

# Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 621.396.96

Д.А. Гриб, В.О. Тютюнник

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ПРО МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ КОМБІНОВАНОГО АКТИВНО-ПАСИВНОГО МАЛОВИСОТНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КІЛЬЦЕВИХ АКТИВНИХ ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК

*Розглядається можливість об'єднання перспективних оглядових активних маловисотних РЛС із кільцевими антенними решітками в багатопозиційну систему. Показана доцільність використання сумарно-далекомірною методу визначення координат повітряних об'єктів. Показано, що використання цього методу спрощує реалізацію узгодженого огляду простору просторово-рознесеними РЛС, забезпечує можливість виявлення повітряних об'єктів в пасивному режимі із використанням як власних так і сторонніх джерел підсвічування та створення зон потрібної точності визначення координат повітряних об'єктів без використання направлених властивостей антенних систем РЛС.*

**Ключові слова:** системи радіолокаційної розвідки, багатопозиційні радіолокаційні системи, радіолокаційна інформація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Створення суцільного маловисотного (МВ) радіолокаційного поля (РЛП) завжди було актуальною та складною задачею.

Актуальність створення та підтримання суцільного цілодобового МВ РЛП (особливо вздовж державного кордону та навколо важливих державних об'єктів) обумовлюється тим, що у теперішній час збільшується чисельність та доступність літаків малої авіації і малорозмірних безпілотних літальних апаратів для використання цивільним населенням. Це створює умови для незаконного використання повітряного простору та підвищує рівень небезпеки терористичних загроз з повітря.

Складність вирішення задачі створення суцільного МВ РЛП обумовлюється необхідністю щільного розташування великої кількості радіолокаційних станцій (РЛС), малою величиною ефективною площі розсіювання сучасних маловисотних літальних апаратів та істотному впливу на роботу МВ РЛС приземного шару атмосфери, рельєфу місцевості, відбиттів від підстильної поверхні та місцевих предметів.

За мирного часу радіотехнічні війська Повітряних Сил Збройних Сил України є єдиним суб'єктом на якого покладене завдання цілодобового постійного контролю повітряного простору на висотах нижче 1500 метрів. Це пов'язано з тим, що органи цивільної системи організації повітряного руху України за

своїм призначенням здійснюють радіолокаційний контроль лише у трасовому польотному просторі (середні і великі висоти) та на малих висотах тільки в зонах аеродромів. Цей контроль здійснюється лише у певні інтервали часу при здійсненні обслуговування повітряного руху.

Вирішення завдання створення суцільного МВ РЛП традиційним шляхом за рахунок розгортання додаткових підрозділів, оснащених спеціалізованими МВ РЛС з бойовою обслугою, є затратним та економічно недоцільним. Залучення для вирішення цього завдання МВ РЛС, які є на озброєнні зенітних ракетних військ та інших військових формувань є також недоцільним, оскільки вони призначені для виконання специфічних функцій, мають обмежений запас ресурсу та, за своїм призначенням, не передбачають безперервного цілодобового використання.

Тому актуальним є завдання пошуку раціональних та економічно доцільних варіантів побудови перспективної радіолокаційної системи, яка здатна створювати та цілодобово підтримувати суцільне МВ РЛП. При цьому збільшення кількості РЛС, які залучаються для створення МВ РЛП, не повинно приводити до збільшення вартості, складності експлуатації і технічного забезпечення радіолокаційної системи. Цю задачу можливо вирішити шляхом збільшення надійності окремих РЛС, зменшення вартості її експлуатації, ремонту і технічного обслуговування, зменшення рівня енергоспоживання. Перспективна система повинна відповіда-

ти вимогам малообслуговуваності, тривалого часу безвідмовної та безперервної роботи, мати можливість оперативно змінювати параметри РЛП, що створюється, і споживану потужність від джерел живлення в залежності від задач, що вирішуються споживачами радіолокаційної інформації (РЛІ).

