

получаемым текущим распределением температуры по каждой из этих калибровочных нагрузок, для каждого из 32 каналов методом «взвешивания» значений по группе датчиков рассчитывается своя пара текущих значений эффективной температуры излучения калибраторов. Получаемые 64 калибровочных значения дополнительно усредняются по нескольким циклам сканирования за счет выполнения операций рекурсивной цифровой низкочастотной фильтрации.

На основе полученных калибровочных данных в каждом цикле сканирования в БУСИ производится вычисление коэффициентов зависимостей «антенная температура — выходной уровень напряжения» для каждого из 32 радиометрических каналов и расчет значений радиоярких температур для элементов поля наблюдения. Помимо этого, БУСИ формирует групповые сигналы управления коэффициентом усиления и уровнем постоянной составляющей выходных аналоговых сигналов. Целью операции является настройка динамического диапазона сигналов на выходах радиометрических каналов, обеспечивающая наилучшее использование разрядной сетки АЦП. Проведение подобных оперативных регулировок позволяет уменьшить уровень шумов квантования при аналого-цифровом преобразовании, а также отказаться от термостабилизации элементов приемно-усилительного тракта.

После завершения цикла вычислений БУСИ, соответствующего обработке данных для одного кадра изображения, сформированный первичный двумерный массив значений радиоярких температур излучения для элементов поля наблюдения, а также вспомогательные и телеметрические данные, несущие информацию о параметрах устройств РМС,

«сжимаются» в объеме и направляются в устройство визуализации. Скорость передачи данных составляет 115 кбит/с.

Рабочая программа устройства визуализации разработана в среде программирования "LabView 5,0". Работа УВ предусмотрена в двух режимах — «основном» (последовательное формирование изображений, их отображение на экране дисплея УВ и фоновая архивация на магнитном носителе в виде файлов первичных данных) и «дополнительном» (просмотр записанных файлов изображений). Работа УВ осуществляется в автоматическом режиме и не требует участия оператора, за исключением моментов изменения режима работы РМС. Управление работой УВ и РМС в целом осуществляется посредством изменения состояния функциональных клавиш, переключателей и других органов управления в окнах интерфейса с помощью манипулятора, либо нажатием функциональных клавиш клавиатуры. Основное окно интерфейса содержит три поля выдачи изображений: 1) текущего кадра; 2) усредненного по 2, 4, 6, либо 8 предыдущим кадрам; 3) обработанного специализированным модулем обработки (планируемая функция).

В качестве специализированной обработки планируется подключение подпрограмм повышения пространственного разрешения на основе методов инверсной фильтрации, а также подпрограмм автоматического обнаружения инородных предметов на теле человека.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Hersman M. S., Poe G. A. Sensitivity of total power radiometer with periodical absolute calibration // IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.— 1981.— Vol. 29, N 1,— P. 32—40.

К. ф.-м. н. В. А. КОМЯК, к. т. н. С. А. ШИЛО

Украина, г. Харьков, Институт радиопизики и электроники им. А. Я. Усикова  
E-mail: shilo@ire.kharkov.ua

Дата поступления в редакцию  
21.04 2003 г.

Оппонент к. ф.-м. н. Л. И. ШАРАПОВ  
(Радиоастрономический ин-т, г. Харьков)

## РАДИОТЕПЛОВАЯ СКАНИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОЖАРНЫХ СЛУЖБ АВИАЦИОННОЙ ОХРАНЫ ЛЕСОВ

*Рассматриваются возможности построения авиационной сканирующей радиометрической системы СВЧ-диапазона. Приведены достижимые параметры и функциональные особенности системы.*

Занимаемые лесом значительные площади, низкая плотность населения в лесных районах, труднодоступность и труднопроходимость лесных массивов делают авиационную охрану лесов одним из приоритетных направлений.

Авиационная охрана лесов основана на использовании авиационных средств и методов предупреждения, обнаружения и тушения лесных пожаров. На авиационную охрану возложены следующие основные виды работ [1]:

— авиационное патрулирование с целью своевременного обнаружения лесных пожаров, наблюдения с воздуха за действующими пожарами, а также оповещения органов наземной охраны об их возникновении, распространении и необходимых мерах по борьбе с огнем;

— тушение лесных пожаров силами работников авиационной службы, доставляемых к местам пожаров на самолетах и вертолетах;

— высадка парашютистов или десантников-пожарных для организации борьбы с лесными пожарами силами работников предприятий, проводящих работы в лесу, и местного населения;

— перевозка на самолетах и вертолетах к действующим лесным пожарам противопожарного снаряжения и продуктов питания, а также представителей наземной лесной охраны и привлеченных рабочих;

— оказание помощи командам, работающим на пожаре, путем сбрасывания воды или химикатов на кромку огня и перед ней с борта летательного аппарата.

Кроме того, данные о наличии очага пожара должны сопровождаться информацией о координатах кромки лесного пожара на данный момент времени; ее длине, форме и непрерывности (периметре и наличии разрывов кромки, наличии отдельных очагов при пятнистых пожарах); мгновенной площади очага; эффективности применяемых систем пожаротушения; наличии на прогретой территории остаточных очагов горения, в т. ч. заглубившихся (подземных); координатах находящихся в зоне прогнозируемого распространения пожара техники и строений, т. е. мероприятиями по разведке очага.

