

В.Й. Климченко¹, В.О.Тютюнник¹, І.М. Трофимов¹, Д.А. Дончак²

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

²Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

РАДІОЕЛЕКТРОННЕ ПОДАВЛЕННЯ КОМПЛЕКСІВ БІСТАТИЧНОЇ ЛОКАЦІЇ “НА ПРОСВІЧУВАННЯ”

Радіолокаційні бістатичні комплекси (РЛБК) є ефективним засобом виявлення малорозмірних маловисотних повітряних об'єктів, Особливостями комплексу є використання нетрадиційного для радіолокації діапазону довжин хвиль (390-430 МГц) та реалізація методу бістатичної локації “на просвічування, при якому використовується явище значного збільшення радіолокаційної помітності об'єктів при перевипромінюванні вперед. Означені особливості визначають відмінні від традиційної радіолокації вимоги до засобів та тактики електронного подавлення таких комплексів. Проведено аналіз особливостей побудови радіолокаційного комплексу бістатичної радіолокації “на просвічування” та обґрунтовано вимоги до енергетичних та спектральних характеристик активних шумових завод для його радіоелектронного подавлення. Розроблено пропозиції щодо використання постановників активних завод для протидії бістатичним радіолокаційним комплексам.

Ключові слова: радіоелектронна боротьба, бістатичні радіолокаційні системи, активні заводи, радіоелектронне подавлення, протидія радіолокаційній розвідці.

Вступ

Постановка проблеми. Для забезпечення своєчасного виявлення малорозмірних маловисотних повітряних об'єктів [1], які пересікають у повітряному просторі межі зони, що охороняється, використовують технічні засоби, які будуються на різних фізичних принципах. Найбільш поширеними є засоби радіолокаційного та оптичного виявлення, які працюють в різних діапазонах довжин хвиль. Одним із таких технічних засобів є комплекси бістатичної локації “на просвічування” [2–4]. Особливостями таких комплексів є використання нетрадиційного для радіолокації діапазону довжин хвиль (390-430 МГц) та використання явища різкого збільшення радіолокаційної помітності об'єктів при перевипромінюванні вперед [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Радіоелектронне придушення таких специфічних засобів на відміну від традиційних засобів радіолокації має свою специфіку [6–8], яка на сьогодні є недостатньо дослідженою. Невизначеними залишаються такі технічні параметри радіоелектронного подавлення, як типи завод, їх енергетичні параметри, спектрально-часові та просторові характеристики. Невизначеність технічних питань тягне за собою невизначеність тактики бойового застосування існуючих та перспективних засобів радіоелектронного подавлення.

Метою статті є визначення вимог до енергетич-

них та спектральних характеристик активних шумових завод для радіоелектронного подавлення комплексів бістатичної локації “на просвічування” і розробка пропозицій щодо використання постановників активних завод для протидії означеним радіолокаційним комплексам.

Виклад основного матеріалу

1. Загальна характеристика комплексів бістатичної локації “на просвічування”. Комплекси бістатичної локації “на просвічування” “призначені [3–5] для систем захисту територій (кордонів, резиденцій, важливих об'єктів, гірських ущелин, проток і входів в акваторії портів), що охороняються, від малопомітних маловисотних повітряних об'єктів, зокрема крилатих ракет, літаків, виготовлених за технологією “Stealth”, легких спортивних літаків, дельтапланів, повітряних куль та ін.

Такі комплекси бістатичної локації є принципово новим типом радіолокаційного озброєння, що використовує метод бістатичної локації “на просвічування”. При радіолокації “на просвічування” ефективна поверхня розсіяння цілей значно зростає і мало залежить від геометричних форм цілей та наявності на них радіопоглинаючого покриття [2; 5], тобто “Stealth”-цілі виявляються як звичайні. Завдяки ефекту “просвічування” можна надійно виявляти малопомітні цілі, недоступні для виявлення традиційними моностатичними радіолокаційними станціями (РЛС). Характерною особливістю таких ком-

