

УДК 621.396

Д.В. Шимонець, О.Л. Лугина, М.Ю. Харьков, І.В. Нечитайло, Г.В. Худов

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ПАСИВНІ РАДІОЛОКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СИГНАЛІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В роботі проаналізовано особливості радіолокаційного виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, основні організаційні та технічні заходи щодо підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів. Для підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів запропоновано використання пасивних радіолокаційних систем, що працюють по сигналам сторонніх джерел підсвіту. У якості таких систем підсвіту обрано сучасні бездротові телекомунікаційні системи. Проаналізовано геометричну побудову однопозиційних та багатопозиційних пасивних радіолокаційних систем та основні характеристики сигналів підсвіту. Встановлено, що найбільш ефективною системою підсвіту є сучасна система цифрового телебачення стандарту DVB-T2.

Ключові слова: пасивна радіолокація, повітряний об'єкт, телекомунікаційна система, однопозиційна система, багатопозиційна система, ефективна поверхня розсіяння, дальність дії, сигнал підсвіту.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді.

В умовах ведення сучасних мережецентричних та гібридних війн побудова надійної системи протиповітряної оборони (ППО) значно ускладнюється появою малорозмірних повітряних об'єктів (ПО) [1-4]. Малорозмірним ПО притаманні специфічні льотно-технічні характеристики, а саме [2, 5-7]: малі ефективні поверхні розсіяння (ЕПР), широкий діапазон швидкостей руху, здійснення скритих польотів на середніх, малих та гранично малих висотах з використанням рельєфу місцевості. Указані особливості значно ускладнюють задачу виявлення малорозмірних ПО.

Мета статті – проаналізувати можливості пасивних радіолокаційних систем виявлення малорозмірних ПО за рахунок використання сигналів телекомунікаційних систем.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Аналіз особливостей виконання завдань частинами та підрозділами радіотехнічних військ (РТВ) при веденні антитерористичної операції (АТО) свідчить про актуальність питання виявлення малорозмірних та малопомітних ПО [1, 2, 8, 9]. Так, наприклад, боротьба з малорозмірними ПО, такими, як БПЛА велася окремими радіолокаційними взводами шляхом своєчасного виявлення радіолокаційними засобами та постами візуального спостереження з видачею бойової інформації на командні пункти зенітних ракетних підрозділів [8, 9]. Окремі радіолокаційні взводи були оснащені радіолокаційними станціями (РЛС) метрового (П-18, в тому числі П-18 «Малахіт») та сантиметрового (19Ж6) діапазону [8, 9]. Особливостями радіолокаційного виявлення малорозмірних ПО (на прикладі БПЛА) є [8-10]:

- мала дальність виявлення;

- знаходження БПЛА в зоні засвіток від місцевих предметів, що вимагає включення апаратури захисту від пасивних завад, що, в свою чергу, зменшує дальність виявлення;

- відсутність оповіщення про дії БПЛА від інших підрозділів внаслідок того, що БПЛА, як правило, діють в зоні лише одного підрозділу.

Малорозмірні БПЛА, що діяли на малих та гранично малих висотах, засобами РТВ в ході ведення АТО не виявлялися [10].

Для підвищення ефективності ведення радіолокаційної розвідки малорозмірних ПО застосовується низка організаційних та технічних заходів [6, 11-13]:

- ущільнення розташування РЛС на небезпечних напрямках (створення смуг виявлення маловисотних та малорозмірних об'єктів);

- використання РЛС усіх діапазонів частот;

- використання РЛС з кращими можливостями (найбільшим енергетичним потенціалом) та інше.

Використання традиційних методів підвищення ефективності ведення радіолокаційної розвідки малорозмірних ПО приводить до збільшення потрібної кількості РЛС, збільшення енергетичного потенціалу РЛС та, як наслідок, до збільшення вартості створення та утримання радіолокаційного поля.

В теперішній час при удосконаленні методів виявлення малорозмірних ПО РЛС знаходять широке використання нові інформаційні технології [14-17]:

- 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 завадової 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.