Це дозволить уникнути зайвих матеріальних витрат на здобування РЛІ вищої якості в інтервали часу, коли така якість РЛІ є надмірною, та оперативно підвищувати якість РЛІ за рахунок збільшення ресурсних витрат лише у певні інтервали часу та на певних напрямках. Виконанню даних умов сприяє автоматизація (роботизація) процесів функціонування РЛС, позбавлення її від зайвих систем, які не використовуються для здобування РЛІ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У світової практики у теперішній час для створення МВ РЛП використовуються МВ РЛС, які умовно можна поділити на три класу:

- автономні активні МВ РЛС з механічним обертанням антени;
- автономні активні МВ РЛС без механічного обертання антени (з круговим електронним скануванням за азимутом або секторним оглядом);
- багатопозиційні (БП) пасивні МВ РЛС, які працюють в полі підсвічування сторонніх джерел випромінювання (передавачів телерадіомовлення, стільникової зв'язку та ін.).

Клас автономних МВ РЛС з механічним обертанням антени є найбільш розвинутим. Переважна більшість РЛС цього класу виконана в мобільному варіанті та, як правило, мають засоби для додаткового підняття антени (рис. 1) [1, 2, 3].

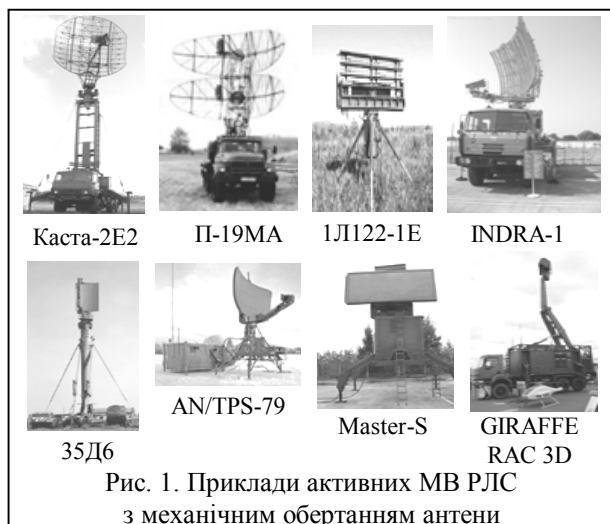


Рис. 1. Приклади активних МВ РЛС з механічним обертанням антени

Клас МВ РЛС без механічного обертання антени є таким, що розвивається, та представлений обмеженою кількістю зразків. Цей клас поділяється на зразки з круговим електронним скануванням за ази-

мутом (РЛС "LSTAR(V)3", країна-виробник США, РЛС "Роса-РБ", країна-виробник Білорусь) та скануванням в секторі (РЛС на просвіт "Барьер", країна-виробник Білорусь) (рис. 2) [1, 4, 5].

Клас БП пасивних МВ РЛС представлений системами, що працюють в полі підсвічування передавачів телерадіомовлення ("Silent Sentry<sup>TM</sup>2", "Homeland Alert 100", "Silent Guard") та в полі підсвічування передавачів стільникової зв'язку ("CELLDAR<sup>TM</sup>") (рис. 3) [6, 7].

