

УДК 621.396.969.3

В.Н. Быков

*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАВИГАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО МАЛОРАЗМЕРНЫМ НАЗЕМНЫМ ОБЪЕКТАМ

*Приведено формализованное описание процесса обнаружения с последующей идентификацией малоразмерных объектов пассивными радиометрическими корреляционно-экстремальными системами навигации миллиметрового диапазона в условиях неопределенности. Смоделирован процесс обнаружения и идентификации малоразмерных объектов матричными радиометрическими корреляционно-экстремальными системами навигации миллиметрового диапазона с широкополосной шумовой подсветкой на большой дальности.*

**Ключевые слова:** высокоскоростной летательный аппарат, малоразмерные наземные объекты, радиометрическая корреляционно-экстремальная система навигации, миллиметровый диапазон.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

Процесс обнаружения с последующей идентификацией малоразмерных, в том числе подвижных, объектов с помощью пассивных радиометрических корреляционно-экстремальных систем навигации (РМ КЭСН) связан с рядом факторов. В случае размещения РМ КЭСН на высокоскоростных летательных аппаратах (ЛА) обнаружение осуществляется за малое время наблюдения объекта. Вследствие ограничений, накладываемых на размеры бортовых антенных устройств, РМ КЭСН радиодиапазона обладают сравнительно низкой разрешающей способностью. Поэтому в качестве рабочего диапазона длин волн применяется миллиметровый диапазон (ММД). Уровень естественного излучения малоразмерных объектов усредняется по ширине «пятна» диаграммы направленности антенны (ДНА) на земной поверхности, и является низким по сравнению с окружающим фоном. Наличие в зоне обзора РМ КЭСН нескольких малоразмерных объектов предполагает решение наряду с задачей обнаружения также задачи селекции объектов, относящихся к различным классам. При этом мгновенная зона обзора системы может быть достаточно большой. Применение в данном случае сканирующих РМ систем малоэффективно, так как при этом не реализуется высокая флуктуационная чувствительность радиометрических информационных датчиков.

Неопределенность решения задачи обнаружения состоит в том, что объект может изменять местоположение, использовать средства маскировки, на трассе распространения радиоволн возможно наличие неблагоприятной погодной обстановки, пылевых образований, дымов и т.д.

Оценить возможность создания и эффективность распознающих радиометрических КЭСН

ММД можно благодаря моделированию процесса обнаружения и идентификации с учетом большого количества разнородных факторов, влияющих на работу рассматриваемых систем.

Навигация ЛА по площадными, протяженным объектам (природные образования и искусственные сооружения) с помощью РМ КЭСН осуществляется путем сравнения и анализа, в реальном масштабе времени, двумерных текущих и эталонных изображений объектов. Этот процесс в настоящее время достаточно хорошо изучен [1 – 5].

В случае визирования информационным датчиком КЭСН ММД малоразмерного наземного объекта, размеры которого соизмеримы с размерами одного пикселя изображения, речь может идти о возможности обнаружения данного объекта с определенной вероятностью. Идентифицировать данный объект, то есть принять решение о принадлежности объекта к тому или иному классу объектов, возможно лишь на такой дальности до объекта, на которой его изображение становится многоэлементным (много пиксельным) для применяемого информационного датчика КЭСН.

В работах [6 – 9] показана возможность применения широкополосной шумовой подсветки для повышения информативности радиометрических изображений малоразмерных объектов, предпринята попытка оптимизации ширины спектра зондирующего шумового сигнала [10]. В указанных литературных источниках [8, 9] показано, что пассивный РМ канал, хотя и является опорным, как более стабильный, однако его энергетики не достаточно для обнаружения малоразмерных объектов при малых углах визирования на дальностях, превышающих сотни метров. В этой связи применение активной шумовой подсветки расширяет возможности радиометрических систем по обнаружению малоразмерных объектов.

Представляет интерес оценить возможность обнаружения с последующей идентификацией нескольких малоразмерных объектов, объединяемых в, так называемый, групповой объект (например, колонна автомобилей) [11 – 13]. Анализ процесса обнаружения группового объекта предопределяет учет таких факторов, как порядок построения, скорость передвижения объекта, характеристики применяемых систем навигации. Ответ на перечисленные вопросы может дать имитационное моделирование процесса обнаружения, идентификации группового наземного объекта и навигации по данному объекту.

**Целью статьи** является моделирование процесса обнаружения и идентификации малоразмерных объектов матричными радиометрическими корреляционно–экстремальными системами навигации миллиметрового диапазона с широкополосной шумовой подсветкой на большой дальности.

### Основной материал

**Постановка задачи моделирования.** Для анализа процесса обнаружения и последующей идентификации малоразмерных объектов с целью осуществления навигации ЛА предлагается структурная схема (рис. 1).