В статті основну увагу приділимо пасивним радіолокаційним системам, загальний принцип дії яких зображено на рис. 1 [18].

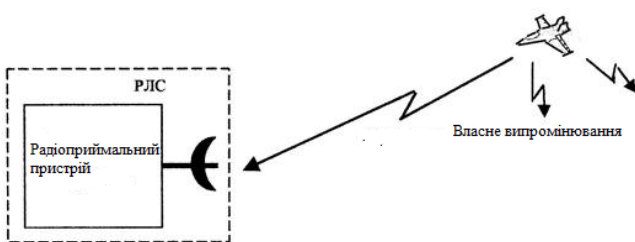


Рис. 1. Принцип пасивного методу радіолокації [18]

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Розглянемо використання радіолокаційних систем, що працюють по сигналам сторонніх джерел підсвіту, у якості яких будемо розглядати бездротові телекомунікаційні системи. Робота пасивних радіолокаційних систем спряжена з рядом проблем, що обмежують дальність дії, а також ускладнюють виявлення радіолокаційних цілей та знижують точність оцінки їх параметрів. Однією з таких проблем є мала потужність джерела випромінювання підсвіту, що знижує дальність дії пасивної радіолокаційної системи. Для підвищення дальності дії системи проводиться накопичення відбитого від радіолокаційної цілі сигналу, що, в свою чергу, приводить до значного збільшення обчислювальної складності [19]. Інша проблема полягає в том, що прямий сигнал джерела підсвіту по боковому пелюстку діаграми спрямованості антени пасивної радіолокаційної системи поступає в основний канал пасивної радіолокаційної системи. При цьому потужність прямого сигналу джерела підсвіту в декілька разів перевищує потужність відбитого від радіолокаційної цілі сигналу [19].

Геометрія пасивної радіолокаційної системи, що використовує телекомунікаційні сигнали, що відбиваються від радіолокаційних цілей, наведені на рис. 2 [19].

Джерелом сигналу підсвіту (рис. 2) може бути базова станція системи мобільного зв'язку, переда-

вач цифрового ефірного телебачення, передавач цифрового радіо та інше. Робота пасивної радіолокаційної системи проводиться наступним чином: джерелосигналу підсвіту випромінює радіосигнал, який відбивається від радіолокаційної цілі (повітряного об'єкту) та поступає в приймальний канал пасивної радіолокаційної системи. Крім цього, пасивна радіолокаційна система приймає прямий сигнал від передавача, який необхідний для синхронізації та подальшої обробки. Просторова локалізація (виявлення) радіолокаційної цілі проводиться в результаті приймання та обробки сигналів, що відбиваються від радіолокаційних цілей, а також прямих сигналів від передавача. Пасивна радіолокаційна система може мати однопозиційну та багатопозиційну структуру.

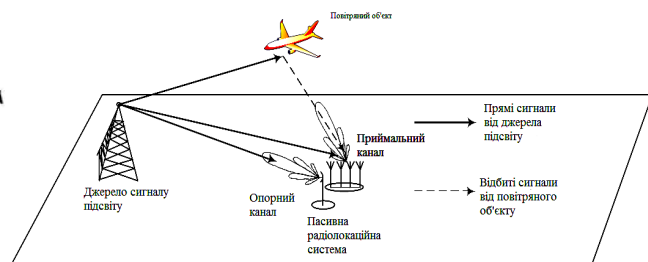


Рис. 2. Геометрія пасивної радіолокаційної системи, що використовує телекомунікаційні сигнали, що відбиваються від радіолокаційних цілей [19]

Однопозиційні пасивна радіолокаційні система працює по одному джерелу сигналу підсвіту (рис. 2) [19]. При такій структурі пасивної радіолокаційної системи приймаються прямий сигнал та відбитий від радіолокаційної цілі сигнал, що випромінюється одним джерелом сигналу підсвіту. Просторова локалізація радіолокаційної цілі може бути проведена за допомогою далекомірно-пеленгаційного методу [20].