плексів є те, що зондувальним сигналом є випромінювання передавача радіорелейної станції (PPC) в штатному режимі роботи (зв'язок, передача телекодової інформації). Випромінювана потужність складає всього 1...3 Вт, що робить їх малопомітними для радіотехнічної розвідки і дозволяє розташовувати РЛК поблизу населених пунктів. РЛК формує радіолокаційний бар'єр шириною декілька кілометрів, висотою від поверхні землі до 3...7 км і протяжністю до 400 – 500 км (може об'єднуватися до 10 бістатичних ланок). Радіолокаційному бар'єру можна надати будь-якої форми. Вся апаратура працює повністю автоматично без обслуговуючого персоналу. РЛК автоматично виявляє, визначає траєкторні параметри, супроводжує і розпізнає об'єкти при їх прольоті через бар'єрну зону (радіолокаційний кордон). Радіолокаційна інформація від усіх ланок по радіоканалу PPC передається на єдиний виносний пристрій, який може бути віддалений від бар'єру на сотні кілометрів. Типовим прикладом такого комплексу є РЛК “ Барьер-Е” [9] , основні тактико-технічні характеристик и якого наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Основні тактико-технічні характеристики комплексу бістатичної локації “на просвічування”

Технічний параметр		Значення параметру
Діапазон хвиль, МГц		390...430 (10 робочих точок)
Зона виявлення:		Багатоланкова (максимальна кількість ланок 10)
Довжина однієї ланки, км		до 50
Поперечний розмір бар'єрної зони, км		1,5-12 (залежно від типу цілі)
Висота бар'єрної зони, км		від 0,03 до 3-7
Середньоквадратичні похибки визначення координат і параметрів трас цілей :		
Дальності, м	Рух цілі уздовж бар'єру	2100
	Рух цілі поперек бар'єру	170
Азимуту, град.		1
Швидкості, м/с		5,8
Роздільна здатність, м	Рух цілей уздовж бар'єру	не більше 300
	Рух цілей поперек бар'єру	не більше 3000
Кількість класів розпізнаваних цілей		5 (крилата ракета, винищувач, бомбардувальник, вертоліт, легкомоторний літак)
Імовірність розпізнавання		0,89
Вид вихідної інформації		Траси
Кількість одночасно супроводжуваних цілей		5 (у зоні огляду однієї ланки)
Темп видачі інформації, с		1

До складу РЛК входять до одинадцяти приймально-передавальних постів (десятиланкова система) і виносний пристрій з робочим місцем оператора.

На приймально-передавальному посту розташовуються:

- щогла зі встановленою на ній приймальною антенно-фідерною системою;
- апаратура обробки сигналів (у кабіні, контейнері);
- апаратура контролю технічного стану поста (глибина пошуку несправностей до 1-2 модулів);
- PPC, яка використовується одночасно як джерело зондувального сигналу і як передавач радіолокаційної та службової інформації;
- апаратура передачі даних для спряження з PPC.

Виносний пристрій включає:

- робоче місце оператора з індикатором відображення інформації про цілі і технічний стан РЛК, апаратурою управління РЛК і апаратурою реєстрації і документування інформації;
- PPC для прийому радіолокаційної інформації і прийому-передачі службової інформації;
- апаратура передачі даних (АПД) для спряження з PPC;
- апаратуру спряження із споживачами інформації (автоматизованою системою управління – АСУ).

Для визначення можливостей щодо придушення радіолокаційного комплексу “Барьер-Е” необхідно провести аналіз особливостей його функціонування та визначити потрібні рівні активних шумових завад. Метою придушення радіолокаційного комплексу “Барьер-Е” є приховування фактів пересікання межі зони, що охороняється, повітряними об'єктами.

2. Оцінка можливостей щодо радіоелектронної протидії комплексам бістатичної локації “ на просвічування”. Робота комплексу буде повністю порушена в тому випадку, коли потужність створюваних активних завад буде не менше потужності відбитого від цілі сигналу з урахуванням його накопичення в тракті обробки.

Потужність сигналу на приймальній стороні можна розрахувати за формулою:

$$P_c = \frac{P_{zc} G_a}{4\pi r^2} \cdot \sigma_{ц} \cdot \frac{A_{ef}}{4\pi(r_0 - r)^2} \cdot K_n, \quad (1)$$

де P_{zc} – потужність зондувального сигналу;

G_a – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$\sigma_{ц}$ – ефективна відбивача поверхня цілі “на просвічування”;

A_{ef} – ефективна площа приймальної антени;

K_H – коефіцієнт накопичення сигналів в системі обробки;

r_0 – база РЛК;

r – відстань від одного з постів (наприклад, передавального) до цілі (рис. 1).

