

УДК 621.396.96

Г.В. Худов, В.М. Ліщенко, В.О. Тютюнник, В.В. Чалий

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МУЛЬТИРАДАРНА СИСТЕМА ОГЛЯДОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ З МАЛОЮ БАЗОЮ

У роботі проаналізовані недоліки та переваги існуючих багатопозиційних радіолокаційних систем виявлення повітряних об'єктів. З метою збільшення дальності виявлення малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів запропоновано використання декількох однотипових оглядових радіолокаційних станцій та об'єднання їх в малобазову синхронну мультирадарну систему. В такій системі за рахунок більш раціонального використання енергетики і, як слідство, інформаційної надмірності в області, яка утворюється перетином діаграм спрямованостей оглядових радіолокаційних станцій, досягається більш високе значення відношення корисного сигналу до шуму. Проведено розрахунки параметрів зони виявлення мультирадарної системи методом математичного моделювання.

**Ключові слова:** радіолокаційна станція, огляд простору, повітряний об'єкт, мультирадарна система, багатопозиційна система, зона виявлення, коефіцієнт перекриття, мала база.

### Вступ

**Постановка проблеми.** З аналізу досвіду ведення локальних та гібридних війн, збройних конфліктів останніх років, антитерористичної операції на сході України відомо, що однією з тенденцій розвитку сучасних засобів повітряного нападу є зростання кількості малорозмірних повітряних об'єктів (ПО), що діють на малих та гранично малих висотах [1–2]. При цьому основна складність при веденні радіолокаційної розвідки в таких умовах представляє виявлення ПО типу безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з малими ефективними поверхнями розсіювання. При цьому характерним є знаходження БПЛА в зонах засвіток від місцевих предметів, що вимагає включення апаратури захисту від пасивних завад, а це додатково зменшує дальність виявлення [3–7].

З аналізу тенденцій розробки сучасних засобів радіолокаційної розвідки виявлення малорозмірних ПО встановлено, що основними напрямками розвитку таких систем є якісне підвищення інформативності та достовірності інтерпретації радіолокаційного відображення, скорочення часу огляду, дослідження і впровадження нових технологій [3]. Збільшення ефективності ведення радіолокаційної розвідки та інформативності при обробці первинної інформації можна досягати більш оптимальним використанням енергетики за рахунок об'єднання окремих радіолокаційних станцій (РЛС) в єдину систему [8–9].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що на цей час існує цілий ряд різновидів багатопозиційних радіолокаційних систем (БПРЛС) – систем РЛС або їх окремих позицій, рознесених в просторі, в яких проводиться сумісна обробка інформації про повітряну обстановку [4; 8–9]. Класифікація БПРЛС, наприклад в [8] проведена за наступ-

ними ознаками:

– за характером цілей, що обслуговуються виділяють активні, пасивні та комбіновані активно-пасивні БПРЛС;

– за ступенем просторової когерентності та рівнем об'єднання інформації: просторово-когерентні (найбільш повно використовують інформацію, що міститься в просторово-часовій структурі електромагнітного поля, але найбільш складні при їх технічній реалізації), з короткотерміновою просторовою когерентністю та некогерентні;

– а рівнем об'єднання інформації: з об'єднанням на рівні первинної (радіосигналів), вторинної (окремих позначок від цілі) та третинної (траєкторій) обробки інформації.

Частковим випадком БПРЛС є мультирадарні системи (МРС). МРС – це система, яка використовує більше одного радіолокаційного джерела і має здатність приймати, обробляти та відображати в інтегрованій формі дані від усіх задіяних радіолокаційних джерел [4; 9]. В МРС, як правило, об'єднання інформації відбувається на рівні вторинної або третинної обробки інформації. В загальному випадку МРС можна вважати будь-яке угруповання РТВ. Більш високі енергетичні та інформаційні характеристики має МРС з більш високим рівнем об'єднання інформації. Потенційна результуюча точність радіолокаційної інформації (РЛІ), яка може бути отримана в такій системі, вище, ніж у однопозиційних РЛС, що не об'єднані в систему [8].

