

УДК 623.418

В.А. Чепурний, В.Й. Альберт, О.В. Сердюк, Г.В. Худов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## АНАЛІЗ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

В сучасних умовах актуальним для забезпечення протиповітряної оборони є вирішення завдання виявлення мало висотних малорозмірних повітряних об'єктів. В роботі відмічаються основні вимоги до радіолокаційних систем виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, проводиться аналіз характеристик деяких типів указаних радіолокаційних систем та основних принципів їх роботи.

**Ключові слова:** аналіз, радіолокаційна система, малорозмірний повітряний об'єкт, мало висотний повітряний об'єкт, фазована антенна решітка, нетрадиційна радіолокація.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** В теперішній час актуальним завданням для протиповітряної оборони більшості країн світу є задача виявлення мало висотних повітряних об'єктів [1, 2]. Практично всі сучасні літальні апарати, окрім надзвукових, можуть здійснювати польоти на висотах від 10-20 до 150 м. При цьому багато типів пілотованих літаків (включаючи цивільні) оснащені апаратурою, що дозволяє здійснювати польоти з огинанням рельєфу місцевості як в ручному, так і в автоматичному режимах [3, 4]. Досвід останніх збройних конфліктів та гібридних війн показує, що мало висотні, малопомітні повітряні об'єкти є головним засобом ведення розвідки та вогневого ураження [5 – 7].

**Мета статті** – провести аналіз радіолокаційних систем виявлення малорозмірних повітряних об'єктів.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Відомо [8], що засобом збільшення дальності виявлення маловисотних цілей є збільшення висоти підйому фазового центру антени радіолокаційної станції (РЛС), для чого при розробці мобільних РЛС виявлення маловисотних цілей передбачається використання легких вишок, що входять до складу РЛС. Але, зі збільшенням висоти підйому фазового центру антени розширюється і зона, в межах якої на РЛС впливають відбиття від місцевих предметів. Отже, основними вимогами до РЛС кругового огляду, що призначені для виявлення маловисотних цілей, є забезпечення можливості установки на вишках та наявність ефективної апаратури придушення відбиття від місцевих предметів. Не менш важливим є також вимога до мобільності РЛС, що обмежує вагогабаритні характеристики апаратури РЛС та антени [8].

У зв'язку з удосконаленням та розширенням номенклатури засобів повітряного нападу, що діють на малих та гранично малих висотах, з однієї сторони, та розвитком радіолокаційної техніки та елементної бази, з другої, у подальшому при удосконаленні

маловисотних РЛС знаходять широке використання нові інформаційні технології [8]:

- послідовно-паралельний електронний огляд зони по куту місця та двомірне електронне сканування діаграми спрямованості антен;
- активні, полуактивні та пасивні на передачу фазовані антени решітки (ФАР);
- цифровий синтез зондуючих сигналів з різними параметрами: несучою частотою, видом модуляції, шириною смуги, тривалістю, частотою посилок імпульсів;
- цифрове діаграмоутворення ФАР на прийом;
- автоматичний аналіз заводової 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 нетрадиційних методів радіолокації.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

РЛС виявлення мало висотних цілей повинні задовольняти наступним вимогам

- періодичність оновлення координат повинна бути не менш, ніж 5с;
- максимальна висота виявлення повітряних об'єктів – 2-3 км, дальність виявлення – 100-150 км;
- точності характеристики та розрізняльна здатність – не гірше ніж в РЛС бойового режиму;
- коефіцієнт придушення відбиттів від місцевих предметів в системах селекції рухомих цілей при розгортанні РЛС в рівнинній місцевості повинен мати величину 40-60 дБ, а при розміщенні на вишках в гірських районах – 50-75 дБ.

РЛС виявлення мало висотних повітряних об'єктів повинна задовольняти ряду специфічних вимог. З однієї сторони вони повинні мати коефіцієнт використання радіо горизонту близьким до одиниці, гарні точності вимоги та високу захищеність від пасивних завад, підвищений темп огляду простору, а також високу ступінь автоматизації процесів отримання, обробки та передачі інформації. З іншої сторони, РЛС такого класу повинні бути мобільними, дешевими, надійними і простими в експлуатації.