Для авиационной охраны лесов (АОЛ) первоочередными методами повышения эффективности является широкое применение инструментальных средств разведки лесных пожаров. Как отмечено в [2], оснащение летательных аппаратов АОЛ тепловыми датчиками инфракрасного и микроволнового диапазонов в качестве инструментальных средств разведки и диагностики пожаров является основным направлением совершенствования охраны лесов. При этом, в отличие от инфракрасного и оптического диапазонов, получение такой информации в радиодиапазоне не зависит от погодных условий (туман, облачность, осадки), времени суток, условий освещенности, ориентации и мощности дымового шлейфа, содержащего значительное количество частиц сажи и вытянутого обычно по направлению ветра.

Радиотеплолокатор способен получать информацию о положении горящей кромки и протяженности активной зоны горения как при верховых, так и при низовых (скрытых пологом леса) и подземных пожарах (пожары на торфяниках). Это особенно актуально, т. к. в лесах больше всего низовых пожаров (97,5%), верховых — 1,5% [2]. Многочисленные исследования интенсивности радиоизлучения очагов лесных пожаров показали, что наибольшей информативностью для решения задач АОЛ обладает миллиметровый диапазон радиоволн.

Эффективность системы АОЛ повышается при увеличении площади лесных массивов, которые могут быть проверены за один полет. Это требование приводит к необходимости расширения полосы обзора бортовых измерительных систем за счет сканирования диаграммой направленности антенны (ДНА). При этом для систем обнаружения очага пожара обязателен режим обзора с примыканием соседних элементов разрешения в строке и строк между собой.

Самолетные сканирующие системы по методу обзора пространства можно разделить на три основные группы:

- системы с коническим сканированием, при котором ДНА движется по образующей конуса вращения, ось которого направлена в нади́р;
- системы бокового обзора при линейном (строчном) сканировании, в которых ДНА перемещается в плоскости, ортогональной направлению полета (продольной оси самолета);
- системы переднего (заднего) обзора с растровым (кадровым) формированием изображения в секторе углов по азимуту и углу места, обозревающие участки поверхности одновременно вперед и/или назад по курсу летательного аппарата.

Каждый из этих методов обладает своими достоинствами и недостатками с точки зрения авиационной системы разведки очага.

К несомненным достоинствам систем с линейным сканированием следует отнести возможность достижения в полосе обзора, в среднем, лучшего пространственного разрешения, более эффективного использования времени на организацию получения информации в одной строке при достаточно широких полосах обзора. В системах бокового обзора недостатком метода является некоторое «запаздывание» информации в связи с получением изображений для участков, уже оставшихся (в ходе полета) в задней полусфере летательного аппарата.

Применение конического и кадрового обзора пространства позволяет обеспечить получение опережающей (по полету) информации о координатах очага. Наличие у штурмана информации о реальном положении летательного аппарата относительно очага пожара облегчит наведение и повысит точность сброса воды или огнегасящих веществ на очаг. К недостаткам систем с коническим сканированием можно отнести более низкое (в центре полосы) пространственное разрешение и сложность сканирования с точки зрения построения механизма управления ДНА.

Растровый метод обзора представляется наиболее перспективным при решении задач оперативного характера, связанных с анализом информации и маневрированием в условиях пожарной обстановки.

В настоящей работе предлагается система, в которой использован метод сканирования в секторе углов  $\beta \in [\beta_0 - \Delta\beta, \beta_0 + \Delta\beta]$ , ориентированном по полету (см. рисунок, плоскость ABC), многолучевой диаграммой направленности (лучи которой расположены в плоскости CDE), ортогональной направлению полета.

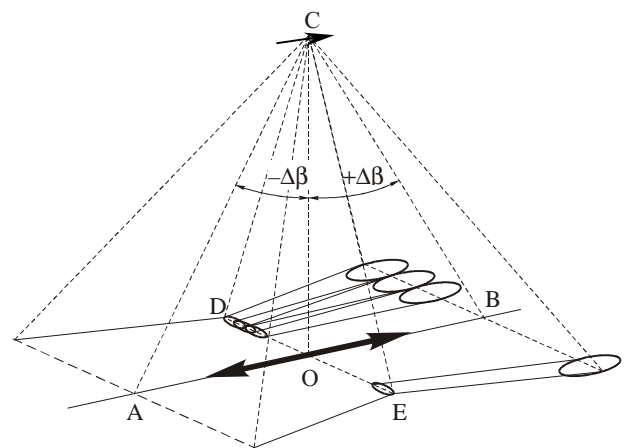


Схема сканирования многолучевой ДНА

Антенная система предлагаемого радиотеплолокатора (РТЛ) построена на эффектах преобразования объемных электромагнитных волн в поверхностные в открытых периодических замедляющих структурах [3]. Однолучевые сканирующие антенны, созданные на этом принципе, прошли успешную многолетнюю апробацию на борту аэрокосмических средств при работе РТЛ в режиме бокового обзора [4].

