

Г. В. Худов<sup>1</sup>, Г. В. Місюк<sup>1</sup>, О. О. Олексенко<sup>1</sup>, Р. Ю. Райков<sup>2</sup>, О. О. Безклубенко<sup>1</sup>, В. Ю. Добрев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup> Військова частина А1451, Україна

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИМИ ЗАСОБАМИ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

**Предметом** вивчення в статті є шляхи підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів радіолокаційними засобами контролю повітряного простору. **Метою** є аналіз існуючих шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів радіолокаційними засобами контролю повітряного простору. **Завдання:** аналіз основних тенденцій розвитку малорозмірних повітряних об'єктів щодо зменшення їх радіолокаційної помітності, основних льотно-технічних характеристик малорозмірних повітряних об'єктів, тенденцій розвитку радіолокаційних систем контролю повітряного простору, основних методів зниження ефективної поверхні розсіювання, методів виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, визначення особливостей радіолокаційного виявлення малорозмірних повітряних об'єктів. Використовуваними **методами** є: методи аналізу і синтезу складних інформаційних систем, методи радіолокації, методи імітаційно-статистичного моделювання. Отримані такі **результати**. Встановлено, що при вирішенні завдання контролю повітряного простору виникає невідповідність між вимогами до ефективності вирішення завдань радіолокаційного контролю, а саме, виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, та можливостями сучасних засобів ведення радіолокаційного контролю повітряного простору. Встановлено, що використання традиційних методів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів приводить до збільшення потрібної кількості радіолокаційних станцій, збільшенню споживаної потужності та, як наслідок, до збільшення вартості створення та утримання чергового радіолокаційного поля. Визначені альтернативні шляхи підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів радіолокаційними засобами контролю повітряного простору. **Висновки.** Напрямок подальших досліджень є використання сучасних радіолокаційних технологій, що потребують розробки та впровадження.

**Ключові слова:** контроль повітряного простору, малорозмірний повітряний об'єкт, радіолокаційна станція, радіолокаційний контроль, безпілотний літальний апарат, ефективність виявлення, зона виявлення, ефективна поверхня розсіювання.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** У теперішній час завдання контролю повітряного простору України покладені на органи організації повітряного руху у зонах своєї відповідальності та підрозділи радіотехнічних військ (РТВ) Повітряних сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України, що залучаються до виконання завдань контролю за використанням повітряного простору України [1–3].

Контроль за дотриманням порядку використання повітряного простору України всіма повітряними суднами здійснюється на основі даних радіолокаційного та диспетчерського контролю [2]. Радіолокаційний контроль (РЛК) полягає у безперервному стеженні об'єктами радіолокаційних станцій (РЛС) за польотами повітряних суден та визначенні їх належності засобами державного розпізнавання. РЛК здійснюється в зонах виявлення чергових РЛС, а також додаткових РЛС, що включаються для контролю та виконання інших завдань [2]. Функції РЛК покладається виключно на РТВ ПС [3].

В сучасних умовах вирішення завдань РЛК з необхідними показниками ефективності ускладняється появою малорозмірних повітряних об'єктів (ПО). Таким чином, при вирішенні завдання контролю повітряного простору виникає невідповідність між вимогами до ефективності вирішення завдань РЛК, а саме, виявлення малорозмірних ПО, та можливостями сучасних засобів ведення РЛК повітряного простору.

**Мета статті** – провести аналіз існуючих шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО радіолокаційними засобами контролю повітряного простору.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інформаційна модель системи спостереження повітряного простору запропонована в [2, 3]. В роботах [2, 3] розглянуто основні інформаційні потоки взаємодії функції контролю повітряного простору з операційним середовищем та основні і додаткові функції під час обміну даними повітряного контролю. Контроль повітряного простору визначається як спосіб своєчасного виявлення ПО та визначення його місцеположення і своєчасне надання цієї інформації користувачам системи контролю повітряного простору [3].