Розвиток інформаційних технологій, використання спеціальних швидкодіючих процесорів при обробці сигналів та нової елементної бази розширює функціональні можливості МРС як засобу радіолокаційної розвідки. Це дозволяє здійснити реалізацію оптимальних алгоритмів обробки сигналів на фоні завад; адаптацію до швидкозмінних умов радіоелек-

тронної обстановки; відображення інформації в різних формах; підвищити швидкість обміну інформацією зі споживачами [3–6].

Відомо [3; 5], що у разі ускладнення повітряної обстановки існуюча система радіолокаційної розвідки потребує нарощування та ущільнення радіолокаційного поля за рахунок введення в певний район зосередження додаткових радіолокаційних засобів. Завдяки цьому в такому районі створюється більший коефіцієнт кратності перекриття зон виявлення та зменшення нижньої межі виявлення ПО. Проте при цьому енергетика всієї радіолокаційної системи використовується не в повному обсязі, кожна окрема РЛС приймає лише свій ехо-сигнал. В роботі для підвищення виявлення ПО запропоновано об'єднання існуючих оглядових РЛС в синхронну МРС з просторовою когерентністю з об'єднанням інформації на рівні первинної обробки ехо-сигналів.

**Метою статті** є аналіз можливості об'єднання існуючих оглядових РЛС в синхронну МРС.

### Виклад основного матеріалу

Для забезпечення можливості реалізації багатопозиційних методів виявлення та визначення місцеположення ПО при об'єднанні автономних оглядових РЛС в МРС з сумісним прийомом, необхідно виконання умови спостереження ПО одночасно всіма РЛС МРС. В роботі для простоти кількість РЛС в МРС обмежимо лише двома. Кількісним показником можливості одночасного спостереження ПО декількома РЛС є коефіцієнт перекриття зон виявлення РЛС [8]. На рис. 1 наведено приклад розташування двох однотипових оглядових РЛС, їх зони виявлення на визначеній висоті і утворення області простору з різним коефіцієнтом перекриття  $K_{\Pi}$ .

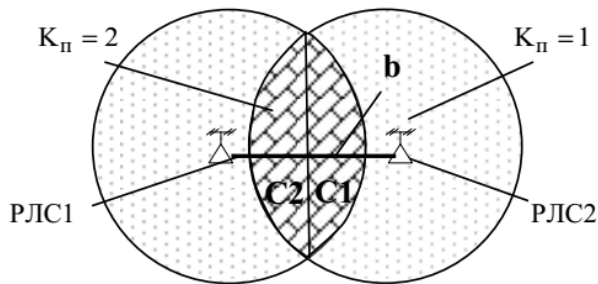


Рис. 1. Приклад розташування однотипових оглядових РЛС та утворення ними області простору з різним коефіцієнтом перекриття  $K_{\Pi}$

З аналізу рис. 1 видно, що ефективно застосування багатопозиційних методів обробки РЛП можливо тільки в зонах, де забезпечується кратність перекриття зон виявлення РЛС не менше 2 ( $K_{\Pi}=2$ ). В зонах, де відсутнє перекриття зон виявлення РЛС ( $K_{\Pi}=1$ ), РЛС можуть використовуватися тільки в автономному режимі.

На рис. 1 видно, що область, де забезпечується перекриття зон виявлення двох просторово-рознесених РЛС, має форму, що складається з двох сегментів ( $C1$  та  $C2$ ). Площа такої фігури  $S_C$  визначається виразом (1):

$$S_C = S_{C1} + S_{C2}, \quad (1)$$

де

$$S_{C1} = \frac{R1^2}{2} \left( 2 \arccos\left(\frac{R1^2 - R2^2 + b^2}{2R1b}\right) - \sin\left(2a \cos\left(\frac{R1^2 - R2^2 + b^2}{2R1b}\right)\right) \right) - \text{площа сегменту } C1;$$

$$S_{C2} = \frac{R2^2}{2} \left( 2 \arccos\left(\frac{R2^2 - R1^2 + b^2}{2R2b}\right) - \sin\left(2 \arccos\left(\frac{R2^2 - R1^2 + b^2}{2R2b}\right)\right) \right) - \text{площа сегменту } C2;$$

$R1, R2$  – максимальна дальність виявлення РЛС1 та РЛС2 відповідно на висоті нижньої межі, яка дорівнює дальності прямої радіовидимості,

$b$  – відстань між просторово-рознесеними автономними РЛС (база).