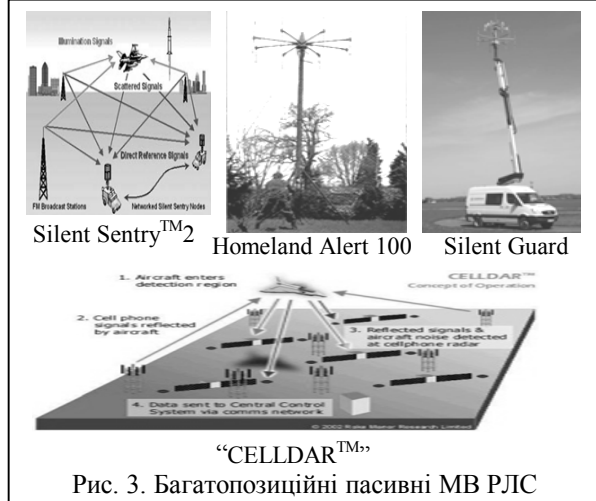


Рис. 3. Багатопозиційні пасивні МВ РЛС

Таким чином, у теперішній час в галузі засобів створення МВ РЛП є велика кількість напрацьованих та готових зразків, які використовують різні технічні рішення та працюють в різних частотних діапазонах. На думку військових експертів закордонних країн, БП системи типу "Silent Sentry<sup>TM</sup>2" та "Silent Guard" можуть стати одним з найбільш ефективних засобів виявлення МВ повітряних об'єктів (ПО).

Сучасні технології дозволяють створювати РЛС на базі уніфікованих модулів систем формування, прийому та обробки ехо-сигналів. Для забезпечення функціонування таких РЛС потрібні система електроживлення, пристрій підйому антени на певну висоту та засоби обміну інформацією. Потужність споживання електроенергії для МВ РЛС невеликої дальності дії, яка будуються з використанням сучасних технологій, в активному режимі може складати не більше 3 кВт, а в пасив-

вному режимі до 1 кВт. Сучасні автономні засоби електроживлення дозволяють забезпечувати споживача електроенергією потужністю до 5 кВт із споживанням пального до 1 л/год, що може забезпечити автономне функціонування РЛС без використання промислової електромережі терміном до 30 днів.

Використання дзеркальних антен дозволяє забезпечити формування вузьких промінів, зменшити кількість передавальних та приймальних модулів, але потребує наявності механічних пристроїв для їх обертання. При цьому втрачається можливість використання РЛС для утворення БП систем із кооперативним прийом ехо-сигналів та роботою в пасивному режимі в полі підсвічування сторонніх джерел.

Використання кільцевих активних фазованих антенних решіток (КАФАР) хоча і потребує збільшення кількості приймально-передавальних модулів, але дозволяє забезпечити гнучке управління зоною виявлення та комбінацію активних, пасивних, автономних та БП режимів роботи РЛС без втрати якості РЛП. При використанні суто приймальних модулів вартість модулю та його експлуатації може зменшуватися в 5...10 разів.

На наш погляд перспективним напрямком розвитку засобів створення МВ РЛП є розробка уніфікованих активних МВ РЛС, які можуть функціонувати як в автономному активному режимі, так і, за необхідністю, утворювати БП пасивні радіолокаційні системи. В таких комбінованих активно-пасивних системах створюються умови для поєднання переваг та зменшення кількості певних недоліків автономних та БП систем, з'являється можливість гнучкого управління параметрами МВ РЛП та енергоспоживанням системи в залежності від задач, що вирішуються споживачем РЛП. Основою такої комбінованої активно-пасивної системи може стати уніфікована МВ РЛС, яка будується на базі КАФАР.

**Метою статті** є аналіз можливості створення комбінованого активно-пасивного маловисотного радіолокаційного поля при впровадженні в перспективних автономних МВ РЛС із КАФАР можливості функціонування в багатопозиційних режимах.

## Основний матеріал

Для забезпечення можливості функціонування просторово-рознесених автономних РЛС в БП режимах необхідно забезпечити виконання низки певних умов, одними із яких є:

- спостереження ПО одночасно декількома РЛС (забезпечення певної кратності перекриття РЛП на визначеній висоті);
- наявність ліній зв'язку для передачі РЛП, яка здобувається кожної РЛС, в центральний процесор для сумісної обробки;

– узгоджений огляду простору декількома РЛС та часова синхронізація роботи їх систем.