В роботі [3] визначаються такі категорії контролю повітряного простору:

1. Незалежне некооперативне спостереження:
  - первинні системи спостереження.
2. Незалежне кооперативне спостереження:
  - вторинні системи спостереження;
  - мультилатерація (MLAT).
3. Залежне кооперативне спостереження:
  - ADS-C;
  - ADS-B.

### Основна частина

Основні тенденції розвитку малорозмірних ПО на сучасному етапі обумовлені впровадженням сучасних технологій та полягають у такому [4, 5]:

- покращення льотно-тактичних характеристик ПО;
- вдосконалення бортового радіоелектронного обладнання та вогневих засобів ураження;
- впровадження безпілотного управління та новітніх інформаційних технологій;
- зменшення радіолокаційної помітності.

Малорозмірним ПО притаманні специфічні льотно-технічні характеристики, а саме [5]:

- малі ефективні поверхні розсіяння (ЕПР);
- широкий діапазон швидкостей руху;
- здійснення скритих польотів на середніх, малих та гранично малих висотах з використанням рельєфу місцевості.

Указані особливості значно ускладнюють задачу виявлення малорозмірних ПО.

При створенні перспективних малорозмірних ПО значна увага приділяється зменшенню їх радіолокаційної помітності, оскільки це зменшує імовірність виявлення малорозмірних ПО радіолокаційними засобами та підвищує можливості таких ПО щодо успішного подолання системи протиповітряної оборони [5, 6].

Зменшення радіолокаційної помітності малорозмірних ПО нерозривно пов'язане зі зниженням їх ЕПР. Основними методами зниження ЕПР є зменшення розмірів, надання об'єктам спеціальних маловідбивальних форм, застосування систем активного маскування, радіопоглинаючих покриттів та композитних матеріалів.

Зниження значень ЕПР в перших малорозмірних ПО (винищувач F-117 Night Hawk, стратегічний бомбардувальник B-2 Spirit), які створювались в рамках технології Stealth, досягалося за рахунок форми планера.

Напрями відбиття сигналів від поверхонь цих літаків сконцентровані у декількох вузьких секто-

рах, а не розподілені рівномірно, як у випадку звичайних літаків [7]. Зниження значень ЕПР в сучасних малопомітних винищувачах п'ятого покоління (МиГ-29, МиГ-21, Су-47) в основному забезпечується за рахунок застосування систем активного маскування та радіопоглинаючих матеріалів і покриттів [7, 8].

Середні значення моностатичної ЕПР для літаків, виконаних з використанням технології Stealth, наведено в табл. 1.

Іншим напрямком розвитку малорозмірних ПО щодо зменшення їх радіолокаційної помітності є створення безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

У теперішній час на озброєнні, наприклад, армії Російської Федерації знаходяться БПЛА типу "Орлан-10", "Застава", "Гранат", "Леер", "Форпост", "Тахікон", "ZALA" та інші [5].

При цьому, на прикладі БПЛА, особливостями радіолокаційного виявлення малорозмірних ПО є:

- мала дальність виявлення;
- знаходження БПЛА в зоні засвіток від місцевих предметів, що вимагає включення апаратури захисту від пасивних завад, що, в свою чергу, зменшує дальність виявлення;
- відсутність оповіщення про дії БПЛА від інших підрозділів внаслідок того, що БПЛА, як правило, діють в зоні лише одного підрозділу.

Зменшення ЕПР ПО приводить до зменшення потенціальної дальності їх виявлення. Ця залежність може бути оцінена за виразом (1):

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt[4]{\sigma_2/\sigma_1}, \quad (1)$$

де  $D_1$  – дальність виявлення ПО з ЕПР  $\sigma_1$ ;  $D_2$  – дальність виявлення ПО з ЕПР  $\sigma_2$ .

Значення ЕПР малорозмірних ПО, як радіолокаційних цілей, наведено в табл. 2.