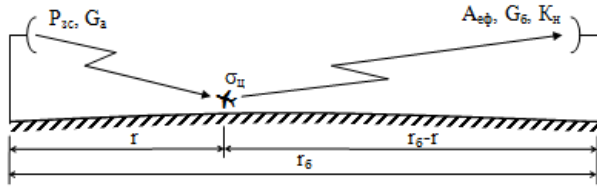


Рис. 1. Схема дії однієї ланки РЛК "Бар'єр-Е"

Цілком очевидно, що радіоелектронне придушення необхідно здійснювати так, щоб потужність активних завад була не меншою від сигналу (1), а ширина спектра – не менше ширини спектра зондувального сигналу РЛК "Бар'єр-Е". При цьому імовірність виявлення цілей буде не більше 0,05 [10].

При дії активної завади по головному променю діаграми направленості антени (ДНА) рівень її потужності буде складати:

$$P_{3z} = \frac{P_{n3} G_{n3} A_{эф}}{4\pi^2 r_{n3}^2}, \quad (2)$$

а при дії по бічних пелюстках:

$$P_{3б} = \frac{P_{n3} G_{n3} A_{эф} G_б}{4\pi^2 r_{n3}^2}, \quad (3)$$

де P_{n3} – потужність передавача активних завад;

G_{n3} – коефіцієнт підсилення антени передавача завад;

$G_б$ – рівень бічних пелюсток приймальної антени;

r_{n3} – відстань між передавачем активних завад і приймальним пунктом системи.

Порівнюючи (1) з (2) знаходимо співвідношення, яке пов'язує параметри постановника активних завад і дальність його розташування з параметрами бістатичного РЛК при дії активної завади по головному променю приймальної антени РЛК:

$$P_{n3} G_{n3} \geq \frac{P_{3c} G_a \sigma_{ц} K_H r_{n3}^2}{4\pi \cdot r^2 (r_0 - r)^2}. \quad (4)$$

Аналогічно при дії активних завад по бічних пелюстках необхідно порівняти співвідношення (1) і (3):

$$P_{n3} G_{n3} \geq \frac{P_{3c} G_a \sigma_{ц} K_H r_{n3}^2}{4\pi \cdot r^2 (r_0 - r)^2 G_б}. \quad (5)$$

Із аналізу виразів (4), (5) випливає, що потрібний для придушення РЛК рівень активних шумових

завад залежить не тільки від відстані між постановником завад і приймальним пунктом РЛК та параметрів РЛК, а й від відстані r , тобто від місця перетинання ціллю бар'єрної зони.

Аналіз виразів (4), (5), як функцій від відстані r , показує, що найкращим варіантом для прихованого перетинання бар'єрної зони є середина бази. В цьому випадку $r = r_0/2$ і вимоги до рівня завад, необхідних для придушення РЛК, є мінімальними:

$$P_{n3} G_{n3} \geq \frac{4 \cdot P_{3c} G_a \sigma_{ц} K_H r_{n3}^2}{\pi \cdot r_0^4}, \quad (6)$$

або

$$P_{n3} G_{n3} \geq \frac{4 \cdot P_{3c} G_a \sigma_{ц} K_H r_{n3}^2}{\pi \cdot r_0^4 G_б}. \quad (7)$$

Дійсно, поділивши (4) на (6) або (5) на (7), отримаємо функцію

$$f(r) = \frac{P_{n3} G_{n3}(r)}{P_{n3} G_{n3}(r_0/2)} = \frac{r_0^4}{16 \cdot r^2 (r_0 - r)^2}, \quad (8)$$

графік якої наведений на рис. 2.