З аналізу виразу (1) видно, що розмір зони виявлення МРС залежить від розмірів бази  $b$  та дальності виявлення автономних РЛС, що утворюють МРС. Потенційна зона виявлення автономної РЛС обмежується дальністю прямої радіовидимості.

Відомі варіанти побудови БПРЛС розраховані для РЛС зі всеспрямованими антенами [4; 8–11]. В такому випадку зона виявлення системи дорівнює зоні перекриття, як представлено на рис. 1.

Розглянемо малобазову МРС, утворену з однопозиційних оглядових РЛС, які ведуть радіолокаційну розвідку шляхом послідовного сканування простору в азимутальній площині за принципом механічного обертання антенної системи. Під «малою» будемо вважати базу, якщо її розміри значно менші (на один порядок і більше), ніж дальність до ПО [8]. На рис. 2 зображено принцип огляду повітряного простору в синхронній МРС двох оглядових РЛС з механічним обертанням.

З рис. 2а видно, що при синхронному обертанні двох РЛС з вузькою шириною діаграми спрямованості антени (ДСА) всередині області, де забезпечується перекриття зон виявлення, позначеною  $S1$  з кратністю перекриття  $K_{\Pi}=2$ , в ближній до лінії бази зоні утворюється область  $S2$  (рис. 2б), де відсутнє перекриття ДСА, а РЛС можуть використовуватися тільки в автономному режимі. Площа зони  $S2$  залежить від розмірів бази  $b$  та ширини ДСА кожної з двох РЛС. Використання малобазових МРС дозволить спростити технічну реалізацію системи [8–10]. Така системи з певними доопрацюваннями без зна-

чних економічних витрат буде забезпечувати просторову когерентність з можливістю сумісної обробки РЛС.