Проведемо аналіз основних радіолокаційних систем виявлення малорозмірних повітряних об'єктів. Маловисотна РЛС з кільцевою фазованою антенною решіткою призначена для автоматичного виявлення, супроводження та розпізнавання маловисотних повітряних об'єктів. Основні переваги мало висотної РЛС:

- відсутність рухомих частин;
- забезпечення ефективного виявлення маловисотних повітряних об'єктів з мінімальною ефективною поверхнею розсіяння;

- робота в автоматичному режимі без участі оператора;
- повна автоматизація функціонального контролю;
- висока радіолокаційна скритність за рахунок використання малопотужного складного зондуючого сигналу;
- реалізація цифрового синтезу зонду чого сигналу та цифрової обробки прийнятого сигналу.

Склад маловисотної РЛС:

- РЛС з кільцевою фазованою антенною решіткою;
- антено-щоголовий пристрій висотою 35-40 м;
- антенна радіорелейної станції;
- контейнер з системою життєзабезпечення;
- комплект засобів автономного електроживлення;
- комплект засобів зв'язку та передачі даних;
- технологічне робоче місце.

Основні тактико-технічні характеристики (ТТХ) наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні ТТХ маловисотної РЛС з кільцевою фазованою антенною решіткою

Найменування параметра	Значення параметра
Діапазон частот	X-діапазон
Зона виявлення:	
- по азимуту, градуси	0 – 360 або в заданому секторі
- по дальності, м	300 – 50000
- по куту місця, градуси	0 – 30
- по висоті, м	≤ 3000
- по швидкості, м/с	0 – 500
Розрізнявальна здатність:	
- по азимуту, градуси	2,1
- по дальності, м	300
Дальність виявлення об'єкта з ЕПР 1 кв.м на висоті 25 м, радіальна швидкість не нижче 25 км/год, імовірність хибної тривоги $10^{-5}$ , км	30
Характеристики супроводження повітряних об'єктів:	
- середньоквадратична помилка визначення азимута, градуси	≤ 0,45
- середньоквадратична помилка визначення дальності, м	≤ 50
- кількість об'єктів, що одночасно супроводжуються	≥ 30
- кількість трас об'єктів, що видаються одночасно	≥ 30
Дальність радіотехнічної розвідки засобами противника, км	≥ 12,5
Час включення (з проведенням функціонального контролю), хвилин	≤ 5
Час переведення з чергового режиму у бойовий, с	≤ 10
Темп оновлення інформації, с	≤ 10
Період огляду по азимуту, с	1 – 10
Спосіб зміни довжини зондуючого сигналу	автоматичний
Спосіб зміни закону модуляції зондуючого сигналу	автоматичний
Метод формування діаграми спрямованості	цифровий (механічне обертання антени відсутнє)
Способи огляду повітряного простору:	
- по азимуту	послідовно-паралельний одночасний
- по дальності та радіальній швидкості	

Мобільна малогабаритна РЛС «Сурик» призначена для виявлення мало висотних повітряних об'єктів у ближній зоні відповідальності. РЛС може застосовуватися в інтересах інформаційного забезпечення:

- систем охорони від повітряних терористів простору в районах важливих державних об'єктів;

- забезпечення безпеки польотів авіації, в тому числі легкомоторної в районах аеродромів, що не забезпечені іншими засобами радіонавігації;

- запобігання незаконному проникненню та перевозці заборонених вантажів.

РЛС повинна забезпечувати вирішення наступних завдань:

- автоматичне виявлення, супроводження та визначення координат і параметрів руху повітряних об'єктів в режимі безперервного чергування;  
 - формування і передача інформації щодо об'єктів, що супроводжуються, для прийняття оперативних рішень.

На відміну від традиційних РЛС з поворотною антеною, в РЛС «Сурок» використовується неповоротна приймально-передавальна антена на одній опорній щоглі з реалізацією фазового методу вимірювання азимутів об'єктів та когерентного режиму ро-

боти з необмеженим часом накопичення сигналів, що дозволяє за рахунок доплерівської фільтрації забезпечити підвищену захищеність від пасивних перешкод, що створюються місцевими предметами та нерівностями землі. РЛС побудована з використанням новітньої твердотільної елементної бази і цифрових методів формування сигналів і обробки інформації з використанням принципів модульної побудови, що дозволяють забезпечити високу надійність та безперервність роботи в автоматичному режимі. Основні ТТХ РЛС наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Основні ТТХ РЛС «Сурок»