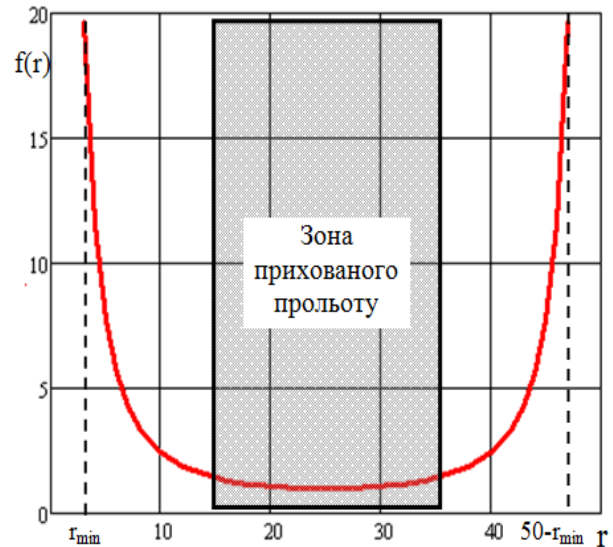


Рис. 2. Залежність відносної зміни потрібної потужності завад для прихованого прольоту бар'єрної зони

Найгіршим варіантом для прихованого перетинання бар'єрної зони є перетинання її на відстані r_{min} від одного із постів.

Потрібний для придушення РЛК рівень завад, діючих по головному променю або по бічних пелюстках, визначається співвідношеннями:

$$P_{n3} G_{n3} \geq \frac{P_{3c} G_a \sigma_{ц} K_H r_{n3}^2}{4\pi \cdot r_{0min}^2}; \quad (9)$$

$$P_{nz} G_{nz} \geq \frac{P_{zc} G_a \sigma_{\psi} K_H r_{nz}^2}{4\pi \cdot r_{\bar{0}}^2 r_{\min}^2 G_{\bar{0}}}, \quad (10)$$

та зростає приблизно у 20 разів (див. рис. 2).

Для розрахунків за формулами (4–7; 9–10) необхідно визначитись з їхніми складовими. Такі технічні характеристики комплексу, як потужність зондувального сигналу та величина бази, наведені в [9]. Для решти характеристик немає даних у відкритих публікаціях. Вони визначались оціночно, виходячи із діапазону РЛК, зовнішнього вигляду його антен, принципів побудови таких систем, можливостей сучасної елементної бази та ін.

Окремо необхідно торкнутись визначення величини σ_{ψ} . Експериментальних даних стосовно величини ефективної відбиваючої поверхні конкретних типів цілей “на просвічування” немає. Є лише результати математичного моделювання та теоретичні формули наближеного розрахунку [11–12].

Отже, ефективна площа розсіювання “на просвічування” визначається виразом:

$$\sigma_{\psi} = 4\pi \frac{S^2}{\lambda^2}, \quad (11)$$

де S – площа силуету цілі “на просвічування”;

λ – довжина хвилі.

Усі, необхідні для розрахунків характеристики зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Оціночні технічні характеристики РЛК “Барьер-Е”

Технічний параметр	Значення
P_{zc} , Вт	3
G_a , дБ	23
σ_{ψ} , м ²	$\sigma_{\psi} = 4\pi \frac{S^2}{\lambda^2}$
K_H	10^3
$r_{\bar{0}}$, км	50
r_{\min} , км	3
λ , м	0,75
$G_{\bar{0}}$, дБ	-17
Δf , МГц	1

Якщо залишити поза увагою конкретні параметри постановника завад (P_{nz} , G_{nz}) та його місце знаходження r_{nz} , то можна висунути вимоги до щільності потоку потужності завад, яку необхідно створити в точці знаходження приймальної антени для перешкоджання роботі приймального пристрою.

При дії активних завад по головному променю приймальної антени РЛК:

$$P_{nz2} \geq \frac{P_{zc} G_a \sigma_{\psi} K_H}{(4\pi)^2 \cdot r^2 (r_{\bar{0}} - r)^2}, \quad (12)$$

а при дії завад по бічних пелюстках ДНА приймальної антени РЛК:

$$P_{nz\bar{0}} \geq \frac{P_{zc} G_a \sigma_{\psi} K_H}{(4\pi)^2 \cdot r^2 (r_{\bar{0}} - r)^2 G_{\bar{0}}}. \quad (13)$$

Вся випромінювана потужність завад має бути зосереджена в смузі частот, яка відповідає спектру зондувального сигналу РЛК “Барьер-Е”.