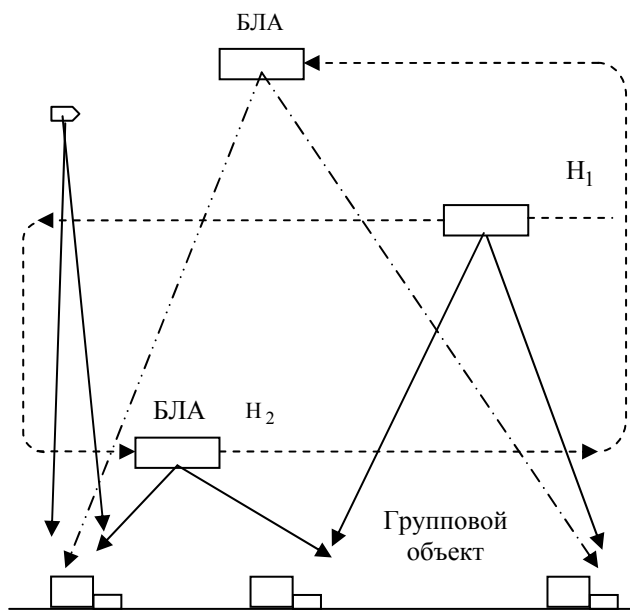


Рис. 1. Структурная схема навигации ЛА

Представим формализованное описание процесса обнаружения группы малоразмерных объектов. Первоначальное обнаружение местонахождения группового объекта осуществляется с помощью беспилотного летательного аппарата (БЛА). После обнаружения и идентификации элементов и объекта в целом, направления и скорости его движения, осуществляется навигация высокоскоростного ЛА в направлении объекта, где также решается задача

обнаружения с последующей идентификацией.

1. В качестве группового объекта рассматривается колонна автотранспорта на марше, состоящая из определенного количества автомобилей. Колонна расположена в линию, общая протяженность колонны (500 – 1000) м. Скорость передвижения  $V \leq 60$  км .

2. На высоте  $H_1 = 200$  м БЛА осуществляет обнаружение и грубую идентификацию элементов объекта – отдельных автомобилей (требование по пространственному разрешению  $\Delta r_{гр} = 1,5$  м и  $\Delta r_{гр} = 0,6$  м, соответственно [14]). Затем БЛА снижается и на высоте  $H_1 = 100$  м производится точная идентификация группового объекта и его элементов (требование по пространственному разрешению  $\Delta r_{гр} = 0,3$  м).

Анализ результатов проведенных исследований [1 – 5] показывает, что в качестве информационных датчиков на БЛА необходимо использовать пассивные датчики видимого, инфракрасного и миллиметрового диапазонов волн. Пассивные информационные датчики обладают повышенной скрытностью функционирования и вследствие этого более высокой помехозащищенностью. Радиометрические датчики ММД должны дополнять датчики видимого диапазона в условиях ограниченной оптической видимости (туман, дождь, дымы, пылевые образования). РМ датчики ММД имеют также самостоятельное значение. Они позволяют формировать эталонные радиометрические изображения объектов для корреляционно-экстремальных систем навигации.

3. После идентификации группового объекта БЛА должен быть поднят на высоту  $H_3 = (500 - 1000)$  м, откуда осуществляется сопровождение элементов объекта.

4. В наземном центре обработки информации осуществляется подготовка априорной информации о групповом объекте для высокоскоростных навигационных ЛА с учетом данных с БЛА о направлении и скорости передвижения группового объекта.

5. Далее осуществляется навигация ЛА, оснащенного РМ КЭСН с информационным датчиком, подобным датчику, размещаемому на БЛА.

Одним из методов повышения дальности действия пассивных РМ КЭСН ММД является применение активной «подсветки» объекта шумовым либо детерминированным сигналом [6 – 9, 15]. Известны однопозиционная, двухпозиционная и многопозиционная подсветка [6]. В случае однопозиционной подсветки источник подсветки располагается на одном носителе с информационным датчиком КЭСН. Однопозиционная подсветка является авто-

номной, не требует использования дополнительных носителей для источников подсветки. С другой стороны использование на ЛА источника излучения снижает скрытность применения ЛА.

Двухпозиционная подсветка является частным случаем многопозиционной подсветки. Так, подсветка объекта с БЛА позволяет обеспечить энергетическую скрытность функционирования информационных датчиков КЭСН ЛА и тем самым обеспечить высокую помехоустойчивость датчиков.

