентифікації, коректування вогню і оцінки результатів вогневих ударів. Тому в якості нижньої межі висоти бойового застосування БпЛА "Орлан-10" доцільно обрати висоту ведення детальної розвідки вночі (в умовах поганої видимості) 500 метрів.

Верхню межу ведення детальної розвідки БпЛА проведемо за виразом (1) за величиною детальності зображення, що отримує електронно-оптична система у видимому діапазоні.

В якості прикладу на рис. 4 наведено залежності детальності від висоти польоту БпЛА "Орлан-10", обладнаного фотокамерою Canon EOS 5D Mark II з лінійним розміром елемента розрізнення матриці  $\delta_{\text{в}}=6,41$  мкм для різних типових значень фокусної відстані змінної оптичної системи, що може застосовуватися.

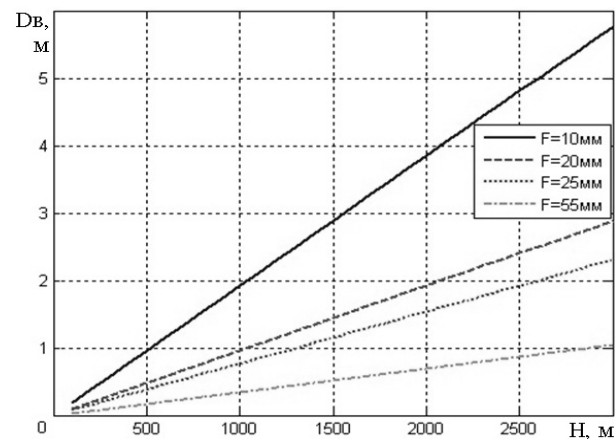


Рис. 4. Залежності детальності фотокамери Canon EOS 5D Mark II від висоти польоту БпЛА "Орлан-10" для різних типових значень фокусної відстані змінної оптичної системи

Виходячи з [8] при польотах вдень на висотах до 1500 м забезпечується детальність зображення до 1 м, що дозволяє виконувати такі ж завдання, як і вночі (в умовах поганої видимості). Тому в якості верхньої межі висоти бойового застосування БпЛА доцільно обрати висоту ведення детальної розвідки в умовах нормальної видимості (вдень) 1500 метрів.

Оскільки ЕПР суттєво залежить від кутів місця зондування цілі, проведемо оцінку типових кутів зондування цілі радіолокаційних засобів ЗРК "Оса-АКМ". У якості радіолокаційних засобів вищезазначеного ЗРК використовуються станція виявлення цілей (СВЦ) та станція супроводження цілей (ССЦ).

СВЦ являє собою радіолокаційну станцію кругового огляду. Має високу ступінь захисту від завад. Вирішує завдання виявлення повітряних цілей і ви-

дає їх координати місцезнаходження. Можливості антени забезпечують виявлення цілі типу винищувач на відстанях до 40 км і 27 км при висоті польоту 5000 метрів і 50 метрів відповідно. Працює в діапазоні частот 6-8 ГГц [1].

ССЦ здійснює пошук цілей за даними, отриманими від СВЦ. Здійснює захоплення і автосупроводження цілей по кутовим координатам і дальності та видає точні поточні координати на лічильно-вирішальний прилад. ССЦ дозволяє захоплювати і супроводжувати цілі на дальності до 23 км і 14 км при висоті польоту 5000 метрів і 50 метрів відповідно. Станція має захист від пасивних і активних завад. Працює в діапазоні частот від 14,2 ГГц до 14,8 ГГц [1].

Кут місця зондування  $\epsilon_{\text{БпЛА}}$  в залежності від висоти польоту БпЛА в діапазоні дальності роботи СВЦ та ССЦ можна оцінити як:

$$\epsilon_{\text{БпЛА}} = \arcsin\left(\frac{H}{R}\right) \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (2)$$

де R – горизонтальна дальність до БпЛА.

Таким чином, відповідно до виразу (2) кут місця зондування радіолокаційних засобів ЗРК 9К33МЗ "Оса-АКМ" при висоті польоту БпЛА "Орлан-10" 500 метрів дорівнює приблизно 2,5°, при висоті польоту 1000 метрів – 5° та при висоті польоту 1500 метрів – 7,5°.

#### 4. Розрахунок вторинного випромінювання моделі БпЛА "Орлан-10" для різних кутів місця зондування та оцінка дальності виявлення радіолокаційними засобами самохідного зенітного ракетного комплексу 9К33МЗ "Оса-АКМ"

Отримана модель БпЛА "Орлан-10" (рис. 2) дозволяє розрахувати діаграми зворотного вторинного випромінювання (ДЗВВ) для визначених частот СВЦ та ССЦ. Під час оцінки вторинного випромінювання вказаного літального апарату діелектрична оболонка моделювалась як одношарова конструкція з відносною діелектричною проникністю  $\epsilon' = 3,2 + j0,1$  товщиною  $\Delta = 0,8$  мм. У зв'язку з тим, що кут місця зондування  $\epsilon_{\text{БпЛА}}$  змінюється в малому діапазоні ( $5^\circ \pm 2,5^\circ$ ) ДЗВВ змінюється несуттєво.