Знаючи ефективну ширину цього спектру, можна визначити потрібну спектральну щільність потоку потужності в точці знаходження приймальної антени:

$$W_{nz2} \geq \frac{P_{zc} G_a \sigma_{\psi} K_H}{(4\pi)^2 \cdot r^2 (r_{\bar{0}} - r)^2 \cdot \Delta f}; \quad (14)$$

$$W_{nz\bar{0}} \geq \frac{P_{zc} G_a \sigma_{\psi} K_H}{(4\pi)^2 \cdot r^2 (r_{\bar{0}} - r)^2 \cdot G_{\bar{0}} \cdot \Delta f}. \quad (15)$$

Можливість постановки завад по головному променю чи по бічних пелюстках ДНА приймального поста РЛК типу “Барьер-Е” визначається розташуванням комплексу впродовж кордону чи лінії фронту (рис. 3).

При ширині променю приблизно в 15° і базі 50 км він може накрити суміжну територію, коли окремі ланки комплексу розташовані від лінії кордону на відстані не більше 5...6 км. В цьому випадку можлива постановка завад по головному променю з суміжної території.

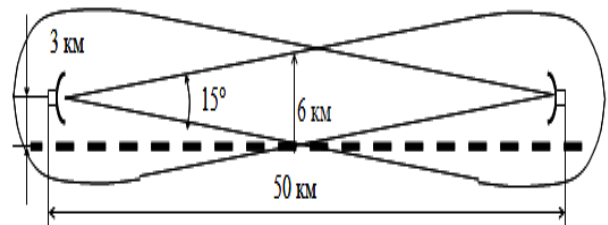


Рис. 3. Розташування ланки бістатичного РЛК “на просвічування” вздовж кордону

При більшому віддаленні РЛК від кордону (лінії фронту) постановка завад можлива лише по бічних пелюстках ДНА приймального поста РЛК.

Розрахуємо потрібну спектральну щільність потоку потужності, яку необхідно створити в районі приймальної позиції, для прихованого прольоту по центру бази і на мінімальній відстані від одного із постів двох типів цілей, а саме тактичного безпілотного літального апарата (БПЛА) і цілі типу вертоліт “Ми-8” при технічних параметрах РЛК “Барьер-Е”, що наведені в табл. 2. Результати розрахунку наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Необхідні значення спектральної щільності потоку потужності для придушення РЛК типу “Барьер-Е” при прольоті через бар’єр цілей типу БПЛА та вертольоту “Ми-8”

Спосіб перетинання бар’єра	Спосіб постановки завад	Потрібна спектральна щільність потоку потужності для прикриття прольоту, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{МГц}}$	
		БПЛА	Ми-8
По центру бази	По головн. променю	$8,7 \cdot 10^{-15}$	$1,36 \cdot 10^{-10}$
	По бічних пелюстках	$4,3 \cdot 10^{-13}$	$6,8 \cdot 10^{-9}$
На відстані r_{\min} від одного із пунктів	По головн. променю	$1,6 \cdot 10^{-13}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$
	По бічних пелюстках	$7,6 \cdot 10^{-12}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$

Отже, для прихованого перетинання цілями бар’єрної зони необхідний рівень спектральної густини потоку потужності, створюваної в точці приймального поста РЛК, може змінюватись в широких межах в залежності від типу цілі та способу перетинання нею бар’єрної зони. Найнижчий рівень спектральної густини потоку потужності потрібний при постановці завад по головному променю ДНА і при перетинанні ціллю бар’єрної зони приблизно по центру бази.

3. Розробка рекомендацій та пропозицій щодо протидії бістатичним комплексам локації “на просвічування”. Радіоелектронна протидія РЛК бістатичної локації типу “Барьер-Е” спряжена з рядом проблем, основною з яких є те, що цей комплекс працює в нетрадиційному для радіолокації діапазоні хвиль. Цей діапазон в використовується для роботи засобів радіозв’язку. Тому для порушення роботи комплексу “Барьер-Е” потрібно залучати засоби радіоелектронної боротьби, які призначені для створення завад засобам зв’язку у діапазоні частот 330...430 МГц. Одним із таких засобів є комплект малогабаритних передавачів завад РП-377АМ (літера 6 – 220...400 МГц, літера 7 – 400...500 МГц). Передавачі завад формують загороджувальну за частотою шумову заваду. При вихідній потужності передавачів 3...5 Вт, смузі випромінювання 100 МГц та коефіцієнті підсилення антени в 3...4 одиниці означені малогабаритні передавачі здатні створювати радіоелектронні завади достатньої потужності для порушення роботи приймача радіолокаційного комплексу бістатичної локації. Для порушення роботи РЛК “Барьер-Е” потрібно на відстані до од-