Таблиця 1 – Середні значення моностатичної ЕПР ПО для різних діапазонів довжин хвиль

Назва ПО	T-50	F-117A	B-2A	AGM-86	F-22	UAV RQ-1
ЕПР (м <sup>2</sup> ) для $\lambda=3$ см	0,2	0,1	0,07	0,09	0,01	0,005
ЕПР (м <sup>2</sup> ) для $\lambda=10$ см	0,7	0,5	0,1	0,6	0,07	0,01
ЕПР (м <sup>2</sup> ) для $\lambda=180$ см	2,5	2	0,66	1,3	0,46	0,3

Таблиця 2 – Узагальнені характеристики малорозмірних БПЛА

Розмах крила, м	1,5 - 7	Зменшення зони виявлення (відносно МиГ-29)
Висота польоту, м	300 - 6000	
Швидкість польоту, км/год	65 - 170	
ЕПР ( $\lambda=3$ см), м <sup>2</sup>	0,005 - 0,2	0,2 - 0,5
ЕПР ( $\lambda=10$ см), м <sup>2</sup>	0,01 - 0,7	0,2 - 0,7
ЕПР ( $\lambda=180$ см), м <sup>2</sup>	0,3 - 2,5	0,5 - 0,8

З аналізу табл. 2 видно, що найбільш суттєве зменшення зони виявлення РЛС спостерігається в сантиметровому діапазоні, а найменше – в метровому діапазоні. Це зумовлено особливостями відбиття

радіохвиль від малорозмірних ПО в метровому діапазоні.

Таким чином, основними тенденціями розвитку сучасних малорозмірних повітряних об'єктів щодо

зменшення їх радіолокаційної помітності є такі:

- зменшення геометричних розмірів, що обумовлює зниження ЕПР;
- реалізація можливості зменшення швидкості польоту, що обумовлює режекцію ПО в системах селекції рухомих цілей разом з відбиттями від місцевих предметів;
- використання технологій Stealth, що обумовлює зниження значення моностатичної ЕПР;
- використання композитних матеріалів, що обумовлює зниження ЕПР до величин  $(0,005-0,1) \text{ м}^2$ ;
- застосування малопотужних економічних двигунів, що робить політ БПЛА практично безшумним;
- зменшення вартості розробки та експлуатації БПЛА у порівнянні з вартістю сучасних пілотованих засобів, що виконують аналогічні функції.

Це приводить до погіршення ефективності виявлення малорозмірних ПО в оглядових РЛС, які знаходяться на озброєнні РТВ ПС ЗС України, що обумовлюється малими значеннями ЕПР ПО  $(0,005-0,3) \text{ м}^2$ .

Створення і підтримка суцільного радіолокаційного поля (РЛП) на малих, середніх та великих висотах залишається важливим завданням РТВ ПС ЗС України [9]. Від якості РЛП, що створюється, залежить успішність виконання завдань з ведення радіолокаційного контролю повітряного простору противника. У теперішній час виконання цього завдання ускладнюється внаслідок зменшення радіолокаційної помітності сучасних малорозмірних ПО.

РЛК повітряного простору ведеться за допомогою засобів радіолокації, які знаходяться на озброєнні РТВ ПС ЗС України.

Основними РЛС є 5Н84А та модернізована РЛС 5Н84МА, РЛС П-18 та її модифікації РЛС П-18МУ, РЛС П-18МА, РЛС П-18 "Малахіт".

За результатами аналізу тактико-технічних характеристик (ТТХ) засобів радіолокації радіотехнічних підрозділів ПС ЗС України [10] впливає, що вони були розраховані на виявлення повітряних цілей типу винищувача МиГ-21 (МиГ-29). Тому при виявленні сучасних та перспективних малопомітних та малорозмірних ПО спостерігається погіршення можливостей РЛС, які знаходяться на озброєнні РТВ. Експериментальних даних про відбивні властивості малорозмірних ПО не існує, тому використовуються тільки розрахункові значення ЕПР БПЛА.