Однопозиційна пасивна радіолокаційна система, що працює по декількох джерелам підсвіту, зображена на рис. 3 [19]. В цьому випадку просторова локалізація радіолокаційної цілі може бути проведена з використанням сигналів відбитих від радіолокаційної цілі від декількох джерел. Для оцінки координат радіолокаційної цілі можуть бути використані наступні методи: далекомірно-пеленгаційний, різницево-далекомірний [21].

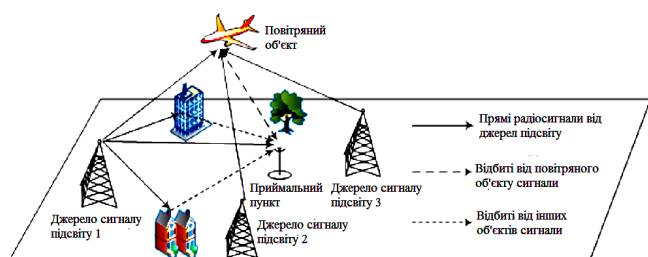


Рис. 3. Геометрія однопозиційної пасивної радіолокаційної системи, що працює по декількох джерелам підсвіту [19]

Багатопозиційна пасивна радіолокаційна система, що працює по одному джерелу сигналу підсвіту, зображена на рис. 4 [19].

Сигнал від джерела приймається в декількох рознесених приймальних пунктах. Для просторової локалізації радіолокаційної цілі використовується далекомірно-пеленгаційний метод та різницево-далекомірний метод [21].

Багатопозиційна пасивна радіолокаційна система, що працює по декількох джерелах сигналів підсвіту, зображена на рис. 5 [19]

Така конфігурація багатопозиційної системи дозволяє з більшою точністю оцінити координати радіолокаційної цілі, тому що в цьому випадку можуть бути сумісно використані всі вищеперераховані методи визначення координат.

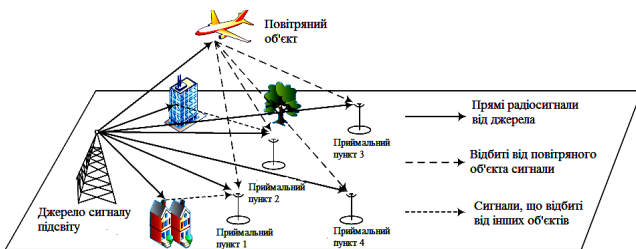


Рис. 4. Геометрія багатопозиційної пасивної радіолокаційної системи, що працює по одному джерелу сигналу підсвіту [19]

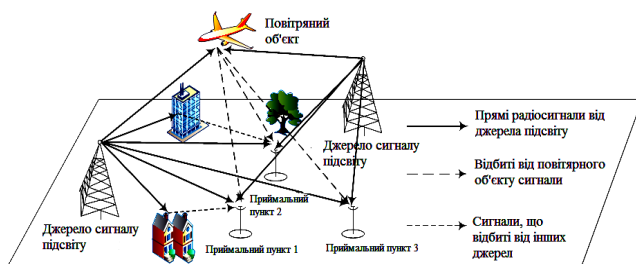


Рис. 5. Геометрія багатопозиційної пасивної радіолокаційної системи, що працює по декількох джерелах сигналів підсвіту [19]

Основні переваги однопозиційних пасивних радіолокаційних систем, геометрія котрих наведена на рис. 2, 3:

- висока мобільність розгортання системи;
- відносно низька вартість системи;
- відсутність необхідності синхронізації.

Недоліки однопозиційних пасивних радіолокаційних систем:

- обмежена зона дії;
- відсутність резервування.