ного кілометра від приймача комплексу встановити комплект передавача завад РП-377АМ з літерами 6, 7. В цьому випадку в точці стояння приймального поста комплексу буде створена спектральна густина потоку потужності $(1,2 \dots 2) \cdot 10^{-7} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{МГц}}$, чого

достатньо для повного придушення РЛК при дії завад по бічних пелюстках і забезпечення приховного прольоту таких за розмірами цілей, як Ми-8 і менше, через бар’єрну зону в будь-якій її точці. Передавачі завад можуть доставлятися на територію противника в район розташування РЛК “Барьер-Е” розвідниками або розвідувально-диверсійними групами. Один розвідник може одночасно переносити три передавачі завад у спеціальному рюкзаку. У випадку перетинання ціллю бар’єрної зони приблизно по центру бази вимоги до потрібного для придушення РЛК рівня спектральної густини потоку потужності знижуються більше, ніж на порядок (див. табл. 3). Це означає, що передавачі завад можуть бути встановлені на відстані 10...12 км від приймального поста РЛК, тобто на своїй території. І насамкінець, якщо конфігурація бар’єрної зони така, що головний промінь ДНА накриває суміжну територію, то вимоги до потрібного рівня спектральної густини потоку потужності знижуються ще на порядок, оскільки завади в цьому випадку діють по головному променю ДНА. У зв’язку з обмеженим часом роботи передавача завад РП-377АМ, а також для запобігання передчасного його виявлення, вмикання передавача завад потрібно робити лише в час, необхідний для прольоту авіаційних засобів через межу, що охороняється ланкою РЛК “Барьер-Е”.

В подальшому, для створення ефективної протидії роботі РЛК “Барьер-Е” доцільна розробка засобів радіоелектронної боротьби в зазначеному діапазоні більш великої потужності.

Висновки

1. Поява на озброєнні армій провідних країн світу рознесених радіолокаційних систем виявлення повітряних цілей свідчить про розвиток нетрадиційних та принципово нових типів радіолокаційного озброєння. Типовим представником радіолокаційного озброєння нового покоління є радіолокаційний комплекс “Барьер-Е”, який використовує метод бістатичної локації “на просвічування”. При радіолокації “на просвічування” ефективна поверхня розсіяння цілей значно зростає і мало залежить від геометричних форм цілей та наявності на них радіопоглинаючого покриття. Такі системи здатні ефективно виявляти малорозмірні цілі та цілі, виготовлені за технологією “Stealth”. Використання ефекту “просвічування” забезпечує виявлення малопомітних

цілей, які недоступні для виявлення традиційними однопозиційними РЛС.

2. Радіоелектронне придушення РЛК типу “Барьер-Е” можливе за умови створення в місці розташування приймальної антени спектральної щільності потоку потужності від $8,7 \cdot 10^{-15}$ Вт/(м²·МГц) до $1,2 \cdot 10^{-7}$ Вт/(м²·МГц) в залежності від типу цілі, способу перетинання нею бар’єрної зони та способу постановки завад.

3. Із наявних на озброєнні Збройних Сил України засобів радіоелектронного придушення для протидії РЛК типу “Барьер-Е” можуть бути використані лише передавачі завад РП-377АМ (літера 6 – 220...400 МГц, літера 7 – 400...500 МГц).

4. Для повного придушення РЛК типу “Барьер-Е” комплект передавача завад РП-377АМ з

літерами 6, 7 потрібно встановлювати на відстані до одного кілометра від приймача комплексу.

5. Доставка передавачів завад в місця розташування РЛК “Барьер-Е” можлива розвідниками або розвідувально-диверсійними групами. Один розвідник може одночасно переносити три передавачі завад у спеціальному рюкзаку.

6. Для запобігання передчасного виявлення роботи передавача його вмикання потрібно робити лише в час, необхідний для прольоту авіаційних засобів Збройних Сил України.

7. Для забезпечення ефективної протидії роботі РЛК типу “Барьер-Е” необхідна розробка нових, більш потужних засобів радіоелектронної боротьби в діапазоні частот 330...430 МГц.