Зменшення розмірів зон виявлення окремих РЛС приводить до порушення суцільності РЛП і утворенню розривів, які можуть досягати до 80% від потрібного розміру суцільного РЛП.

Розрахуємо можливість виявлення малорозмірних ПО сучасними РЛС типу "Малахіт" (П-18МА) та РЛС 35Д6 (19Ж6). Розрахунок зони виявлення означених цілей будемо проводити в припущенні розташування РЛС на ідеальних позиціях. Вертикальний переріз зони виявлення у загальному вигляді описується виразом (2) [9]:

$$r(\epsilon) = r_0 F_0(\epsilon) F_3(\epsilon), \quad (2)$$

де  $r_0$  – максимальна дальність виявлення цілі РЛС у вільному просторі;  $F_0(\epsilon)$  – діаграма спрямованості антени у вільному просторі;  $F_3(\epsilon)$  – інтерференційний множник Землі.

Форми та розміри зон виявлення малорозмірних ПО РЛС "Малахіт" (П-18МА) та наведені на рис. 1, 2, а РЛС 35Д6 (19Ж6) – на рис. 3.

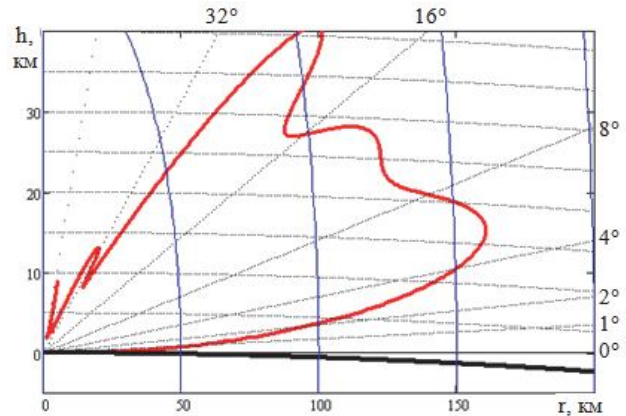


Рис. 1. Вертикальний переріз зони виявлення малорозмірних ПО РЛС "Малахіт" (П-18МА) при роботі зі штатною антеною

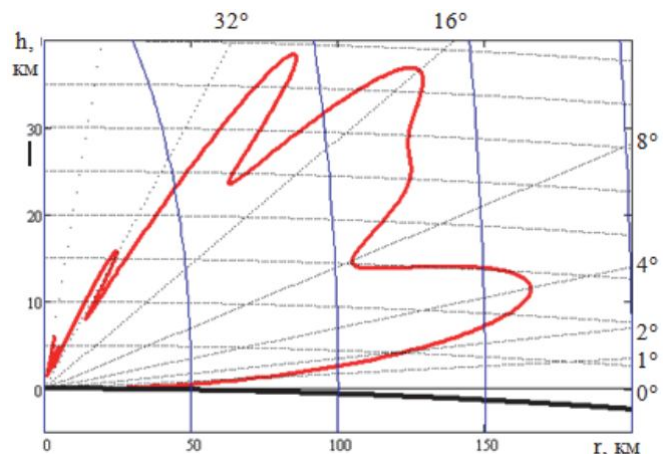


Рис. 2. Вертикальний переріз зони виявлення малорозмірних ПО РЛС "Малахіт" (П-18МА) при піднятті антени на дві секції

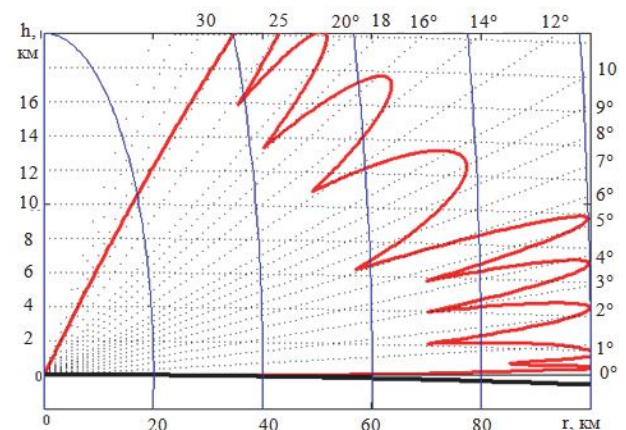


Рис. 3. Вертикальний переріз зони виявлення малорозмірного ПО РЛС 35Д6 (19Ж6) в черговому режимі