Переваги багатопозиційних пасивних радіолокаційних систем:

- висока надійність та достовірність інтерпретація радіолокаційних даних за рахунок обробки інформації, що отримана на від декількох джерел:

- різні кути, поляризація,
- частоти;

- більш ефективно виявлення та супроводження об'єктів, що рухаються в широкому діапазоні швидкостей в різних напрямках (під різними кутами, з різних відстаней);

- можливість використання режимів радіолокаційної системи, що є недоступні або неефективні в моностаціонарних конфігураціях;

- можливість зміни параметрів спостереження (взаємного просторового положення і напрямку векторів швидкості, частотного діапазону, поляризації, законів модуляції сигналів) та алгоритму обробки з метою найбільш ефективного використання;

- більш висока надійність.

Недоліки багатопозиційних пасивних радіолокаційних систем:

- необхідність взаємної часової та фазової синхронізації, визначення взаємних векторів положення;

- необхідність використання високопродуктивних обчислювальних засобів та підвищена вартість системи.

Розглянемо, для прикладу, сигнали сучасних телекомунікаційних систем, які можуть використовуватися у якості джерел сигналів підсвіту. Такі сигнали повинні задовольняти наступним вимогам [19]:

- потужність джерела підсвіту повинна бути достатньою для визначення координат радіолокаційної цілі на необхідній дальності;

- сигнали повинні мати достатню полосу для досягнення визначеної розрізняльної здатності по дальності;

- джерела сигналів, що використовуються в пасивних радіолокаційних системах, повинні мати широко спрямовані антенні системи;

- координати джерел сигналів підсвіту повинні бути відомі з необхідною точністю.

В табл. 1 наведені основні параметри джерел сигналів підсвіту сучасних телекомунікаційних систем.

З аналізу табл. 1 видно, що по вимогам до потужності сигналів підсвіту такими, що задовольняють вимогам, є сигнали аналогового та цифрового телебачення.

На рис. 6 для прикладу наведена залежність дальності дії R пасивної радіолокаційної системи від ефективної поверхні розсіяння (ЕПР) повітряного об'єкту σ при роботі по сигналам системи 4G (LTE) та системи цифрового телебачення стандарту DVB-T2.

Результати, що наведені на рис. 6, отримані при вихідних даних, наведених в табл. 2 [19].

З аналізу рис. 6 видно, що найбільш ефективною системою підсвіту є система цифрового телебачення DVB-T2.

Таблиця 1

Основні параметри джерел сигналів підсвіту сучасних телекомунікаційних систем

Джерело сигналу підсвіту	Частота, МГц	Полоса, МГц	Потужність, Вт	Модуляція
FM та УКХ	66-108	$(3-20) \cdot 10^{-3}$	100-4000	Аналогова FM
Аналогове телебачення	50-800	8	50000	Аналогова AM та FM
Стільникові системи зв'язку GSM	900-1800	25	20	GMSK
Системи зв'язку 3G	1920-2110	5	20	Кодова модуляція CDMA
Системи зв'язку 4G (WiMAX, LTE)	2400-2500	1,4-28	20	Цифрова модуляція, OFDM
Цифрове телебачення	174-834	8	50000	Цифрова модуляція, OFDM

Таблиця 2

Параметри сигналів систем підсвіту LTE та DVB-T2

Параметри сигналів систем підсвіту	LTE	DVB-T2
Потужність, Вт	20	50000
Коефіцієнт підсилення передавальної антени, дБ	15	10
Коефіцієнт підсилення приймальної антени, дБ	10	10
Несуча частота, МГц	2500	800
ЕПР радіолокаційної цілі, м ²	0,8-40	0,8-40
Шумова полоса приймача, МГц	25	10
Час накопичення, с	0,01	0,01
Втрати в передавальному тракті, дБ	3	3
Втрати в приймальному тракті, дБ	3	3