Найменування параметра	Значення параметра
Діапазон частот	метровий
Зона виявлення:	
- по азимуту, градуси	360
- по дальності, км	2-300
- по висоті, м	до 10
Розрізнявальна здатність:	
- по азимуту, градуси	2,1
- по дальності, м	300
Дальність виявлення легкомоторного літака (типу L-39), км:	
- при висоті польоту 200 м	10-12
- при висоті польоту 1 км	20
- при висоті польоту 5 км	50
Точність (середньоквадратичне відхилення помилки) при супроводженні:	
- по дальності, м	300
- по азимуту, градуси	2-3
- по швидкості (радіальній), м/с	3
Розрізнявальна здатність:	
- по дальності, м	1500
- по радіальній швидкості, м/с	5
Коефіцієнт придушення пасивних перешкод, дБ	70
Кількість об'єктів, що одночасно виявляються і супроводжуються	до 30
Потужність, кВт	до 10

Радіолокаційний комплекс (РЛК) «Бар'єр-Е» призначений для виявлення малопомітних маловисотних повітряних об'єктів, в тому числі крилатих ракет, об'єктів, що використовують технологію «стелс», легких спортивних літаків, дельтапланів, повітряних куль та інших мало висотних об'єктів.

РЛК «Бар'єр-Е» представляє принципово новий тип радіолокаційного озброєння, що використовує метод бістатичної локації «на просвіт». За рахунок «просвітнього ефекту» між передавачем та приймачем бістатичної системи формується область з високим енергетичним потенціалом - радіолокаційний бар'єр, що дозволяє надійно виявляти малорозмірні об'єкти, що є недоступними для виявлення традиційними моно статичними РЛС. При радіолокації «на просвіт» ефективна поверхня розсіяння об'єкта підвищується на 2-3 порядку та не залежить від наявності на об'єкті радіо поглинаючих покриттів, що дозволяє «стелс» об'єкти виявляти як звичайні.

Особливістю комплексу є те, що у якості зондуючого сигналу використовується випромінювання передавача радіорелейної станції в штатному режимі (зв'язок, передача телекодової інформації). Поту-

жність, що випромінюється, складає лише 1-3 Вт, що дозволяє розташовувати РЛК поблизу населених пунктів. РЛК формує радіолокаційний бар'єр шириною декілька кілометрів, суцільний по висоті (від землі до 3-7 км) протяжністю до 400-500 км (може поєднуватися до 10 бістатичних елементів). Радіолокаційний бар'єр може приймати визначену форму, апаратура працює повністю автоматично без обслуговуючого персоналу. РЛК автоматично виявляє, визначає траєкторні параметри, супроводжує та розпізнає об'єкти при їх прольоті через бар'єрну зону (радіолокаційну межу). Радіолокаційна інформація від всіх складових по радіоканалу радіорелейної станції передається на єдиний пристрій, який може бути віддалений від бар'єра на сотні кілометрів. Основні ТТХ РЛК «Бар'єр-Е» наведені в табл. 3.

Деякі різновиди радіолокаційних систем, що працюють «на просвіт» наведені в [2].

В [9] з опорою на специфічні риси хаотичних сигналів (процесів) запропоновано варіант побудови мерецентричної мультирадарної інформаційно-вимірювальної системи (МІВС). Показано, що використання хаотичних сигналів в якості несучої підви-

щує перешкодозахищеність, розрізнявальну та перепускную здатність, дозволяє забезпечити електромагні-

тну сумісність і розділення каналів МІВС. Варіант побудови МІВС наведений на рис. 1.

Таблиця 3

Основні ТТХ РЛК «Бар'єр-Е»

Найменування параметра	Значення параметра
Діапазон частот, МГц	390-430 (10 робочих точок)
Зона виявлення:	багатоланкова (макс. кількість ланок – 10)
- довжина однієї ланки, км	50
- поперечний розмір бар'єрної зони, км	1,5-12 (в залежності від типу об'єкта)
- висота бар'єрної зони, км	від 0,03 до 3-7
Точність визначення координат і параметрів руху повітряних об'єктів:	усереднена по трасі
- вздовж бар'єра, м	2100
- поперек бар'єра, м	170
- азимута, град.	1
- швидкості, м/с	5,8
Розрізнявальна здатність поперек бар'єра, м	не більше 300
Середній період хибних тривог, год.	не менш 72
Кількість класів об'єктів, що розпізнаються	5 (крилата ракета, винишувач, бомбардувальник, гвинтокрил, легкомоторний літак)
Імовірність розпізнавання	0,89
Вид вихідної інформації	Траса
Кількість об'єктів, що одночасно супроводжуються	5 (в зоні огляду однієї ланки)
Темп видачі інформації, с	1

МІВС складається із позицій МІМО РЛС, які формують хаотичні сигнали з різними початковими

значеннями ортогональних хаотичних сигналів  $x_0, y_0, z_0, \xi_0, s_0$  (рис. 1).