Проведені розрахунки дозволили визначити, що сучасні РЛС, які знаходяться на озброєнні частин та підрозділів РТВ, можуть забезпечити виявлення БПЛА типу "Орлан-10": на висотах від 100 до 500 м – на дальностях 15...30 км, на висотах більше 500 м – на дальностях 50...60 км, на висотах більше 1000 м – на дальностях 70...90 км.

Отже, радіолокаційне виявлення БПЛА може здійснюватися так само як і радіолокаційне виявлення аеродинамічних цілей типу "крилата ракета".

Система РЛК повітряного простору повинна забезпечити вирішення таких задач [11]:

- безперервність контролю повітряного простору;
- забезпечення поточною інформацією про повітряну обстановку органів державного та військового управління у мирний та воєнний час;
- своєчасне попередження про повітряний напад;
- забезпечення видачі радіолокаційної інформації з необхідною дискретністю, мінімальним часом запізнювання [12];
- інформаційну підтримку бойових дій усіх видів авіації [13];
- забезпечення контролю порядку перетинання державного кордону;
- забезпечення безпеки польотів авіації, управління повітряним рухом, радіолокаційне забезпечення польотів та перельотів авіації, запобігання конфліктних ситуацій у повітрі та ін.

Для вирішення покладених завдань просторові показники бойових можливостей системи контролю повітряного простору повинні у повній мірі забезпечувати виявлення та супроводження ПО в усьому діапазоні можливих висот та швидкостей їх польоту. Водночас, існуюча система контролю повітряного простору не здатна в повній мірі забезпечити вирішення покладених завдань при застосуванні нових типів малорозмірних ПО.

Традиційними (відомими) організаційними та ехнічними шляхами підвищення ефективності ведення радіолокаційної розвідки малопомітних та малорозмірних цілей є [14]:

- підвищення енергетичного потенціалу та покращення тактико-технічних характеристик РЛС;
- ущільнення розташування РЛС на небезпечних напрямках (створення смуг виявлення маловисотних та малорозмірних цілей);
- одночасне використання РЛС різних діапазонів частот та інші.

Використання традиційних методів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів приводить до збільшення потрібної кількості РЛС, збільшенню споживаної потужності та, як наслідок, до збільшення вартості створення та утримання чергового радіолокаційного поля (РЛП).

Досвід проведення контролю повітряного простору радіолокаційними засобами показав, що дальності радіолокаційного виявлення малорозмірних ПО при різних значеннях ЕПР та в залежності від діапазону засобів радіолокації складають від сотень

метрів (для ЕПР  $0,01 \text{ м}^2$ ) до 20 км (для ЕПР  $0,1 \text{ м}^2$ ), що значно ускладнює роботу оператора по їх своєчасному виявленню.

Вирішення невідповідності між тенденціями зменшення радіолокаційної помітності малорозмірних повітряних об'єктів та можливостями існуючих РЛС щодо їх виявлення потребує розробки нових альтернативних та нетрадиційних шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів.