Виконання умов спостереження ПО одночасно декількома РЛС забезпечується за рахунок створення потрібної кратності перекриття РЛП. Для реалізації цього, як правило, використовують розташування на певній відстані одна від однієї однотипних РЛС по кутах трикутника, квадрата (прямокутника) або дузі окружності [8]. Від кратності перекриття створюваного РЛП залежать методи та алгоритми обробки РЛП, які можуть бути реалізовані для виявлення та визначення координат ПО. На рис. 4 наведено приклад розташування однотипних РЛС для створення суцільного РЛП із різною кратністю перекриття ( $K_n$ ).

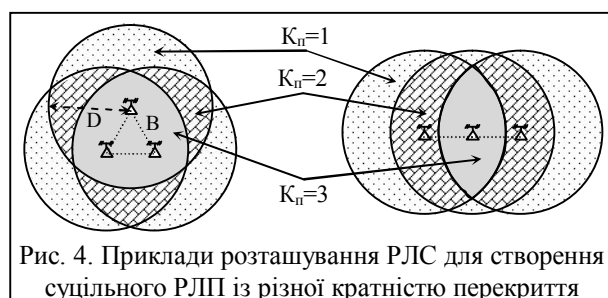


Рис. 4. Приклади розташування РЛС для створення суцільного РЛП із різною кратністю перекриття

На рис. 4 видно, що застосування БП методів обробки РЛП можливо тільки в зонах, де забезпечується кратність перекриття РЛП не менш 2 ( $K_n=2$ ,  $K_n=3$ ). За результатами аналізу рис. 4 випливає, що для створення на певній висоті польоту ПО суцільних смуг із  $K_n$  не менш 2 відстань між РЛС не повинна перевищувати половини дальності виявлення ПО (дальності прямої радіовидимості ПО) на цій висоті ( $D > 2B$ ).

В зонах де відсутнє перекриття РЛП ( $K_n=1$ , рис. 4) РЛС можуть використовуватися тільки в автономному режимі. В цьому випадку кожна РЛС здійснює автономне формування траси ПО та якість РЛП повністю визначається можливостями окремої РЛС. Обробка РЛП в такій системі зводиться лише до забезпечення нерозривності траси ПО при переході між зонами виявлення сусідніх РЛС.

В зонах РЛП, де забезпечується кратність перекриття РЛП ( $K_n=2$ ,  $K_n=3$ ), виникає ряд додаткових можливостей, пов'язаних з використанням мультирадарних або БП методів обробки РЛП [9, 10, 11]:

- підвищення імовірності виявлення ПО на заданому інтервалі часу системою РЛС у порівнянні з автономною РЛС або зниження вимог к якості виявлення ПО окремою РЛС в системі;
- підвищення імовірності виявлення малорозмірних ПО за рахунок опромінювання їх під різними ракурсами просторово-рознесеними РЛС;
- зменшення часу зв'язку та підвищення якості супроводження траєкторій ПО за рахунок підвищен-

ня темпу оновлення інформації в системі РЛС у порівнянні з автономною РЛС;

- підвищення точності визначення координат ПО за рахунок об'єднання РЛІ у системі РЛС;
- підвищення точності визначення координат ПО за рахунок використання БП методів визначення координат ПО або зменшення вимог до точності визначення кутових координат ПО окремої РЛС в системі РЛС у порівнянні з автономною РЛС.

В зонах РЛП, де забезпечується певна кратність перекриття РЛП, створюються умови для підвищення якості РЛІ за рахунок використання мультирадарних або БП методів обробки РЛІ (системних ефектів), а не за рахунок підвищення можливостей автономних РЛС. Виконання умови спостереження ПО одночасно декількома РЛС можливо забезпечити як при використанні РЛС із механічним обертанням антени так і при використанні РЛС із КАФАР.

Виконання умови наявності та можливостей ліній зв'язку між РЛС, які утворюють БП систему, визначає можливості системи щодо ступеню централізації обробки РЛІ:

- розподілена обробка РЛІ;
- централізована обробка РЛІ.

