

УДК 621.396.96

**В.И. АНТЮФЕЕВ, В.Н. БЫКОВ, Д.Д. ИВАНЧЕНКО, Н.Н. КОЛЧИГИН,
Т.Д. БЕРЕЖНАЯ***Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина***МАТРИЧНЫЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Обоснованы принципы построения матричных радиометрических систем формирования двумерных изображений на борту летательного аппарата. Приведен пример многолучевой антенны с групповым облучателем, реализация которой возможна в миллиметровом диапазоне волн. Рассмотрены принципы построения матричных систем на основе линейного уплотнения каналов по форме сигналов с использованием квазиортогональных функций Уолша. Произведена оценка оптимального количества уплотняемых каналов на один усилительно-преобразовательный тракт. Произведена оценка чувствительности многоканального радиометрического приемника, а также сравнительная оценка точности местоопределения многоканальных радиометрических систем с уплотнением каналов и матричных радиометрических систем.

Ключевые слова: летательный аппарат, радиометрическая система, миллиметровый диапазон

Введение

Радиометрические системы (РМС) формирования изображений находят широкое применение в системах землеобзора, дистанционного зондирования Земли из космоса, в системах навигации и наведения летательных аппаратов (ЛА) по наземным объектам-ориентирам [1–4]. Широкое применение находят РМС миллиметрового диапазона (ММД) радиоволн.

Формирование двумерных изображений визируемых объектов на борту ЛА осуществляется с помощью сканирующих одноканальных информационных датчиков систем либо с помощью «гребенки» датчиков за счет поступательного движения ЛА, либо с помощью многоканальных, так называемых матричных РМ датчиков. Построение РМ датчиков по матричному принципу позволяет существенно повысить быстродействие РМС, размещаемых на борту ЛА, обеспечивая при этом требуемую чувствительность многоканальных РМ приемников слабых сигналов.

Матричный информационный датчик состоит из подсистемы пространственно-временной обработки сигнала (многолучевой антенны) и подсистемы первичной обработки сигнала (многоканального РМ приемника).

Многолучевая (матричная) антенна осуществляет пространственно-временную селекцию сигнала, излучаемого наземным объектом и окружающим фоном.

Первичную обработку (усиление, преобразова-

ние частоты) группового сигнала осуществляет многоканальный РМ приемник.

При необходимости РМ датчик дополняется источником подсветки шумовым или детерминированным сигналом [4].

Дополнение матричного РМ датчика подсистемой вторичной обработки сигнала (спецвычислителем) образует матричную РМС формирования изображений. Спецвычислитель осуществляет формирование и обработку по заданному алгоритму радиометрических изображений.

В качестве фокусирующего элемента многолучевой антенны ММД используется параболическая одно- или двухзеркальная антенна, либо линзовая (диэлектрическая, металлопластинчатая, волноводная) антенна.

Многоканальный РМ приемник ММД может быть выполнен либо в виде набора канальных приемников (матрица приемников), либо по схеме уплотнения канальных сигналов на общий усилительно-преобразовательный тракт [2–4].

Разработка принципов построения матричных РМ датчиков ММД, с учетом возможностей реализации аппаратуры датчиков на существующей элементной базе, позволяет приблизить решение комплексной задачи создания матричной радиометрической системы формирования изображений.

Целью данной работы является оценка возможности практической реализации матричных радиометрических систем на существующей элементной базе.

Постановка задачи

Разработка принципов построения матричного РМ датчика сопряжена с решением ряда научных и технических задач, основными из которых являются:

- выбор оптимального коэффициента перекрытия диаграмм направленности парциальных облучателей многолучевой антенны;
- осуществление компоновки канальных облучателей в групповом облучателе;
- согласование группового облучателя с фокусирующим элементом многолучевой антенны;
- осуществление синтеза оптимальной схемы многоканального РМ приемника;
- выбор оптимального метода уплотнения канальных сигналов;
- устранение нестабильности коэффициентов усиления отдельных каналов;
- устранение взаимного влияния гетеродинов на работу соседних каналов.

В известных работах [1–4] приведены сведения о возможности создания матричных РМС ММД, используемых в целях обнаружения и идентификации наземных объектов. В работе [2] представлен пример компоновки группового облучателя антенны 8-мм диапазона, содержащего $4 \times 8 = 32$ элемента. Для компоновки такого количества облучателей в данной работе задействована антенна большого диаметра $d_a = 900$ мм. В качестве РМ приемников в этой системе используются приемники прямого усиления.

Для построения антенн сравнительно малого диаметра ($d_a \leq 300$ мм) с групповым облучателем большой размерности (например, 8×8 элементов) должны быть выполнены следующие противоречивые требования:

- обеспечение компактного размещения большого количества облучателей в фокусе антенны, не приводящее к затенению «раскрыва» антенны, и появлению «переливов» энергии за края апертуры;
- обеспечение требуемого уровня пересечения лучей ДНА с обеспечением, при этом, высокого пространственного разрешения отдельных лучей и малого уровня боковых лепестков.

Принципы построения многолучевых антенн

Анализ различных типов многолучевых антенн [4] позволяет сделать вывод о целесообразности применения в матричных РМС антенн гибридного

типа. Фокусирующим элементом таких антенн является: однозеркальная параболическая длиннофокусная антенна, либо двухзеркальная короткофокусная антенна типа Кассегрена, а также диэлектрическая (либо металлопластинчатая, волноводная) линзовая антенна. В работе [4] приведена методика расчета характеристик двухзеркальной антенны с групповым (матричным) облучателем (рис.1).

Заданными величинами при расчете характеристик двухзеркальной антенны Кассегрена для случая размещения антенны на борту ЛА с ограниченной площадью миделевого сечения являются:

- рабочая длина волны λ ;
- размеры (диаметр) антенны d_a (параболического рефлектора).