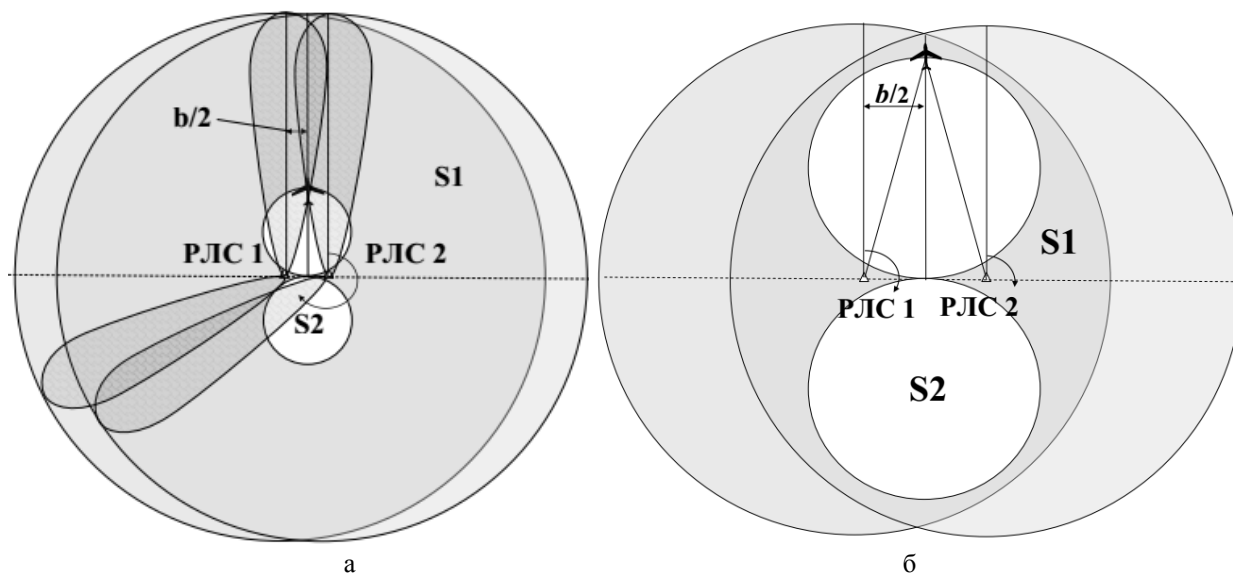


Рис. 2. а – область S1, де забезпечується перекриття ДСА РЛС з синхронним обертанням в МРС з базою  $b=1$  км; б – область S2, де відсутнє перекриття ДСА РЛС з синхронним обертанням в МРС з базою  $b=3$  км

Площу області простору МРС S2, де відсутнє перекриття ДСА РЛС, можна розрахувати за допомогою нескладних математичних операцій. Для цього слід розглянути трикутник, що утворює база та дві сторони – від кожної з РЛС до точки перетину їх ДСА. Маючи за вихідні параметри розміри бази  $b$ , в загальному випадку ширину ДСА РЛС1 та РЛС2 –

$\Delta\phi_1$  та  $\Delta\phi_2$  відповідно. Отже маємо трикутник, в якому відомі три кута та сторона.

Проведемо розрахунки та отримаємо вираз для функції, що пов’язує кут повороту антени (азимут) з відстанню до точки перетину ДСА РЛС  $S_2(\phi)$  (вираз (2)).

$$S_2(\phi) := \sqrt{\left( b \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \phi - \Delta\phi_1\right)}{\sin(\pi - \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1)} \right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} - b \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \phi - \Delta\phi_1\right)}{\sin(\pi - \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1)} \cdot b \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi - \Delta\phi_2\right) \quad (2)$$

На рис. 3 представлено графік функції  $S_2(\phi)$  з початком координат в середині бази в залежності від кута повороту антени  $\phi$  в азимутальній площині у випадку, коли ширина ДСА РЛС  $\Delta\phi_1=\Delta\phi_2=1^\circ$ , максимальна дальність виявлення  $R_1=R_2=100$  км, база  $b=3$  км.

Площа області S2, де відсутнє перекриття зон виявлення, можна визначити шляхом інтегрування функції  $S_2(\phi)$  (вираз (2)) за кутовою координатою  $\phi$ .

Обґрунтування обмежень щодо розташування РЛС проведемо на прикладі визначення площі перетину на визначеній висоті зони виявлення МРС з сумісним прийомом, яка складається з декількох (в даному випадку з двох) просторово-рознесених оглядових РЛС, що розташовані в лінію. Розрахунок розміру зони виявлення такої МРС здійснюємо за методикою, яка викладена в роботі [12–14].

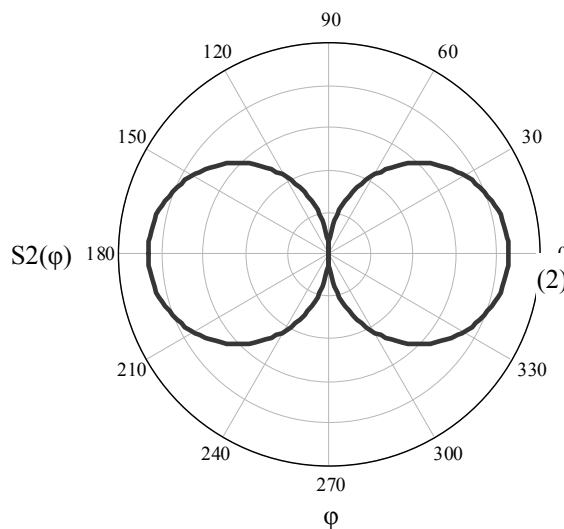


Рис. 3. Графічне зображення області S2, де відсутнє перекриття ДСА РЛС, в полярній системі координат

Площа зони виявлення МРС, де забезпечується перекриття ДСА при синхронному обертанні окремих РЛС буде визначатися виразом (3):

$$S_{MPC} = S_C - S_2 \quad (3)$$

На рис. 4 наведена залежність площі зони виявлення МРС нормована за площею зони виявлення однієї оглядової РЛС  $S_{MPC}/S_{РЛС}$  від розмірів бази  $b$  для різних значень ширини ДСА  $\Delta\phi$ . Коефіцієнт перекриття  $K_{\Pi}=2$ , максимальна дальність виявлення автономної РЛС  $R_1=R_2=100$  км, яка визначається висотою нижньої межі.