При невисоких можливостях ліній передачі даних можлива лише розподілена обробка РЛІ. В такій системі по лініям зв'язку передаються тільки істинні траси ПО. Недоліками розподіленої системи є те, що час виявлення траси ПО визначається часом її виявлення в окремої РЛС. При наявності високошвидкісних ліній передачі даних можлива централізована обробка РЛІ. В такій системі по лініям зв'язку від кожної РЛС поступають відмітки ПО (істинні та хибні), а не тільки істинні траєкторії. По отриманим відміткам формується єдина траєкторія для кожного ПО. Перевагою централізованої обробки РЛІ є зменшення часу виявлення траси ПО та покращення якості її супроводження за рахунок збільшення темпу оновлення РЛІ. Реалізація як розподіленої так і централізованої обробки РЛІ можливо при використанні РЛС як з механічним обертанням антени так і з КАФАР.

Виконання умови узгодженого огляду простору декількома РЛС та часової синхронізації їх роботи визначає можливості БП системи щодо забезпечення когерентності, прийому та обробки ехо-сигналів:

- автономний прийом;
- кооперативний прийом;
- автономно-кооперативний прийом.

При функціонуванні системи РЛС в режимі автономного прийому можлива реалізація тільки далекомірного методу визначення координат ПО. При функціонуванні системи РЛС в режимі кооперативного прийому можлива реалізація сумарно-далекомірного методу визначення координат ПО, коли РЛС можуть приймати

ехо-сигнали від ПО, які опромінюються сторонніми джерелами випромінювання. При функціонуванні системи РЛС в режимі автономно-кооперативного прийому можлива комбінація зазначених методів. Виконання умови узгодженого огляду простору для МВ РЛС при використанні механічного обертання антени є проблематичним. Залежність методів обробки РЛІ, які можна використовувати в системі активних РЛС, від особливостей побудови системи, наведено на рис. 5.

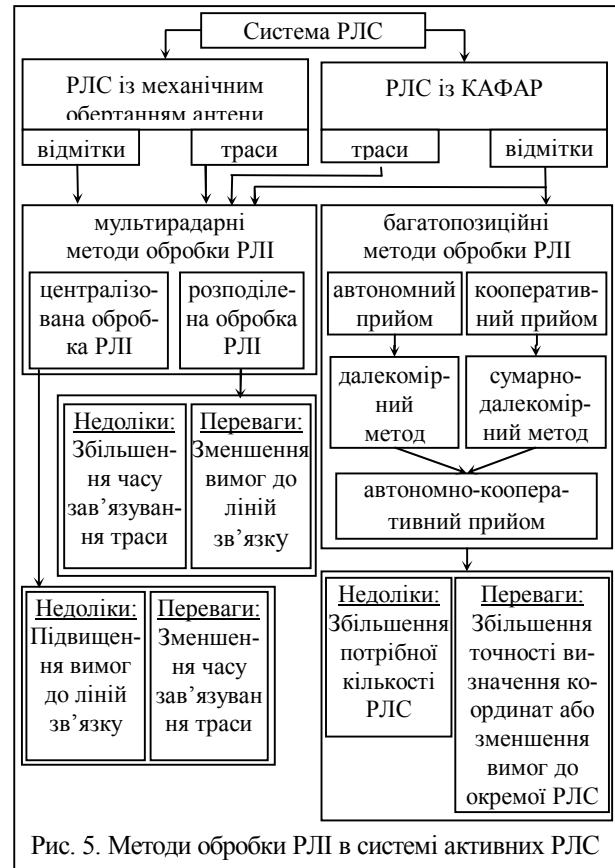


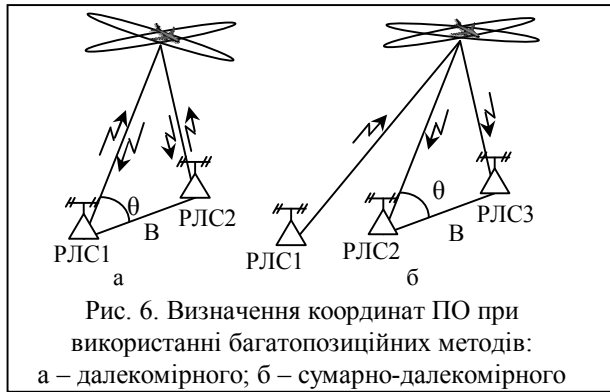
Рис. 5. Методи обробки РЛІ в системі активних РЛС