Преимуществами применения на БЛА подсветки широкополосным шумовым сигналом являются следующие положения [8, 9]. Широкополосный шумовой сигнал представляет собой реализации ограниченного по спектру «белого шума», со случайными амплитудой и фазой. Появление стохастического (то есть случайного) сигнала в постороннем приемнике не позволяет принять однозначное решение о наличии полезного сигнала и раскрытию его структуры. Дополнительными мероприятиями по скрытию факта излучения шумового сигнала и направления прихода сигнала является применение многопозиционной подсветки (то есть подсветки с разных носителей и направлений), что позволяет создать «изотропное шумовое поле».

Кроме БЛА носителями источников шумового сигнала могут служить малоразмерные ЛА, располагаемые в пространстве равномерно и «зависающие» над групповым объектом, например, с помощью тормозных парашютов.

Возможна подсветка объекта или его элементов узкополосным детерминированным сигналом [15]. При этом для повышения структурной скрытности в приемнике информационного датчика РМ КЭСН навигационного ЛА используется одна из гармоник сигнала подсветки, излучаемого с другого носителя (например, с БЛА).

Так, объект облучается источником 3 см диапазона, а РМ приемник КЭСН ЛА принимает отраженный от объекта сигнал на третьей гармонике в 8 мм диапазоне.

Технические характеристики аппаратуры, располагаемой на БЛА:

- видеокамера с шириной зоны обзора порядка  $L=1000$  м с высоты  $H=(500-1000)$  м;
- фокусное расстояние может изменяться с высотой для обеспечения требуемой детальности получаемых изображений визируемого объекта;
- РМ информационный датчик 3 мм диапазона волн – матричный датчик с решеткой (16 элементов), либо матрицей облучателей большой размерности  $N_1 \times N_2 = 16 \times 16$  элементов;
- бортовая антенна параболическая или линзовая большого диаметра  $\sim 1$  м;

- ширина зоны обзора  $L=(800-1000)$  м с высоты  $H=1000$  м;

- линейный размер элемента пространственного разрешения на земной поверхности  $\Delta g=0,8$  м с высоты  $H=200$  м,  $\Delta g=0,4$  м с высоты  $H=100$  м;

- источник шумовой подсветки 3 мм диапазона с рупорной антенной;

- возможно два режима подсветки объекта: в первом ширина диаграммы направленности рупорной антенны  $\theta_{0,5}^0=15$  град, что соответствует полюсе подсветки  $\sim 260$  м, во втором  $\theta_{0,5}^0=50$  град обеспечивает подсветку одновременно всех элементов группового объекта на протяжении (800 – 1000) м.

Технические характеристики аппаратуры РМ КЭСН ММД, располагаемой на ЛА:

- на навигационном ЛА с миделевым сечением до 200 мм, устанавливаются оптические (инфракрасные) КЭСН, либо РМ КЭСН 3 мм диапазона, пеленгаторного типа;

- на навигационном ЛА с миделевым сечением 300 мм, устанавливаются матричные РМ КЭСН 3 мм диапазона корреляционно-экстремального типа.

## Выводы

В работе [16] получено аналитическое выражение для величины радиояркого контраста пары «объект – фон», в котором учтены вклад естественного излучения объекта и переотраженного излучения источника шумовой подсветки. С помощью данного выражения произведены оценки величины мощности шумовой подсветки, необходимой для обнаружения малоразмерного объекта с различных высот визирования.

Так, с высот менее 1 км, в благоприятных погодных условиях, малоразмерные объекты могут быть устойчиво обнаружены (с вероятностью не хуже 0,9) пассивными РМ КЭСН ММД. При увеличении дальности визирования объектов до (1,5 – 2) км радиометрический контраст становится меньше минимально обнаруживаемого ( $\Delta T \leq 5$  К), что снижает вероятность обнаружения малоразмерных объектов. Анализ соотношений для одно- и двухпозиционной подсветки показывает, что устойчивое обнаружение объектов на указанной дальности возможно благодаря применению широкополосной шумовой подсветки с мощностью источника подсветки  $P=(20-30)$  Вт, что реализуемо на отечественной элементной базе.

Таким образом, предложено формализованное описание процесса обнаружения с последующей идентификацией малоразмерных наземных объектов матричными радиометрическими КЭСН миллиметрового диапазона с участием подсветки объектов

широкополосным шумовым или узкополосным детерминированным сигналом. Данное описание может быть использовано для моделирования процесса навигации высокоскоростных ЛА по малоразмерным наземным объектам – ориентирам.