Список літератури

1. Животовський Р.М. Аналіз способів застосування безпілотних авіаційних комплексів / Р.М. Животовський, Ю.О. Горобець // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 4(48). – С. 16-21.
2. Зайцев Д.В. Многопозиционные радиолокационные системы / Д.В. Зайцев. – М.: Радиотехника, 2007. – 114 с.
3. Черняк В.С. Многопозиционные радиолокационные системы на основе MIMO РЛС / В.С. Черняк // Успехи современной радиоэлектроники. – 2012. – № 8. – С. 29-46.
4. Brookner E. MIMO Radar: Demystified / E. Brookner // Microwave Journal. – 2013. – № 1(56). – С. 22-44.
5. Willis J. Bistatic Radar / J. Willis. – London: SciTech Publishing, 2005. – 329 с.
6. Підвищення ролі радіоелектронної боротьби за досвідом локальних війн / Я.М. Кожушко, Г.В. Мегельбей, А.І. Резниченко, Ю.А. Олійник // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2012. – № 3(32). – С. 79-81.
7. Перунов Ю.М. Зарубежные радиоэлектронные средства. Системы радиоэлектронной борьбы / Ю.М. Перунов, В.В. Мацукевич, А.А. Васильев; под ред. Ю.М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2010. – 352 с.
8. Радиоэлектронная борьба в войнах и вооруженных конфликтах / А.И. Палий, В.Н. Гордиенко, И.В. Филиппов и др.; под общей ред. И.В. Филиппова. – М.: ВАГШ, 2007. – 357 с.
9. РЛК “Барьер-Е” способен эффективно обнаруживать самолеты, изготовленные с применением технологии “стелс”. [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу: <http://www.armstrade.org/includes/periodics/news/2015/0825/102530735/detail.shtml>.
10. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман. – М.: Соврадио, 1970. – 560 с.
11. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы: монография / В.Я. Аверьянов. – Наука и техника, 1978. – 184 с.
12. Bezousek P. Bistatic and Multi-static Radar Systems / P. Bezousek, S. Vladimir // Radioengineering. – 2008. – № 3(17), С. 53-59.

References

1. Zhyvotovskiy, R.M. and Horobets, Yu.O. (2016), “Analiz sposobiv zastosuvannya bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv” [Analysis of application unmanned aircraft systems], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 4(48), pp. 16-21.
2. Zaytsev, D.V. (2007), “Mnogopozitsionnyie radiolokatsionnyie sistemyi” [Multisite radar systems], Radiotekhnika, Moscow, 114 p.
3. Chernyak, V.S. (2012), “Mnogopozitsionnyie radiolokatsionnyie sistemyi na osnove MIMO RLS” [Multisite radar systems based on MIMO radar], *Advances in Modern Radio Electronics*, No. 8, pp. 29-46.
4. Brookner, E. (2013), MIMO Radar: Demystified, *Microwave Journal*, No. 1(56), pp. 22-44.
5. Willis, J. (2005), *Bistatic Radar*, SciTech Publishing, London, 329 p.
6. Kozhushko, Ya.M., Mehelbei, H.V., Reznichenko, A.I. and Oliinyk, Yu.A. (2012), “Pidvyshchennia roli radioelektronnoi boroty za dosvidom lokalnykh viin” [Increasing the role of electronic warfare in the experience of local wars], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 3(32), pp. 79-81.
7. Perunov, Yu. M., Matsukevich, V.V. and Vasilev, A.A. (2010), “Zarubezhnyie radioelektronnyie sredstva. Sistemyi radioelektronnoy borbyi” [Foreign radioelectronic means. Systems of electronic warfare], Moscow, 352 p.
8. Paliy, A.I., Gordienko, V.N. and Filippov, I.V. (2007), “Radioelektronnaya borba v voynah i vooruzhennykh konfliktakh” [Radio electron struggle in wars and armed conflicts], VAGSH, Moscow, 357 p.
9. (2010), “RLK “Baryer-E” sposoben effektivno obnaruzhivat' samolety, izgotovlennyye s primeneniem tekhnologii “stels”” [Radar complex “Barrier-E” is able to effectively detect aircraft manufactured using stealth technology], available at: www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rlk_barier-e.html.
10. Shirman, Ya.D. (1970), “Teoreticheskie osnovy radiolokatsii” [Theoretical basis of radar], Sovradio, Moscow, 560 p.
11. Averyanov, V. Ya. (1978), “Raznesennyye radiolokatsionnyie stantsii i sistemyi” [Spaced radars and systems], Nauka i tekhnika, Minsk, 184 p.