Головним недоліком використання БП методів визначення координат ПО є збільшення кількості потрібних РЛС, а головною перевагою є можливість визначення координат ПО по вимірюванням дальностей (сум дальностей), без використання кутових вимірювань, та можливість роботи в пасивному режимі з використанням випромінювань сторонніх джерел (рис. 6).

При використанні далекомірного або сумарно-далекомірного методів середньоквадратична похибка (СКП) визначення азимуту ( $\sigma_\theta$ ) (роздільна здатність за азимутом ( $\delta\theta$ )) залежить від розміру бази (В) та СКП вимірювання дальності ( $\sigma_R$ ) або суми дальностей ( $\sigma_{\Sigma R}$ ) (роздільної здатності по дальності ( $\delta R$ ) або суми дальностей ( $\delta\Sigma R$ )) та не залежить від розмірів антен [10]:

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_R \sqrt{2}}{B \sin(\theta)}, \quad \sigma_\theta = \frac{\sigma_{\Sigma R} \sqrt{2}}{B \sin(\theta)},$$

$$\delta\theta \approx \frac{\delta R}{B \sin(\theta)}, \quad \delta\theta \approx \frac{\delta \Sigma R}{B \sin(\theta)}$$

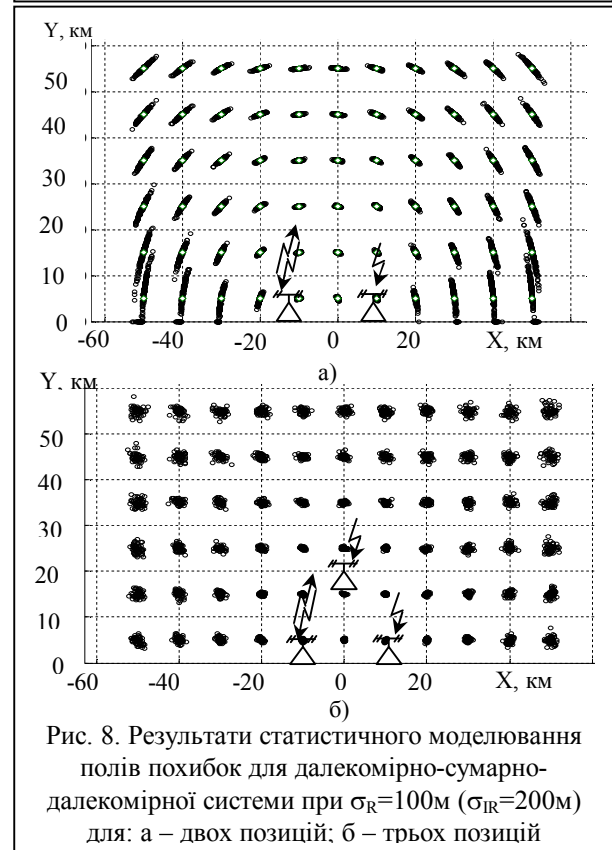
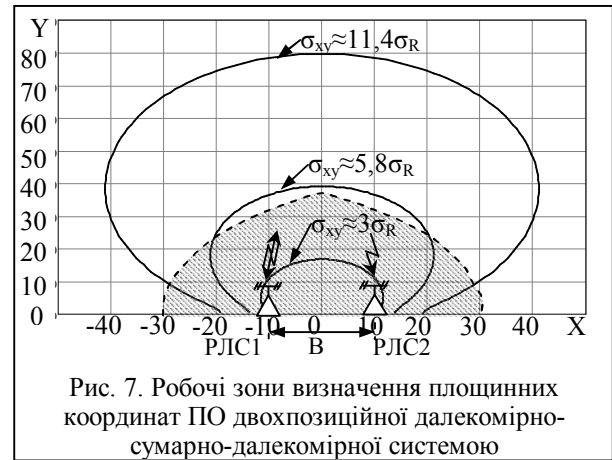