Враховуючи недоліки традиційних методів, розглянемо альтернативні (нетрадиційні) шляхи підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО, в яких запропоновано використання нових інформаційних технологій:

Для підвищення ефективності радіолокаційного виявлення малорозмірних ПО можливо використання нових інформаційних технологій:

- послідовно-паралельний електронний огляд зони по куту місця та двомірне електронне сканування діаграми спрямованості антен;
- активні, напівактивні та пасивні на передачу фазовані антени решітки;
- цифровий синтез зондуєчих сигналів з різними параметрами: несучою частотою, видом модуляції, шириною смуги, тривалістю, частотою посилок імпульсів;
- цифрове діаграмоутворення фазованої антенної решітки на прийом;
- автоматичний аналіз заводої обстановки та адаптивний вибір засобів та режимів захисту від завад;
- автоматична топографічна прив'язка та орієнтування РЛС по інформації космічних навігаційних систем;
- комплексування РЛС з засобами вторинної радіолокації;
- можливість нарощування РЛС до активно-пасивного комплексу.

Використання наведених вище інформаційних технологій підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО приводить до збільшення потрібної кількості, потужності та технологічної складності РЛС.

Альтернативними шляхами підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО є:

- використання багатопозиційних систем;
- використання енергій сторонніх джерел випромінювання;
- використання властивості збільшення ЕПР при резонансному відбитті електромагнітних хвиль від ПО;
- використання властивостей збільшення бістатичної ЕПР вторинного випромінювання у порівнянні з ЕПР зворотного вторинного випромінювання.

Основні переваги використання багатопозиційних радіолокаційних систем у порівнянні з однопозиційними РЛС наступні:

- підвищення живучості системи за рахунок просторового рознесення приймальних і передавальних позицій;

- можливість формування і динамічного керування необхідною зоною огляду;
- можливість підвищення точності вимірювання просторових координат повітряних об'єктів за рахунок використання далекомірних методів;
- підвищення надійності за рахунок надлишкового числа приймальних і передавальних позицій та інші.

В багатопозиційних системах, що працюють за принципом активної локації, у якості елементів системи використовується типові РЛС. Це вимагає збільшення потрібної кількості РЛС та вартості багатопозиційної системи.

Особливостями багатопозиційних радіолокаційних систем є використання просторово-часових методів обробки сигналів, які приймаються одночасно в просторово-рознесених точках прийому. При цьому використовуються як активні, так і пасивні методи прийому. В даних системах забезпечуються мінімальні енергетичні витрати на функціонування системи. В якості передавача в рознесених радіолокаційних системах, які працюють в полі підсвічування сторонніх передавачів в різних діапазонах довжин хвиль, використовується передавач, що не входить до складу такої системи (зовнішній передавач):

- передавач сигналу стандарту LTE (Long-Term Evolution) – бездротової високошвидкісної системи передачі даних для мобільних телефонів та інших терміналів;
- передавач сигналу супутників, що знаходяться на геостационарній орбіті;
- передавач сигналу стандарту DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) ефірного цифрового телебачення;
- передавач сигналу технології Wi-Fi стандарту IEEE 802.

Для підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО може бути використана властивість бістатичної ЕПР ПО при рознесеному прийомі сигналів від сторонніх джерел випромінювання. При цьому встановлено:

- при значеннях бістатичних кутів менше  $136^{\circ}$ , значення бістатичної ЕПР не перевищує, а в деяких випадках менше на 2–5 дБ, значень моностатичної

ЕПР, що приводить к погіршенню можливостей РЛС по виявленню ПО;

- при значеннях бістатичних кутів близьких до  $180^{\circ}$  значення бістатичної ЕПР значно перевищує значення моностатичної ЕПР (до 30 дБ), що покращує можливості РЛС по виявленню малорозмірних ПО;

– порізанисть діаграми бістатичного розсіювання менше за порізанисть діаграми моностатичного розсіювання, що зменшує мерехтіння (шум) об'єкту та зменшує його вплив на похибки вимірювання координат об'єкту;

- для об'єктів, які виконанні за технологією Stealth, спостерігається збільшення значень бістатичної ЕПР у порівнянні з моностатичною ЕПР.