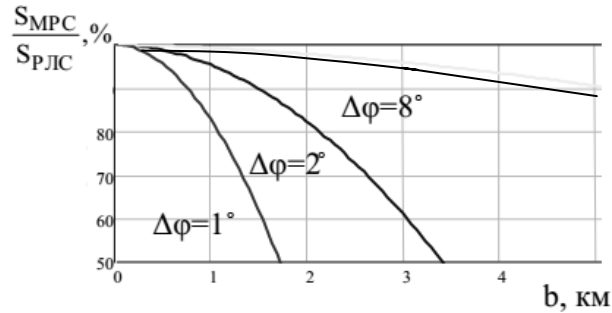


Рис. 4. Залежність  $S_{MPC}/S_{РЛС}$  від розмірів бази  $b$  для різних значень ширини ДСА  $\Delta\phi$

Площа зони виявлення автономної РЛС визначається площею кола з радіусом, який дорівнює дальності прямої радіовидимості ПО на визначеній висоті. Вважаємо, що автономні РЛС доцільно об'єднувати у МРС, якщо зона виявлення МРС не менше 90% від зони виявлення автономної РЛС.

На рис. 5 наведена залежність  $S_{MPC}/S_{РЛС}$  від ширини ДСА оглядової РЛС.

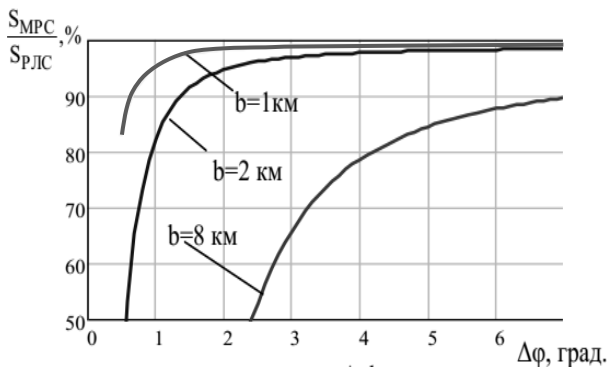


Рис. 5. Залежність  $S_{MPC}/S_{РЛС}$  від ширини ДСА РЛС  $\Delta\phi$  для різних значень бази  $b$

З аналізу рис. 5 можна зробити висновок, що, маючи двопозиційну МРС з сумісним прийомом, в якій РЛС розташовані в лінію, для забезпечення зони виявлення МРС з коефіцієнтом перекриття 2 та максимальною дальністю виявлення 100 км, відстань між автономними РЛС повинна складати не більше 2 км для оглядових РЛС з шириною ДСА  $\Delta\phi$  в діапазоні  $0^\circ..1,6^\circ$ .

На рис. 6 наведена залежність  $S_{MPC}/S_{РЛС}(\Delta\phi, b)$

у тривимірному вигляді. Як видно з представленого на рис. 6 графіка, параметри МРС (база та ширина ДСА окремих РЛС), що задовольняють вимоги втрати не більше 90% площі зони лежать у полі 1.

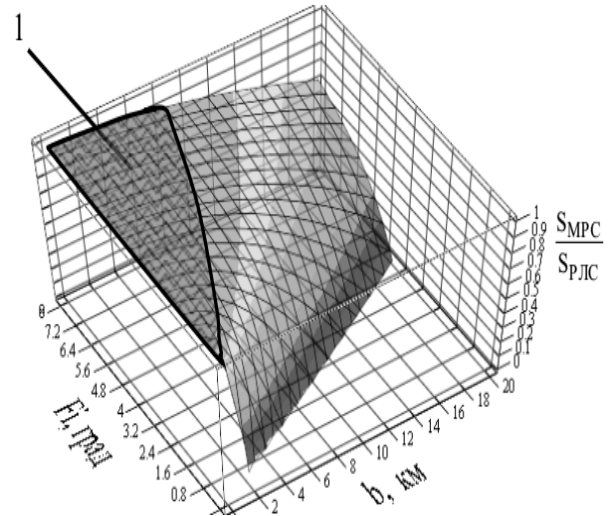


Рис. 6. Залежність  $S_{MPC}/S_{РЛС}$  від ширини ДСА та дальності між просторово-рознесеними РЛС