12. Bezoušek, P. and Vladimír, S. (2008), Bistatic and Multi-static Radar Systems, *Radioengineering*, No. 3(17), pp. 53-59.

Надійшла до редколегії 09.07.2019

Схвалена до друку 10.09.2019

Відомості про авторів:

Климченко Василь Йонович

кандидат технічних наук доцент
провідний науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>

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>

Трофимов Іван Миколайович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7080-909X>

Дончак Дмитро Анатолійович

кандидат технічних наук
старший інженер радіотехнічних військ
Командування Повітряних Сил Збройних Сил України,
Вінниця, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3301-7987>

Information about the authors:

Vasyl Klimchenko

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Lead Research
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>

Vladyslav Tiutiunyk

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Chief of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Ivan Trofymov

Candidate of Technical Sciences Senior Research
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7080-909X>

Dmytro Donchak

Candidate of Technical Sciences
Senior Engineer of the Radiotechnical Troops
of the Air Forces Command of the Armed Forces of Ukraine,
Vynnytsia, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3301-7987>

РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ ПОДАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ БИСТАТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ “НА ПРОСВЕЧИВАНИЕ”

В.И. Климченко, В.А. Тютюнник, И.Н. Трофимов, Д.А. Дончак

Радиолокационные бистатические комплексы (РЛБК) являются эффективным средством обнаружения малоразмерных маловысотных воздушных объектов. Особенностями комплекса является использование нетрадиционного для радиолокации диапазона длин волн (390-430 МГц) и реализация метода бистатической локации “на просвечивание”, при котором используется явление значительного увеличения радиолокационной заметности объектов при переизлучении вперед. Отмеченные особенности определяют отличные от традиционной радиолокации требования к средствам и тактике электронного подавления таких комплексов. Проведен анализ особенностей построения радиолокационного комплекса бистатической радиолокации “на просвечивание” и обосновано требования к энергетическим и спектральным характеристикам активных шумовых помех для его радиоэлектронного подавления. Разработаны предложения относительно использования постановщиков активных помех для противодействия бистатическим радиолокационным комплексам.

Ключевые слова: радиоэлектронная борьба, бистатические радиолокационные системы, активные помехи, радиоэлектронное подавление, противодействие радиолокационной разведке.

RADIO-ELECTRONIC SUPPRESSION OF BISTATIC LOCATION COMPLEXES “TO TRANSILLUMINATION”

V. Klimchenko, V. Tutunyk, I. Trofymov, D. Donchak

Radar bistatic complexes are an effective means of detecting small-sized and low-altitude air objects. The features of the complex are using of a wavelength range that is unconventional for radiolocation (390-430 MHz) and the implementation of a bistatic location to transillumination method. This method uses the phenomenon of a significant increase in the radar visibility of objects when re-radiating forward. The noted features determine the requirements for the means and tactics of electronic suppression of such complexes that are different from traditional radar. The analysis of the features of the construction of a bistatic radar complex “to transillumination” has been carried out and the requirements for the energy and spectral characteristics of active noise interference for its radio-electronic suppression have been substantiated. Relations have been found that relate the parameters of the active jammer and the range of its location to the parameters of the bistatic radar complex under the effect of active interference on the main beam and on the side lobes of the receive antenna of the radar complex. It is shown that the best option for the hidden crossing of the barrier zone is the middle of the base. In this case, the requirements for the level of interference necessary to suppress the radar complex are minimal. Proposals for using active jammers to counter bistatic radar complexes are developed. It is shown that from all electronic means of radar suppression of the Armed Forces of Ukraine for countering radar complex “BARRIER-E” can be used only interference transmitters RP-377AM (letter 6-220..400 MHz, letter 7-400...500 MHz). If we need to completely suppress radar complex “BARRIER-E” that should be used the interference transmitters RP-377AM with letters 6, 7 no further than one kilometer from the receiver of the complex.

Keywords: electronic warfare, bistatic radar complexes, active jamming, radio electronic suppression, radar intelligence counteraction.