На рис. 5 представлено ДЗВВ для кута місця зондування  $\epsilon_{\text{БпЛА}} = 5^\circ$  (частота сигналу СВЦ 7 ГГц, поляризація – горизонтальна).

На рис. 6 представлено ДЗВВ для кутів місця зондування  $\epsilon_{\text{БпЛА}} = 5^\circ$  (частота сигналу ССЦ 14,5 ГГц, поляризація – горизонтальна).

ДЗВВ (рис. 5, рис. 6) показують, що максимальні значення ЕПР БпЛА, що розглядається, знаходяться в межах  $0^\circ..3^\circ, 87^\circ..93^\circ, 177^\circ..180^\circ$ . Це обумо-

влено тим, що електромагнітна хвиля для цих ракурсів опромінення падає практично ортогонально до деяких елементів поверхні літального апарату, що досліджується.

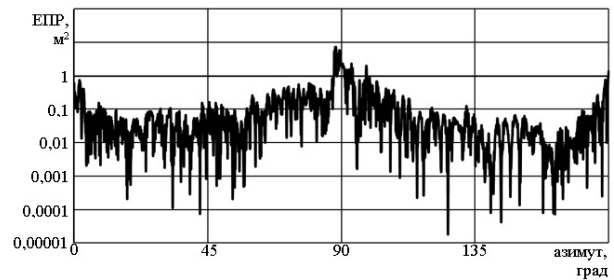


Рис. 5. ДЗВВ БпЛА "Орлан-10" для частоти зондування СВЦ 7 ГГц при куті місця зондування  $\epsilon_{\text{БпЛА}} = 5^\circ$

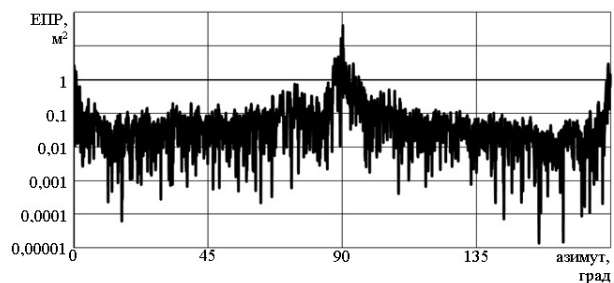


Рис. 6. ДЗВВ БпЛА "Орлан-10" для частоти зондування ССЦ 14,5 ГГц при куті місця зондування  $\epsilon_{\text{БпЛА}} = 5^\circ$

Як відомо [9], максимальна дальність дії РЛС – це найбільша відстань між станцією і об'єктом, на якій об'єкт може бути виявлений з заданими показниками якості.

Оцінимо максимальну дальність дії ( $R_{\text{max}}$ ) СВЦ і ССЦ ЗРК 9К33МЗ "Оса-АКМ" за наступною формулою:

$$R_{\text{max}} = R_0 \sqrt[4]{\frac{\sigma_{\text{БпЛА}}}{\sigma_0}}, \quad (3)$$

де  $R_0$  – дальність виявлення типової цілі (для СВЦ 31,6 км, для ССЦ 25,3 км);  $\sigma_0$  – ЕПР типової цілі ( $1 \text{ м}^2$ );  $\sigma_{\text{БпЛА}}$  – ЕПР БпЛА "Орлан-10" для відповідного кутового положення радіолокаційних засобів ЗРК 9К33МЗ "Оса-АКМ".

В табл. 2 приведені середні значення ЕПР і максимальні дальності виявлення БпЛА "Орлан-10" для десятиградусних діапазонів азимутів опромінення СВЦ ЗРК 9К33МЗ "Оса-АКМ" (умовна ймовірність правильного виявлення 0,7; умовна ймовірність хибної тривоги  $10^{-6}$ ; поляризація – горизонтальна) при різних кутах місця зондування.

В табл. 3 приведені середні значення ЕПР і максимальні дальності виявлення БпЛА "Орлан-10"

для десятиградусних діапазонів азимутів опромінення ССЦ ЗРК 9К33МЗ "Оса-АКМ" (умовна ймовірність правильного виявлення 0,95; умовна ймовірність хибної тривоги  $10^{-4}$ ; поляризація – горизонтальна) при різних кутах місця зондування.