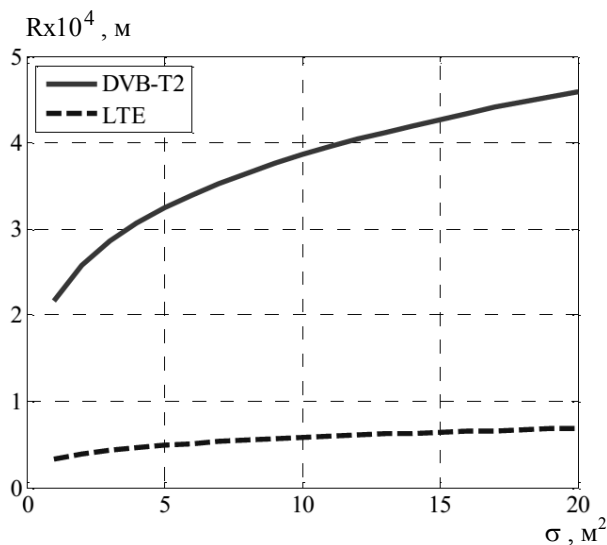


Рис. 6. Залежність дальності дії R пасивної радіолокаційної системи від ЕПР повітряного об'єкту σ при роботі по сигналам системи 4G (LTE) та системи цифрового телебачення стандарту DVB-T2 [19]

Висновки і напрями подальших досліджень

Таким чином, використання пасивної радіолокації а саме багатопозиційних РЛС які працюють завдяки вторинного випромінювання мають ряд переваг над активною радіолокацією. Використання

таких РЛС є скритним, вони працюють в широкій смузі частот, потребують мало енергії і мають високу завадозахищеність. Недоліком є те що потрібно використовувати декілька РЛС для точнішого виміру координат. Точності вимірювання кутових координат пасивними і активними РЛС приблизно однакові, точність визначення дальності у пасивних РЛС, як правило, нижче. Розвиток таких систем стає більш популярним. З часом такі системи замінять старі зразки які досі стоять на озброєнні.

Список літератури

1. Артеменко А.М., Певцов Г.В. Тенденції розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України на основі аналізу досвіду проведення АТО. Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 11 наук. конф. Харк. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 8–9 квіт. 2015). Х.: ХУПС, 2015. С. 16.
2. Шамко В.Є. Особливості застосування Повітряних Сил в умовах гібридної війни. Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 12–13 квіт. 2017). Х.: ХУПС, 2017. С. 10-11.
3. Воробьев И.Н., Киселев В.А. От современной тактики к тактике сетецентрических действий. Военная мысль. 2011. № 8. С. 19–27.
4. Савин Л.В. Сетецентрическая и сетевая война. Введение в концепцию. М.: Евразийское движение, 2011. 130 с.
5. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації: Алімпієв А.М.,

Певцов Г.В., Гриб Д.А. (ред. Алімпієв А.М.). Х.: Оригінал, 2015. 732 с.

6. Информационный сборник «Особенности боевого применения высокоточных средств поражения и способы повышения эффективности борьбы с ними»: Кибалко И.П., Черный Ю.Н. (ред.). Минск: 1034 ЦВВиИ, 2008. 102 с.

7. Романченко І.С., Загорка О.М., Бутенко С.Г., Дейнега О.В. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія. Житомир: Полісся, 2011. 344 с.

8. Артеменко А.М., Гамора В.В., Жарик О.М., Коваль В.В., Котляр С.О. Развитие форм і способів застосування Повітряних Сил Збройних Сил України в сучасних операціях (бойових діях). Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 11 наук. конф. ХУПС (Харків 8–9 квіт. 2015). Х.: ХУПС, 2015. С 10–13.

9. Вишневський С.Д., Бейліс Л.В. Погляди на розвиток радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України. Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 11 наук. конф. Харк. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 8–9 квіт. 2015). Х.: ХУПС, 2015. С. 15.

10. Вишневський С.Д., Бейліс Л.В., Климченко В.Й. Потенційні можливості РЛС РТВ з виявлення оперативного-тактичних та тактичних безпілотних літальних апаратів. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Х.: ХНУПС. 2017. № 2 (27). С. 92-98.

11. Кругликов С., Кругликов В. Способ защиты объектов от ударов высокоточного оружия. Наука и военная безопасность. 2008. № 1. С. 26–31.