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Проведено аналіз тенденцій розвитку малорозмірних ПО та показано, що однією із тенденцій є зменшення їх радіолокаційної помітності. Малі значення ЕПР ( $0,005 \dots 0,3 \text{ м}^2$ ) перспективних малорозмірних ПО обумовлюють погіршення ефективності їх виявлення оглядовими РЛС, які знаходяться на озброєнні РТС ПС ЗС України.

Проведено аналіз основних ТТХ РЛС, які знаходяться на озброєнні РТВ ПС ЗС України, та їх можливостей щодо виявлення малорозмірних повітряних об'єктів.

Проведено аналіз існуючих шляхів підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО радіолокаційними засобами контролю повітряного простору.

Встановлено, що використання традиційних методів підвищення ефективності виявлення малорозмірних ПО приводить до збільшення потрібної кількості РЛС, збільшенню споживаної потужності та, як наслідок, до збільшення вартості створення та утримання чергового радіолокаційного поля. Тому напрямком подальших досліджень є використання сучасних радіолокаційних технологій, що потребують розробки та впровадження.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Свид І.В. Синтез структури інформаційного забезпечення споживачів інформаційними системами спостереження повітряного / І. В. Свид, А. І. Обод // Збірник наукових праць ХУПС. — Х.: ХУПС, 2015. — Вип. 2 (43). — С. 67–70.
2. Обод І. І. Інформаційна модель систем спостереження повітряного простору / І. І. Обод, О. О. Стрельницький, В. А. Андрусевич. — Х.: ХНУРЕ, 2015, — 270 с.
3. Обод І. І. Інформаційна модель систем спостереження повітряного простору / І. І. Обод, О. П. Черних, В. В. Заволодько, О. Ю. Ткаченко // Системи обробки інформації. — 2016. — Вип. 5 (142). — С. 35–37.
4. Романченко І.С. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітними цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія / І. С. Романченко, О. М. Загорка, С. Г. Бутенко, О. В. Дейнега. — Житомир: Полісся, 2011. — 344 с.
5. Чепурний В.А. Аналіз тенденцій розвитку та застосування розвідувальних безпілотних літальних апаратів в сучасних мережецентричних та гібридних війнах / В. А. Чепурний, М. В. Бардаков, Г. В. Худов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2015. — Вип. 4. — С. 24–28.
6. Ковалевський С.М. Перспективи розвитку засобів повітряного нападу як об'єктів радіолокаційного виявлення / С.М. Ковалевський, Г. В. Худов, В. І. Боровий // Системи озброєння та військова техніка. — 2014. — №4(40). — С. 31–35.
7. Масалов С.А. Физические основы диапазонных технологий типа "Стелс" / С. А. Масалов, А. В. Рыжак, О. И. Сухаревский, В. М. Шкиль. — Санкт-Петербург: ВИКУ им. А.Ф.Можайского, 1999. — 163 с.
8. Львова Л.А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов. Снежинск: РФЯЦ — ВНИИТФ, 2003. — 232 с.

9. Сухаревський О. І. Оцінювання параметрів зон виявлення безпілотного літального апарату "Орлан-10" радіолокаційними засобами самохідного зенітного ракетного комплексу 9К33МЗ "Оса-АКМ" / О. І. Сухаревський, В.О. Василець, І. Є. Ряполов // Системи озброєння і військова техніка. — 2016. — Вип. 4 (48). — С. 13–18.
10. Вишневський С. Д. Потенційні можливості РЛС РТВ з виявлення оперативного-тактичних та тактичних безпілотних літальних апаратів / С. Д. Вишневський, Л. В. Бейліс, В. Й. Климченко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2017. — Вип. 2 (27). — С. 92–98.
11. Белавін О.В. Світові тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору / О. В. Белавін, В. І. Клімченко, Г. Г. Камалтинов, О. С. Маляренко // Наука і оборона. — 2015. — № 1. — С. 48-53.
12. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.
13. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденцій розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць – Полтава : ПНТУ, 2018. – № 1 (47). – С. 110-113. – DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>.
14. Бочкарев А.М. Радиолокация малозаметных летательных аппаратов / А. М. Бочкарев, М. Н. Долгов // Зарубежная радиоэлектроника. — 1989. — №2. — С.3–17.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,  
Національний аерокосмічний університет "ХАГ", Київ  
Received (Надійшла) 31.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