Таблиця 2

Середні значення ЕПР і дальності виявлення БпЛА "Орлан-10" для десятиградусних діапазонів азимутів опромінення СВЦ ЗРК 9К33МЗ "Оса-АКМ" при різних кутах місця зондування

Азимут, град	Середня ЕПР, м <sup>2</sup>			Максимальна дальність виявлення, км		
	2,5 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	7,5 <sup>0</sup>	2,5 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	7,5 <sup>0</sup>
1	2	3	4	5	6	7
0-10	0,120	0,133	0,121	18,60	19,08	18,64
10-20	0,027	0,028	0,028	12,81	12,93	12,93
20-30	0,033	0,038	0,030	13,47	13,95	13,15
30-40	0,038	0,029	0,023	13,95	13,04	12,31
40-50	0,039	0,045	0,064	14,04	14,55	15,89
50-60	0,029	0,041	0,056	13,04	14,22	15,37
60-70	0,108	0,125	0,109	18,12	18,79	18,16
70-80	0,228	0,231	0,201	21,84	21,91	21,16
80-90	1,329	1,055	0,736	33,93	32,03	29,27
90-100	0,973	0,636	0,598	31,38	28,22	27,79
100-110	0,205	0,186	0,114	21,26	20,75	18,36
110-120	0,043	0,050	0,054	14,39	14,94	15,23
120-130	0,039	0,037	0,040	14,04	13,86	14,13
130-140	0,028	0,022	0,018	12,93	12,17	11,57
140-150	0,020	0,021	0,019	11,88	12,03	11,73
150-160	0,019	0,018	0,012	11,73	11,57	10,46
160-170	0,012	0,009	0,008	10,46	9,73	9,45
170-180	0,157	0,132	0,115	19,89	19,05	18,40

Таблиця 3

Середні значення ЕПР і дальності виявлення БпЛА "Орлан-10" для десятиградусних діапазонів азимутів опромінення ССЦ ЗРК 9К33МЗ "Оса-АКМ" при різних кутах місця зондування

Азимут, град	Середня ЕПР, м <sup>2</sup>			Максимальна дальність виявлення, км		
	2,5 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	7,5 <sup>0</sup>	2,5 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	7,5 <sup>0</sup>
0-10	0,194	0,189	0,178	16,79	16,68	16,43
10-20	0,024	0,027	0,027	9,96	10,26	10,26
20-30	0,028	0,034	0,042	10,35	10,86	11,45
30-40	0,043	0,046	0,046	11,52	11,72	11,72
40-50	0,044	0,050	0,046	11,59	11,96	11,72
50-60	0,044	0,043	0,064	11,59	11,52	12,73
60-70	0,098	0,081	0,102	14,16	13,50	14,30
70-80	0,135	0,139	0,105	15,34	15,45	14,40
80-90	1,804	0,958	0,525	29,32	25,03	21,54
90-100	1,768	1,052	0,507	29,17	25,62	21,35
100-110	0,093	0,105	0,131	13,97	14,40	15,22
110-120	0,036	0,043	0,041	11,02	11,52	11,38
120-130	0,047	0,043	0,045	11,78	11,52	11,65
130-140	0,023	0,030	0,033	9,85	10,53	10,78
140-150	0,029	0,026	0,028	10,44	10,16	10,35
150-160	0,021	0,019	0,019	9,63	9,39	9,39
160-170	0,020	0,020	0,018	9,51	9,51	9,27
170-180	0,207	0,205	0,195	17,07	17,02	16,81

Як показують наведені дані (табл. 2, табл. 3), навіть для одного БпЛА "Орлан-10" в залежності від його ракурсу максимальна дальність дії у всьому діапазоні азимутальних кутів опромінення суттєво змінюється. Наприклад, для СВЦ різниця між максимальним та мінімальним значенням максимальної дальності дії для приведених кутів опромінення в межах 180° за азимутом в середньому складає 16,75 км, а для ССЦ – 13,71 км. Для СВЦ різниця між максимальним та мінімальним значенням середньої ЕПР об'єкту, що досліджується, в межах 180° за азимутом в середньому складає 0,160 м<sup>2</sup>, а для ССЦ – 0,184 м<sup>2</sup>. Це свідчить про те, що для точної оцінки можливостей радіолокаційних засобів ЗРК 9К33МЗ "Оса-АКМ" з виявлення цілей, слід враховувати особливості вторинного випромінювання аеродинамічних об'єктів з малою ЕПР.

## Висновки

У статті побудована геометрична модель безпілотного літального апарату "Орлан-10".

Визначені висоти польоту БпЛА "Орлан-10" під час виконання бойового завдання вночі (в умовах поганої видимості) та вдень.

Проведена оцінка кутів місця зондування БпЛА радіолокаційними засобами ЗРК "Оса-АКМ".