12. Загорюла Б. Предложение по совершенствованию разведывательно-огневой системы малой дальности для борьбы с крылатыми ракетами. Наука и военная безопасность. 2008. № 3. С. 9–13.

13. Скосьев В.Н., Усачев В.А. Технические пути повышения энергетического потенциала радиолокаторов. Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Приборостроение». 2009. С. 78–89.

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

15. Ковалевський С.М., Певцов Г.В., Худов Г.В. Пропозиції щодо створення скритого маловисотного радіолокаційного поля в умовах ведення сучасних мережецентричних та гібридних війн. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2015. № 1(8). С.77–81.

16. Ковалевський С.М., Тютюнник В.О., Худов Г.В. Метод розрахунку ефективної поверхні розсіяння малорозмірних повітряних об'єктів при однопозиційному та рознесеному прийомах сигналів в оглядових радіолокаційних станціях. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2015. Вип.2(43). С.28–31.

17. Певцов Г.В., Худов Г.В., Ковалевський С.М. Підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів на основі об'єднання методів однопозиційного та рознесеного прийому сигналів. Наука і оборона. 2016. № 1. С. 49–55.

18. Мальшикин Е.А. Пассивная радиолокация. Воениздат. 1961. 72 с.

19. Рогожников Е.В. Методы оценки параметров сигналов телекоммуникационных источников подсвета в пассивных радиолокационных системах: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Томск, 2015. 21 с.

20. Зырянов Ю.Т., Белоусов О.А., Федюнин П.А. Основы радиотехнических систем: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ «ТГТУ». 2011. 144 с.

21. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация: научное издание. М.: Радио и связь. 1993. 416 с.

22. Великанова Е.П., Гельцер А.А., Ворошилин Е.П., Рогожников Е.В., Киселев П.С. Исследование многопозиционной РЛС на основе системы связи WiMAX. Вестник СибГУТИ. 2014. № 3. С. 67–74.

Надійшла до редколегії 19.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.С.Васюта, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

ПАССИВНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Д.В. Шимонец, А.Л. Лугина, М.Ю. Харьков, И.В. Нечитайло, Г.В. Худов

В работе проанализированы особенности радиолокационного обнаружения малоразмерных воздушных объектов, основные организационные и технические мероприятия по повышению эффективности обнаружения малоразмерных воздушных объектов. Для повышения эффективности обнаружения малоразмерных воздушных объектов предложено использование пассивных радиолокационных систем, которые работают по сигналам внешних источников подсвета. В качестве таких систем подсвета выбраны современные беспроводные телекоммуникационные системы. Проанализировано геометрическое построение однопозиционных и многопозиционных пассивных радиолокационных систем и основные характеристики сигналов подсвета. Установлено, что наиболее эффективной системой подсвета является современная система цифрового телевидения стандарта DVB-T2.

Ключевые слова: пассивная радиолокация, воздушный объект, телекоммуникационная система, однопозиционная, многопозиционная система, эффективная поверхность рассеяния, дальность действия, сигнал подсвета.

PASSIVE RADAR SYSTEMS FOR DETECTING SMALL-DIMENSIONAL AIR OBJECTS USING SIGNALS OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS

D.V. Shimonets, A.L. Lugina, M.Yu. Kharkov, I.V. Nechitailo, G.V. Khudov

The paper analyzes the features of radar detection of small-sized air objects, the main organizational and technical measures to improve the detection efficiency of small-sized air objects. To increase the efficiency of detecting small-sized air objects, it is proposed to use passive radar systems that operate on the signals of external illumination sources. As such systems of illumination modern wireless telecommunication systems are chosen. The geometric construction of single-position and multi-position passive radar systems and the main characteristics of the illumination signals are analyzed. It is established that the most effective system of illumination is a modern DVB-T2 digital television system.

Keywords: passive radar, air facility, telecommunications system, single-position, multi-position system, effective scatterer surface, range, illumination signal.