Проведені розрахунки параметрів МРС для отримання оптимальної сумісної зони виявлення за критерієм максимальної площі з урахуванням необхідності забезпечення електромагнітної сумісності та вимог до просторового розташування окремих елементів розрідженої антенної решітки.

Проведені розрахунки параметрів МРС для отримання раціональної сумісної зони виявлення за критерієм максимальної площі з урахуванням необхідності забезпечення електромагнітної сумісності та вимог до просторового розташування окремих елементів розрідженої антенної решітки, що утворена автономними оглядовими РЛС.

## Висновки

Таким чином, в роботі проведено розрахунки параметрів МРС. Встановлено вимоги щодо конфігурації оглядових МРС з сумісним прийомом ехосигналів, які утворюються шляхом об'єднання автономних оглядових РЛС, які забезпечують отримання необхідної зони виявлення МРС.

Показано, що найкращі можливості використання методів багатопозиційної радіолокації при об'єднанні двох автономних РЛС з механічним обертанням для підвищення якості РЛІ в синхронну МРС забезпечуються, якщо РЛС розташовані на відстані не більше 2 км.

Збільшення відстані між автономними РЛС, що об'єднуються, веде до суттєвого зменшення розміру площі або збільшенню нижньої межі зони виявлення МРС з сумісним прийомом ехо-сигналів. При необхідності збільшення бази втрати розмірів площі перекриття зони виявлення МРС компенсується збільшенням ширини ДСА РЛС.

Перспективи подальших досліджень полягають у вирішенні завдань синхронізації та розрахунку гео-метрії системи, пошуку раціональної кількості елементів системи, метрії системи.

## Список літератури

1. Banasik M. How to understand the Hybrid War / M. Banasik // *Securitologia*. – 2015. – № 1. – Pp. 19-34.
2. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов. – 2017. – № 2(27). – С. 19-25.
3. Белавін О.В. Світові тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору / О.В. Белавін, В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, О.С. Маляренко // *Наука і оборона*. – 2015. – № 1. – С. 48-53.
4. Hill Dave Multi-Static Primary Surveillance Radar – An examination of Alternative Frequency Bands / Dave Hill, Philip Galloway // Report of EUROCONTROL. – Issue 1.2. – 183 p. – URL: [http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/mspsr\\_study\\_report.pdf](http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/mspsr_study_report.pdf). (Дата звернення: 21.09.2017).
5. Шамко Є.В. Основні особливості застосування Повітряних Сил в сучасних умовах ведення збройної боротьби / Є.В. Шамко, О.М. Жарик, В.В. Коваль // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2017. – № 2 (27). – С. 15-18.
6. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації: Алімпієв А.М., Певцов Г.В., Гриб Д.А. (ред.). – Х.: Оригінал, 2015. – 732 с.
7. Ліщенко В.М. Малорозмірні безпілотні літальні апарати як об'єкти радіолокаційної розвідки / В.М. Ліщенко, В.В. Чалий, А.Д. Карлов // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2016. – № 3 (39). – С. 27-32.
8. Chernyak V.S. Fundamentals of Multisite Radar Systems / V.S. Chernyak. – Gordon and Breach Science Publishers, 1998. – 475 p.
9. Radar Handbook. Third Edition / Editor in Chief Merrill I. Skolnik. USA: McGraw-Hill, 2008. – 1351 p.
10. Черняк В.С. О новом направлении в радиолокации / В.С. Черняк // *Прикладная радиоэлектроника*. – 2009. – №4 (том 8). – С. 477-489.
11. Петров В. Наземные РЛС ПВО стран НАТО / В. Петров, С. Гришулин // *Зарубежное военное обозрение*. – URL: <http://www.modernarmy.ru/article/173> (Дата звернення: 12.05.2017).
12. Advances in Bistatic Radar. Edited by Nicholas J. Willis, Hugh D. Griffiths. SciTech Publishing Inc., 2007. – 515 p.
13. Fewell M.P. Area of common overlap of three circles / M.P. Fewell // *Maritime operations divisions defences science and technology organization*. – 2006. – P. 1-30.
14. Barton D.K. Radar System Analysis and Modeling / David K. Barton. – Norwood: Artech House, Inc., 2005. – 545 p.