### Список литературы

1. Системы формирования изображений в фокальной плоскости в миллиметровом диапазоне длин волн / П.Ф. Голдмис и др. // ТИИЭР. – 1993. – Т. 41, № 10. – С. 1-24.
2. Многоканальная радиометрическая система формирования изображений 8 мм диапазона волн / В.Н. Радзиковский, В.Н. Горшняка, С.Е. Кузьмин, Б.М. Шевчук. // Изв. вузов. Сер. Радиотехника. – 1999. – Т. 42, № 4. – С. 37-41.
3. 16-Channels millimeter-waves radiometric imaging system / V.N. Radzikhovsry, V.P. Gorishniak, S.E. Kuzmin, B.M. Shevchuk // The fourth international kharkov symposium "physics and engineering of millimeter and sub-millimeter waves". Symposium Proceedings. – Kharkov, Ukraine. – June 4-9, 2001. – V.1. – P. 466-468.
4. Passive multichannels millimeter-waves imaging system / V.P. Gorishniak, A.G. Denisov, S.E. Kuzmin, V.N. Radzikhovsry, B.M. Shevchuk // The Fifth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, millimeter and SubMillimeter Waves. Symposium Proceedings. – Kharkov, Ukraine. – June 21-26, 2004. – V.1. – P. 202-204.
5. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Макаренко Б.И. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов по наземным ориентирам // Научно-виробничий журнал Арсенал XXI сторіччя. – 2002. – № 1. – С. 37-41.
6. Мур Р., Уайт В., Роуз Дж. Панхроматический и полипанхроматический радиолокаторы // ТИИЭР. – 1969. – № 57. – С. 590-593.
7. Seashore C.R., Milley J.E., Kearns B.A. MM-wave Radar and radiometric sensors for guidance systems // Microwave J. – 1979. – V. 22, N 8. – P. 47-51.
8. Повышение информативности радиометрических изображений благодаря применению шумовой подсветки / В.Н. Быков, С.И. Ивашиов, Ю.В. Овсянников и др. // Радиотехника. – 1997. – Вып. 101. – С. 33-39.
9. Обнаружение малоразмерных объектов на радиометрическом изображении / В.Н. Быков, А.И. Задонский, В.Ю. Мусиенко и др. // Радиотехника. – 1997. – Вып. 101. – С. 28-33.
10. Быков В.Н., Султанов А.С., Черных А.А. Оптимизация ширины спектра зондирующего сигнала сканерометра миллиметрового диапазона // Труды 4-й Всесоюзной школы по распространению миллиметровых и субмиллиметровых волн в атмосфере. – Нижний Новгород, 3-10 сентября 1991. – С. 187-188.
11. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: Справочник / Я.Д. Ширман, Ю.И. Лосев, Н.Н. Минервин и др.; Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. – 828 с.
12. Локационная системотехника / Под ред. В.Б. Алмазова. – Х: МО Украины, 1993. – 618 с.
13. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. – М.: Сов. радио, 1976. – Т. 1. Основы радиолокации. – 456 с.
14. Nardon L. The Dilemma of Satellite Imagery Control // Military Technology. – 2002. – Vol. 26. – Issue 7. – P. 37-45.
15. Быков В.Н., Косухин В.Ю. Теоретическая и экспериментальная оценка возможности совмещения пассивного и активного каналов в радиометрических информационных системах // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 6. – С. 29-35.
16. Быков В.Н. Обнаружение малоразмерных объектов радиометрическими информационными системами миллиметрового диапазона с шумовой подсветкой // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – Вып. 2 (10). – С. 5-10.

Поступила в редколлегию 7.07.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.С. Сорока, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАВІГАЦІЇ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПО МАЛОРОЗМІРНИХ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТАХ

В.М. Биков

Приведено формалізований опис процесу виявлення з подальшою ідентифікацією малорозмірних об'єктів пасивними радіометричними кореляційно-екстремальними системами навігації міліметрового діапазону в умовах невизначеності. Змодельований процесу виявлення і ідентифікації малорозмірних об'єктів матричними радіометричними кореляційно-екстремальними системами навігації міліметрового діапазону з ширококутовим шумовим підсвічуванням на великій дальності

**Ключові слова:** високошвидкісний літальний апарат, малорозмірні наземні об'єкти, радіометрична кореляційно-екстремальна система навігації, міліметровий діапазон.

### DESIGN OF PROCESS OF NAVIGATION OF HS AIRCRAFTS ON SURFACE OBJECTS OF LITTLESIZES

V.N. Bykov

Formalize description of process of discovery with subsequent authentication of objects of littlesizes is resulted by the passive radiometry correlation-extreme systems of navigation of millimetric range in the conditions of vagueness. Modelled process of discovery and authentication of objects of littlesizes the matrix radiometry correlation-extreme systems of navigation of millimetric range with the широкополосной noise illuminating from beneath on a long-range.

**Keywords:** HS aircraft, surface objects of littlesizes, radiometry correlation-extreme system of navigation, millimetric range.