#### Анализ существующих путей повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов радиолокационных средств контроля воздушного пространства

Г. В. Худов, Г. В. Місюк, О. О. Олексенко, Р. Ю. Райков, А. А. Безклубенко, В. Ю. Добрев

**Предметом** изучения в статье есть пути повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов радиолокационными средствами контроля воздушного пространства. **Целью** является анализ существующих путей повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов радиолокационными средствами контроля воздушного пространства. **Задачи:** анализ основных тенденций развития малоразмерных воздушных объектов по уменьшению их радиолокационной заметности, основных летно-технических характеристик малоразмерных воздушных объектов, тенденций развития радиолокационных систем контроля воздушного пространства, основных методов снижения эффективной поверхности рассеяния, методов выявления малоразмерных воздушных объектов, определения особенностей радиолокационного обнаружения малоразмерных объектов. Используются **методами** являются: методы анализа и синтеза сложных информационных систем, методы радиолокации, методы имитационно-статистического моделирования. Получены следующие **результаты**. Установлено, что при решении задачи контроля воздушного пространства возникает несоответствие между требованиями к эффективности решения задач радиолокационного контроля, а именно, выявление малоразмерных воздушных объектов, и возможностями современных средств ведения радиолокационного контроля воздушного пространства. Установлено, что использование традиционных методов повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов приводит к увеличению необходимого количества радиолокационных станций, увеличению потребляемой мощности и, как следствие, к увеличению стоимости создания и содержания очередного радиолокационного поля. Определены альтернативные пути повышения эффективности выявления малоразмерных воздушных объектов радиолокационными средствами контроля воздушного пространства. **Выводы.** Направлением дальнейших исследований является использование современных радиолокационных технологий, требующих разработки и внедрения.

**Ключевые слова:** контроль воздушного пространства, малоразмерный воздушный объект, радиолокационная станция, радиолокационный контроль, беспилотный летательный аппарат, эффективность обнаружения, зона обнаружения, эффективная поверхность рассеяния.

#### Analysis of existing ways to improve the efficiency of determining malog-sized air objects of radiolocation air space controls

H. Khudov, G. Misiyuk, O. Oleksenko, R. Raikov, O. Bezklubenko, V. Dobrev

The **subject matter** of the article is ways to increase the efficiency of detecting small airborne objects with radar airspace control devices. The **goal** is to analyze the existing ways to improve the detection of small airborne objects by airborne radar controls. The **tasks** are: analysis of the main trends in the development of small airborne objects to reduce their radar visibility, the main flight technical characteristics of small airborne objects, trends in the development of radiolocation control systems for airspace, the main methods for reducing the effective dispersion surface, methods for detecting small airborne objects, features of the radar detection of small airborne objects. The **methods** used are: methods of analysis and synthesis of complex information systems, methods of radar, methods of simulation and statistical modeling. The following **results** were obtained. It has been established that when solving the problem of airspace control there is a discrepancy between the requirements for the efficiency of solving radar control problems, namely, the identification of small-sized air objects, and the capabilities of modern means of conducting airborne radar control. It has been established that the use of traditional methods to increase the efficiency of detecting small airborne objects leads to an increase in the required number of radar stations, an increase in power consumption and, consequently, an increase in the cost of creating and maintaining the next radar field. Identified alternative ways to improve the detection of small airborne objects with radar airspace control devices. **Conclusions.** The direction of further research is the use of modern radar technologies that require the development and implementation.

**Keywords:** airspace control, small-sized airborne object, radar, radar control, unmanned aerial vehicle, detection efficiency, detection area, effective scattering surface.