Плоская периодическая решетка была выполнена в виде подвижного диска, расположенного под планарным диэлектрическим волноводом. Избирательность направления приема в такой электродинамической системе осуществляется за счет строгого выполнения соотношений между частотой принимаемого излучения, параметрами и текущей пространственной ориентацией дифракционной решетки. Изменение ориентации решетки достигается за счет поворота диска вокруг своей оси в некотором угловом секторе.

В предлагаемой системе обзора создание многолучевой ДНА осуществляется за счет использования дисперсионных свойств подобных антенн. Используя методы частотной фильтрации по основной или промежуточной частоте и многоканальную обработку принятого сигнала, можно сформировать многолучевую диаграмму направленности для радиотеплового сигнала в одной плоскости и организовать сканирование ею в ортогональной плоскости за счет возвратно-поступательного качания диска с дифракционной решеткой (обе эти плоскости ортогональны плоскости апертуры антенны). Сама антенна при этом остается неподвижной.

Управление положением диска осуществляется механизмом сканирования, выполненным на базе шагового двигателя, что обеспечивает высокую повторяемость угловых положений направлений приема от кадра к кадру и позволяет осуществлять синхронизацию бортовой системы обработки информации.

Указанный принцип построения многолучевых сканирующих радиометрических систем миллиметрового диапазона реализован и доказал свою эффективность в системе радиовидения «Зір», предназначенной для получения изображений в интересах таможенных служб (разработка ИРЭ НАНУ и НПП «Сагурн» [5]).

В РТЛ, предназначенном для решения задач АОЛ, построение радиотепловых изображений осуществляется в системе обработки информации непосредственно на борту летательного аппарата в режиме реального времени с отображением на экране бортового монитора. Для этого информация с выходов приемных каналов преобразуется к цифровому виду и вводится в память ЭВМ.

Следует отметить, что наличие дисперсионных свойств антенны приводит к ограничениям по ширине полосы приемного канала для каждого из лучей ДНА, что, в свою очередь, приводит к снижению температурной чувствительности РТЛ. Для повышения чувствительности в процессе построения радиотепловых изображений системой бортовой обработки информации предусматривается накопление сигналов, принятых с данного элемента поверхности. В ходе полета последовательно производится обзор частично перекрывающихся участков поверхности (кадров изображения). Поэтому в последовательных циклах формирования изображений может производиться частичное «наложение» участков последовательных изоб-

ражений (кадров) один на другой с учетом (в динамике) текущей навигационной информации (операций маневрирования летательного аппарата).

Такой режим формирования изображений позволит осуществлять дополнительное накопление сигнала для единичных элементов разрешения с учетом коррекции геометрии наблюдения и повысить радиометрическое разрешение РТЛ. Кроме этого, такой алгоритм построения изображений позволит при использовании симметричного сектора сканирования (вперед и назад по полету) оперативно оценивать эффективность применения огнетушащих средств.

Расчеты показывают, что РТЛ, построенный по вышеописанной схеме, может обладать следующими параметрами (для рекомендуемой высоты полета патрульных средств АОЛ 1000 м):

Рабочая длина волны, мм	3
Количество рабочих лучей ДНА	32
Сектор сканирования	$\pm 60^\circ$
Диаметр апертуры антенны, мм	400
Пространственное разрешение в центре кадра, м <sup>2</sup>	8×8
Полоса обзора (в центре кадра), м	~300
Чувствительность каналов РТЛ, К	1÷1,5

Наличие радиотепловых изображений очага и окружающего пространства позволит непосредственно на борту летательного аппарата получать информацию как об очаге пожара, так и о целом ряде сопутствующих параметров (пространственном распределении влажности горючего материала, наличии преград для распространения огня, дорог, просек, заболоченных участков и их проходимости для наземной техники, наличии на угрожающих направлениях техники и строений и т. п.), т. е. производить разведку очага, что позволит повысить адекватность принимаемых решений по тактике борьбы с пожаром и обеспечить дополнительные навигационные возможности для наведения ЛА на кромку очага или выбора места десантирования людей и техники.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Червонный М. Г. *Авиационная охрана лесов*.— М.: Лесная пром-сть, 1979.
2. Воробьев О. Ю., Валендик Э. Н. *Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров*.— Новосибирск: Наука, 1978.
3. Шестопалов В. П., Андренко С. Д., Беляев В. Г. та ін. *Перетворення міліметрових хвиль в об'ємні і використання цього явища в фізиці і техніці* // Вісник АН УРСР.— 1977.— № 1.— С. 8—21.
4. Комяк В. А., Левда А. С., Шило С. А. и др. *Сканирующий СВЧ-радиометр РМ-08 ИСЗ "Січ-1"* // *Космическая наука и технология*.— 1998.— Т. 4, № 2/3.— С. 21—26.
5. Shilo S. A., Komyak V. A., Muskin Yu. N., Berezhnoy V. A. *MM-band radiometric system for contraband detection applications* // *The Fourth international symposium «Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves»*.— Kharkov, June 4 — 9, 2001.— Vol. 2.— P. 463—465.