На рис. 6 а) видно, що для реалізації далекомірного методу необхідно забезпечити одночасне опромінення ПО двома просторово-рознесеними РЛС. Вирішення цієї задачі, навіть при використанні КАФАР, є досить складним, оскільки пов'язано із розширенням сектору опромінення або створенням в'яля променів на випромінювання. Це, на відміну від створення в'яля променів на прийом або реалізацією відомого методу "погонею за імпульсом", потребує додаткових енергетичних витрат та збільшення потужності споживання РЛС. Вільним від цього недоліку є сумарно-далекомірний метод (рис. 6 б)). Цей метод не потребує синхронізації опромінення ПО просторово-рознесеними РЛС, оскільки потребує лише одне джерело випромінювання. Інші позиції, які рознесені у просторі, працюють лише на прийом. Узгодження огляду простору просторово-рознесеними РЛС на прийом при використанні електронного сканування не потребує значних енергетичних затрат. Відомо, що використання сумарно-далекомірного методу визначення координат ПО забезпечує гірші точності у порівнянні з далекомірним методом при інших рівних умовах [10]. При використанні в якості джерела опромінення ПО однієї із РЛС, є можливість визначення в цієї РЛС дальності до ПО. В цьому випадку створюються умови для суміщення далекомірного та сумарно-далекомірного методів з метою часткової компенсації втрати точності, яка пов'язана з використанням сумарно-далекомірного методу. Робочі зони визначення площинних координат ПО ( $\sigma_{xy}$ ) при суміщенні далекомірного та сумарно-далекомірного методів наведено на рис. 7.

На рис. 7 штриховкою наведено зону, де забезпечується можливість використання далекомірно-сумарно-далекомірного методу при дальності виявлення ПО в РЛС рівної двом розмірам бази ( $D=2B$ ).

За результатами аналізу робочих зон (рис. 7) можна зробити висновок, що використання далекомірно-сумарно-далекомірного методу при СКП визначення дальності не більше  $\sigma_R < 100$  м забезпе-

чує можливість отримання РЛІ з СКП визначення площинних координат  $\sigma_{xy} < 1000$  м, що задовольняє вимогам до точності визначення площинних координат ПО, які висуваються до бойової РЛІ [12].



Результати статистичного моделювання полів похибок для двохпозиційної та трипозиційної системи наведено на рис. 8. Результати статистичного моделювання підтверджують можливість використання далекомірно-сумарно-далекомірного методу визначення площинних координат ПО (при  $\sigma_R = 100$  м ( $\sigma_{\Sigma R} = 200$  м) та  $B=20$  км) для отримання РЛІ, яка за точністю відповідає вимогам до розвідувальної РЛІ ( $\sigma_{xy} < 3000$  м) та в окремих зонах відповідає вимогам до бойової РЛІ ( $\sigma_{xy} < 1000$  м).

## Висновки

Створення перспективної уніфікованої оглядової МВ РЛС чергового режиму з КАФАР та дальністю дії до 100 км забезпечить можливість побудови просторово-розподіленої радіолокаційної системи яка може створювати комбіновані РЛП:

– поле активної локації із точністю визначення координат ПО, яка відповідає вимогам до розвідувальної РЛП;

– поле активної рознесеної локації із реалізацією комбінованого далекомірно-сумарно-далекомірного методу визначення координат ПО при використанні в якості джерела випромінювання однієї із РЛС та переводу решти РЛС в пасивний режим функціонування. Створювання зон, де забезпечується точність визначення площинних координат ПО, яка відповідає вимогам до бойової РЛП;

– поле пасивної рознесеної локації із реалізацією сумарно-далекомірного методу визначення координат ПО при використанні сторонніх джерел випромінювань та переводу усіх РЛС в пасивний режим функціонування. Створювання зон, де забезпечується точність визначення площинних координат ПО, яка відповідає вимогам до бойової РЛП.