## References

1. Banasik, M. (2015), "How to understand the Hybrid War", *Securitologia*, No. 1, pp. 19-34.
2. Alimpiiev, A.M. and Pevtsov, G.V. (2017), "Osoblyvosti hibrydnoi viiny RF proty Ukrainy. Dosvid, shcho otrymanyi Povitrianymy Sylamy Zbroinykh Syl Ukrainy" [The features of the hybrid war of the Russian Federation against Ukraine. Experience received by the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2 (27), pp. 19-25.
3. Belavin, A.V., Klimchenko, V.I., Kamaltynov, G.G., Malyarenko A.S. (2015), "Svitovi tendenciji rozvytku radiolokacijnykh zasobiv kontrolju povitranogho prostoru", [World trends in the development of radar means for control airspace], *Science and defense*, No. 1, pp. 48-53.
4. Dave Hill and Galloway Philip (2017), "Multi-Static Primary Surveillance Radar – An examination of Alternative Frequency Bands", *Report of EUROCONTROL*, Issue 1.2, 183 p. URL: [http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/mspsr\\_study\\_report.pdf](http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/mspsr_study_report.pdf). (accessed 21 September 2017).
5. Shamko, Ye.V., Zharyk, O.M. and Koval, V.V. (2017), "Osnovni osoblyvosti zastosuvannia Povitrianykh Syl v suchasnykh umovakh vedennia zbroinoi borotby" [Basic features of use of the Air Force under present-day conditions during armed struggle], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2 (27), pp. 15-18.
6. Alimpiiev, A.M., Pevtsov, G.V. and Grib, D.A. (2015), "Dovidnyk uchasyuka ATO: ozbrojennja i vijsjkova tekhnika Zbroinykh Syl Rosijskoi Federaciji" [Reference book of the participant of the ATO: weapons and military equipment of the Armed Forces of the Russian Federation], Original, Kharkiv, 732 p.
7. Lishchenko, V.M., Chaliy, V.V. and Karlov, A.D. (2016), "Malorozmirmi bezpilotni litaljni aparaty – analiz zagroz efektyvnosti vedennja radiolokacijnoji rozvidky" [Small unmanned aerial vehicles - threat analysis of efficiency of reference of radar reconnaissance], *Systems of control, navigation and communication*, No. 3 (39), pp. 27-32.
8. Chernyak, V.S. (1998), *Fundamentals of Multisite Radar Systems*, Gordon and Breach Science Publishers, 475 p.
9. Skolnik Merrill, I. (2008), *Radar Handbook*, Third Edition, McGraw-Hill, USA, 1351 p.
10. Chernyak, V.S. (2009), "O novom napravleny v radyolokacyu". [About a new direction in radar], *Applied electronics*, No. 4 (tom 8), Pp. 477-489.
11. Petrov, V and Grishulin S. (2017), "Nazemnie radyolokatori protyvovozdushnoj oboroni stran NATO", [Ground-based air defense radars of NATO countries], *Foreign military review*, URL: <http://www.modernarmy.ru/article/173> (accessed 12 August 2017).
12. Willis, Nicholas J. and Griffiths, Hugh D. (2007), *Advances in Bistatic Radar*, SciTech Publishing Inc., 515 p.
13. Fewell, M.P. (2006), Area of common overlap of three circles, *Maritime operations divisions defences science and technology organization*, pp. 1-30.
14. Barton, D.K. (2005), *Radar System Analysis and Modeling*, Artech House, Inc., Norwood, 545 p.