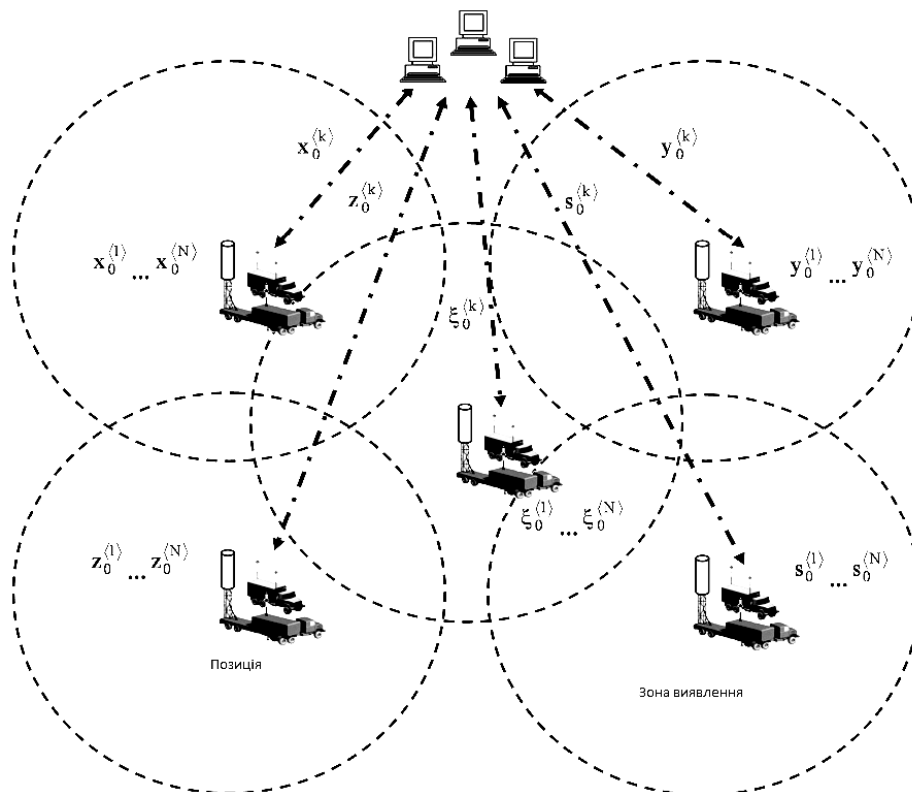


Рис. 1. Мультирадарна інформаційно-вимірювальна мережа (варіант побудови) [9]

Це дозволяє сформувати необхідну кількість вимірювальних і інформаційних каналів. МІМО РЛС формують зони виявлення шляхом багатоканального огляду простору (рис. 2). Отримана радіолокаційна інформація з позиції РЛС видається на сервер мережі по бездротовим каналам зв'язку за допомогою апаратури передачі даних на множині хаоти-

чних несучих  $x_0^k, y_0^k, z_0^k, \xi_0^k, s_0^k$  (рис. 1). За допомогою сервера здійснюється обробка радіолокаційної інформації. Сервер підключений в більш глобальну інформаційну мережу. Доступ користувачів до інформації може здійснюватися як по бездротовим, так і по дротовим каналам.

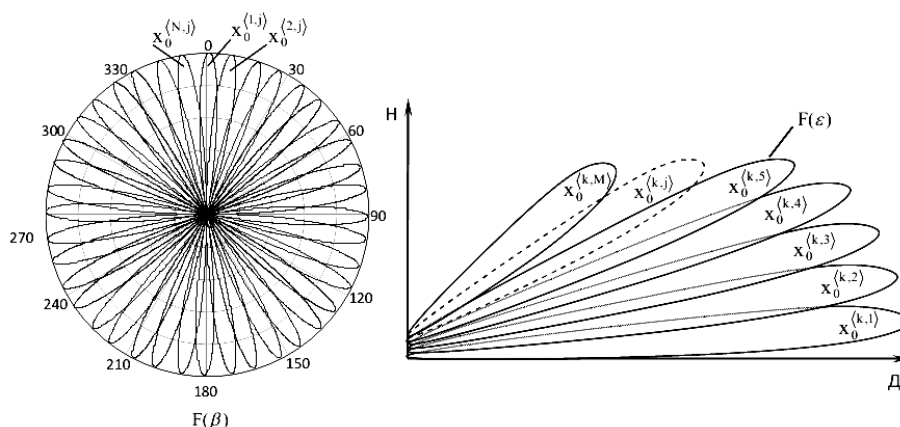


Рис. 2. Формування зони виявлення МІМО РЛС [9]