Проблемними питанням є забезпечення необхідного рівня бічних пелюсток в РЛС із КАФАР, забезпечення селекції рухомих цілей на фоні відбиттів від підстильної поверхні та усунення хибних відміток в багатоцільовій ситуації при роботі в багатопозиційних режимах.

## Список літератури

1. *Air Power Australia* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.ousairpower.net](http://www.ousairpower.net).

2. *Radartutorial.eu. Ingenieurbüro Christian Wolff* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu).

3. *Indian Radar Systems: [Електронний ресурс] // WORLD DEFENCE – 2008. - № 8. – Режим доступу: <http://defenceanalyzist.blogspot.com/2011/08/indian-radar-systems.html>.*

4. *LSTAR® Air Surveillance Radars* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.srcinc.com/what-we-do/radar-and-sensors/lstar-air-surveillance-radar.html>.

5. *Радиолокационная станция обнаружения мало-высотных целей с кольцевой фазированной антенной решёткой* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.kbradar.by/text/pages-view-87.html>.

6. *Наземные РЛС ПВО стран НАТО* [Електронний ресурс] // Портал "Современная армия" – Режим доступу: <http://www.modernarmy.ru/article/173>.

7. *Advances in Bistatic Radar / Edited by Nicholas J. Willis, Hugh D. Griffiths. – SciTech Publishing Inc., 2007. – 515 p.*

8. *Буров Н.И. Маловысотная радиолокация / Н.И. Буров. – М.: Воениздат, 1977. – 128 с.*

9. *Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации: пер. с англ. / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.*

10. *Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.*

11. *Кондратьев В.С. Многопозиционные радиотехнические системы / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков; под ред. проф. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.*

12. *Основы построения радиолокационного вооружения РТВ / Под ред. В.В. Литвинова. – Х.: ВИРТА ПВО, 1986. – 348 с.*

Надійшла до редколегії 10.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Ю.М. Седишев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО АКТИВНО-ПАССИВНОГО МАЛОВЫСОТНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОЛЬЦЕВЫХ АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Д.А. Гриб, В.А. Тютюнник

*Рассматривается возможность объединения перспективных обзорных активных маловысотных РЛС с кольцевыми антенными решетками в многопозиционную систему. Показана целесообразность использования суммарно-дальномерного метода определения координат воздушных объектов. Показано, что использование этого метода упрощает реализацию согласованного обзора пространства пространственно-разнесенными РЛС, обеспечивает возможность обнаружения воздушных объектов в пассивном режиме с использованием как собственных так и сторонних источников подсветки и создания зон необходимой точности определения координат воздушных объектов без использования направленных свойств антенных систем РЛС.*

**Ключевые слова:** системы радиолокационной разведки, многопозиционные радиолокационные системы, радиолокационная информация.

## ABOUT POSSIBILITY OF CREATION COMPOSITE ACTIVE AND PASSIVE LOW ALTITUDE RADAR FIELD BY USING OF RING PHASED-ARRAY ANTENNA

D.A. Grib, V.A. Tyutyunnik

*Possibility of making multistatic radar by using low altitude radars with ring phased-array antenna are considered. Rationality of using sum-range method of measuring of aircraft coordinate is shown. Using of this method provide possibility for synchronous radar scan, provide detection of target by using both own and external illuminators, provide achievement of necessary accuracy of measuring coordinate without using of directivity of antenna.*

**Keywords:** radar reconnaissance, multistatic radar systems, radar data.