Надійшла до редколегії 4.10.2017

Схвалена до друку 2.11.2017

**Відомості про авторів:**

**Худов Геннадій Володимирович**  
 доктор технічних наук професор  
 начальник кафедри Харківського національного  
 університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8269-0089>  
 e-mail: 2345kh\_hg@ukr.net

**Лищенко Віталій Миколайович**  
 ад'юнкт Харківського національного університету  
 Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8269-0089>  
 e-mail: lvnp04ta@gmail.com

**Тютюнник Владислав Олександрович**  
 кандидат технічних наук  
 старший науковий співробітник  
 начальник науково-дослідного відділу  
 Харківського національного університету  
 Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>  
 e-mail: tvlad1970@gmail.com

**Чалий Владислав Вячеславович**  
 молодший науковий співробітник  
 Харківського національного університету  
 Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3614-1916>  
 e-mail: v0131350@gmail.com

**Information about the authors:**

**Hennadii Khudov**  
 Doctor of Technical Science Professor  
 Head of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv  
 National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8269-0089>  
 e-mail: 2345kh\_hg@ukr.net

**Vitaliy Lishchenko**  
 Postgraduate student of Ivan Kozhedub Kharkiv  
 National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8269-0089>  
 e-mail: lvnp04ta@gmail.com

**Vladyslav Tiutiunnyk**  
 Candidate of Technical Science  
 Senior Research  
 Chief of Scientific Research Department  
 of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force  
 University,  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>  
 e-mail: tvlad1970@gmail.com

**Vladislav Chaliy**  
 Research Associate  
 of Ivan Kozhedub Kharkiv  
 National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3614-1916>  
 e-mail: v0131350@gmail.com

## МУЛЬТИРАДАРНАЯ СИСТЕМА ОБЗОРНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ С МАЛОЙ БАЗОЙ

Г.В. Худов, В.М. Лищенко, В.А. Тютюнник, В.В. Чалий

*В работе проанализированы недостатки и преимущества существующих многопозиционных радиолокационных систем обнаружения воздушных объектов. С целью увеличения дальности обнаружения малозаметных и малоразмерных воздушных объектов предложено использование нескольких однотипных обзорных радиолокационных станций и объединения их в малобазовую синхронную мультирадарную систему. В такой системе за счет более рационального использования энергетики и, как следствие, информационной избыточности в области, которая образуется пересечением диаграмм направленностей обзорных радиолокационных станций, достигается более высокое значение отношения полезного сигнала к шуму. Проведены расчеты параметров зоны обнаружения мультирадарной системы методом математического моделирования.*

**Ключевые слова:** радиолокационная станция, обзор пространства, воздушный объект, мультирадарная система, многопозиционная система, зона обнаружения, коэффициент перекрытия, малая база.

## MULTI-RADAR SYSTEM OF SURVEY MONOSTATIC RADARS WITH SMALL BASE

H. Khudov, V. Lishchenko, V. Tiutiunnyk, V. Chaliy

*The paper analyses disadvantages and advantages of existing multi-position radar systems for detection of airborne objects. In order to increase the detection range of low-visibility and small-sized air units, it was proposed to use several single-type survey radar stations and unite them into a small basis synchronous multi-radar system. He conducts a sequential circular survey in the azimuthal plane using the mechanical rotation of the antenna system. Such radars, combined into a multi-radar system with a small base. Radars rotate synchronously around themselves at the same time irradiating a certain area of space. In such a system in the area of intersection of antenna pattern diagrams, due to the more rational use of the power system and, as a result, information redundancy, we have more dimension of the ratio of signal to noise. In addition, in contrast to the omnidirectional antennas, an area around the base is formed, which is not irradiated at the same time by all radars. The size of the multi-radar system coverage depends on this area. The calculations of the parameters of the detection zone of a multi radar system by mathematical modelling are carried out. The obtained mathematical models can be used for construction of more complex multi radar systems.*

**Keywords:** monostatic radar, surveillance, multi radar system, airborne target, multi radar system, multisite radar systems, detected zone, overlap coefficient, small base.