На основі розроблених авторами високочастотних методів оцінювання вторинного випромінювання безпілотних літальних апаратів, створених із застосуванням композиційних матеріалів, отримані результати моделювання характеристик вторинного випромінювання моделі безпілотного літального апарату для частот радіолокаційних засобів ЗРК "Оса-АКМ" при різних кутах опромінення та проведено їх аналіз.

Оцінено максимальні дальності виявлення БпЛА "Орлан-10" станцією виявлення цілей та станцією супроводження цілей самохідного зенітного ракетного комплексу 9К33МЗ "Оса-АКМ" для десятиградусних діапазонів азимутів опромінення (умовна ймовірність правильного виявлення 0,9; умовна ймовірність хибної тривоги  $10^{-7}$ ) при різних кутах місця зондування.

Дальність виявлення БпЛА "Орлан-10" радіолокаційними засобами ЗРК "Оса-АКМ" в середньому складає 10..29 км, що суттєво перебільшує дальність розвідки даного літального апарату. Це дозволяє бойовій обслузі ЗРК "Оса-АКМ" виконати низку заходів по виявленню, супроводженню, наведенню ракет та знищенню цього літального апарату до перетину ним рубежу виконання завдання.

Параметри зони виявлення радіолокаційними засобами зенітного ракетного комплексу 9К33МЗ "Оса-АКМ", що отримано, дозволяють виконувати комплекс заходів по формуванню позиційного району підрозділів, вирішувати низку інших тактич-

них завдань та надає можливість підвищити ефективність протидії БпЛА "Орлан-10".

### Список літератури

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Оса\\_\(зенитный\\_ракетный\\_комплекс\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Оса_(зенитный_ракетный_комплекс)).

2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://robotrends.ru/robotrends/orlan-10m>.

3. Шевченко А.Ф. Аналіз льотно-технічних характеристик і тактики застосування безпілотних літальних апаратів і визначення шляхів щодо протидії ним / А.Ф. Шевченко // Збірник матеріалів проведення науково-практичного семінару кафедри розвідки командно-штабного інституту застосування військ (сил) Тема: "Оборона держави. Досвід, перспективи підготовки і застосування видів Збройних Сил України та інших військових формувань». – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 06.10.2015. – С. 14.

4. 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.

5. Высокочастотный метод расчета вторичного излучения модели фюзеляжа беспилотного летательного аппарата / И.Е. Ряполов, В.А. Василец, О.И. Сухаревский, К.И. Ткачук // Системы озброєння і військова техніка. – 2014. – № 1(37). – С. 222-225.

6. Ряполов И.Е. Высокочастотный метод расчета рассеяния вторичного излучения диэлектрических частей модели беспилотного летательного аппарата / И.Е. Ряполов, В.А. Василец, О.И. Сухаревский // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2014. – Вып. 2(118). – С. 58-62.

7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.uav.ru>.

8. Повітряна розвідка [Мосов В.П і др.]; под ред. В.П. Мосова. – К.: КВИАУ. ім. Жуковського. – 312 с.

9. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник / под ред. Я. Д. Ширмана. – 2-е изд., перераб. доп. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

Надійшла до редколегії 15.09.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. С.П. Лещенко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

#### ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОН ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА "ОРЛАН-10" РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ СРЕДСТВАМИ САМОХОДНОГО ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА 9К33МЗ "ОСА-АКМ"

О.И. Сухаревский, В.А. Василец, И.Е. Ряполов

В статье построена геометрическая модель беспилотного летательного аппарата "Орлан-10". На основе разработанных авторами высокочастотных методов оценивания вторичного излучения беспилотных летательных аппаратов, созданных с применением композиционных материалов, получены характеристики вторичного излучения модели беспилотного летательного аппарата для различных углов облучения и проведен их анализ. Оценена максимальная дальность обнаружения беспилотного летательного аппарата "Орлан-10" радиолокационными средствами самоходного зенитного ракетного комплекса 9К33МЗ "Оса-АКМ".

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, высокочастотный метод расчета, зенитный ракетный комплекс, эффективная поверхность рассеяния.

#### THE ESTIMATION OF PARAMETERS OF THE DETECTION ZONES OF THE UAV "ORLAN-10" RADAR EQUIPMENT SELF-PROPELLED ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEM 9K33M3 "OSA-AKM"

O.I. Sukharevsky, V.A. Vasilets, I.Ye. Riapolov

The article builds up a geometrical model of the UAV "Orlan-10". On the basis of developed by authors tannah high-frequency methods for estimating secondary radiation unmanned aerial vehicles, created with the use of composite materials, the obtained characteristics of the secondary emission model of UAV for different angles of irradiation and their analysis. Estimated maximum detection range of the UAV "Orlan-10" radar equipment the creep strength of anti-aircraft missile complex 9K33M3 "Osa-AKM".

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, high-frequency calculation method, anti-aircraft missile system, the effective surface scattering.