## Висновки і напрями подальших досліджень

Таким чином, в роботі проаналізовані основні вимоги до радіолокаційних систем виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, проведено аналіз характеристик деяких типів указаних радіолокаційних систем та основних принципів їх роботи.

У подальших дослідженнях необхідно вивчити можливість створення мережі не обслуговуваних радарів та їх використання для виявлення маловисотних та малорозмірних повітряних об'єктів, управління повітряним рухом, створення системи протиповітряної оборони при створенні єдиного інформаційно-телекомунікаційного простору.

## Список літератури

1. Сучасний стан та перспективи розвитку винищувальної авіації Збройних Сил України / Ю.А. Байдак, С.С. Дроздов, В.В. Коваль, О.М. Жарик // Наука і оборона. – 2015. – № 4. – С. 18-20.
2. Ковалевський С.М. Пропозиції щодо створення скритого маловисотного радіолокаційного поля в умовах ведення сучасних мережецентричних та гібридних війн / С.М. Ковалевський, Г.В. Певцов, Г.В. Худов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2015. – № 1 (18). – С. 77-81.
3. Таршин В.А. Подготовка эталонных изображений для высокоточных корреляционно-экстремальных систем навигации на основе использования прямого корреляцион-

ного анализа / В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2015. – № 2 (19). – С. 69-73.

4. Подготовка эталонных изображений для высокоточных корреляционно-экстремальных систем навигации на основе формирования поля фрактальных размерностей / В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко, В.В. Мегельбей // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 2 (42). – С. 142-144.

5. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації / [А.М.Алімпієв, Г.В.Певцов, Д.А.Гриб та ін.]; за заг. ред. А.М.Алімпієва. – Х.: Оригінал, 2015. – 732 с.

6. Телелим В.М. Планування сил для виконання бойових завдань у «гібридній війні» / В.М. Телелим, Д.П. Музиченко, Ю.В. Пунда // Наука і оборона. – К.: МО України, 2014. – № 3. – С. 30-35

7. Радковець Ю.І. Ознаки технологій «гібридної війни» в агресивних діях Росії проти України / Ю.І. Радковець // Наука і оборона. – К.: МО України, 2014. – № 3. – С. 36-42.

8. Образцов Е.А. Маловысотные РЛС: шаг за шагом / Е.А. Образцов, О.В. Пушков // Воздушно-космическая оборона. – 2012. – № 4. – С. 17-22.

9. Васюта К.С. Мультирадарная информационно-измерительная система на основе хаотических сигналов / К.С. Васюта, Ф.Ф. Зоц, С.В. Озеров // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2013. – № 3. – С. 25-32.

Надійшла до редколегії 15.12.2015

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

## АНАЛИЗ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Чепурной, В.И. Альберт, А.В. Сердюк, Г.В. Худов

В современных условиях актуальным для обеспечения противовоздушной обороны является решение задачи обнаружения маловысотных воздушных объектов. В работе отмечаются основные требования к радиолокационным системам обнаружения малоразмерных воздушных объектов, проводится анализ характеристик некоторых типов радиолокационных систем и основных принципов их работы

**Ключевые слова:** анализ, радиолокационная система, малоразмерный воздушный объект, маловысотный воздушный объект, фазированная антенная решетка, нетрадиционная радиолокация

## ANALYSIS OF RADAR DETECTION OF SMALL AIR TARGETS

V.A. Chepurnyi, V.I. Albert, A.V. Serdyuk, G.V. Khudov

In modern conditions relevant for defense is to solve the problem of detecting low-altitude-air objects. The paper highlights the main requirements for the radar systems of detection of small air targets, the analysis of the characteristics of some types of radar systems and the basic principles of their work

**Keywords:** analyze, radar system, small-size air targets, low-altitude air object, phased array antenna, radar alternative.