Искомыми характеристиками являются:

- диаметр гиперболического субрефлектора L ;
- апертурные углы параболического рефлектора и гиперболического субрефлектора ψ_0, ϕ_0 ;
- фокусное расстояние параболического рефлектора и расстояние между фокусами гиперболы $f, 2b$;
- расстояние от фазового центра облучателя до вершины субрефлектора F .

Размеры (диаметр) группового (матричного) облучателя $d_{об}$ и его продольные размеры $L_{об}$ выбираются в процессе расчета характеристик и выбора типа группового облучателя.

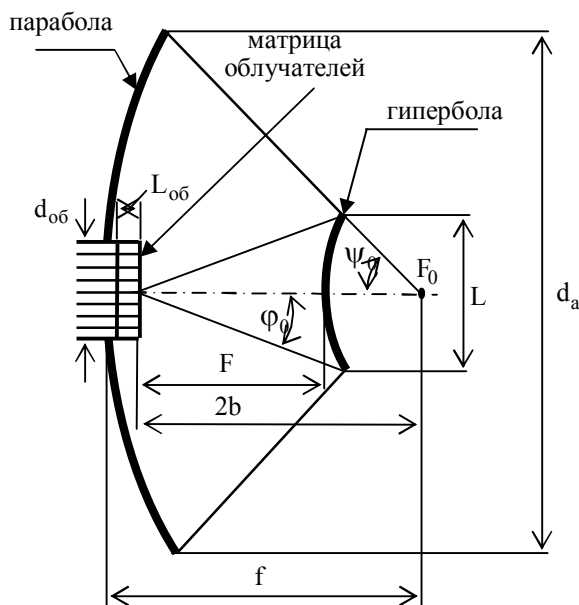


Рис. 1. Схема двухзеркальной антенны

Групповой облучатель может быть выполнен в виде антенной решетки с числом элементов равным количеству парциальных лучей ДНА. При этом зер-

кало или линза служат для создания достаточно узкой ДНА игольчатого типа, а групповой облучатель – для создания веерной ДНА требуемой формы.

На рис. 2 показан одиночный облучатель в виде щелевой антенны с постоянной шириной щели (антенна Вивальди), формирующий ДН в продольном направлении.

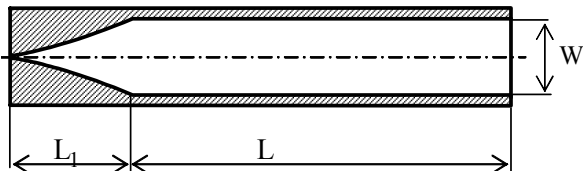


Рис. 2. Щелевая антенна Вивальди

На рис.3а приведен пример компоновки матричного облучателя в виде открытых концов волноводов, дополненных диэлектрическими щелевыми облучателями.

На рис. 3б приведен пример взаимного расположения ДН отдельных облучателей.

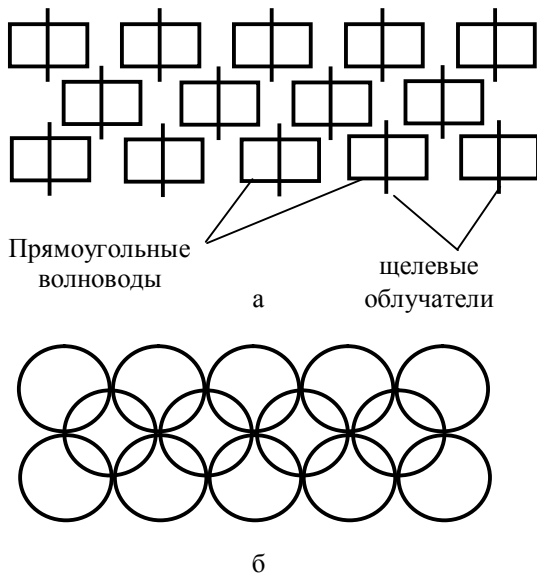


Рис. 3. Фрагмент матрицы облучателей в виде щелевых антенн (а), пример взаимного расположения ДН отдельных облучателей (б)

На рис. 4 показан облучатель в виде сужающейся диэлектрической стержневой антенны. Для согласования волновода с диэлектриком стержень антенны имеет конусный переход L_n , выполняющий роль трансформатора сопротивления, а величина L_0 выбирается из конструктивных соображений.

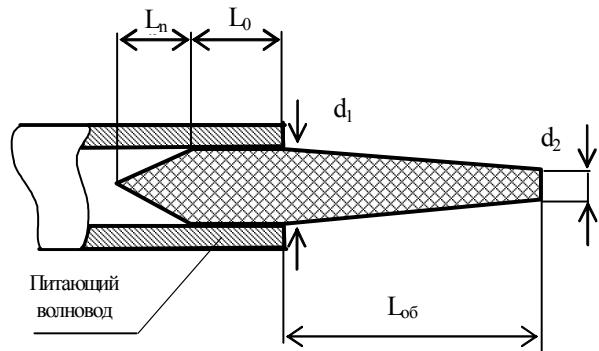


Рис. 4. Диэлектрический стержневой облучатель

В работе [4] приведен пример расчета электрических характеристик и геометрических размеров диэлектрического стержневого облучателя, используемого в матричном групповом облучателе многолучевой двухзеркальной антенны.

Результаты работы [4] позволяют ответить на вопросы, связанные с оптимальной компоновкой канальных облучателей в групповом облучателе, а также с согласованием группового облучателя с фокусирующим элементом многолучевой антенны. На рис. 5 приведен пример компоновки группового облучателя многолучевой антенны в виде обоймы диэлектрических стержневых облучателей.

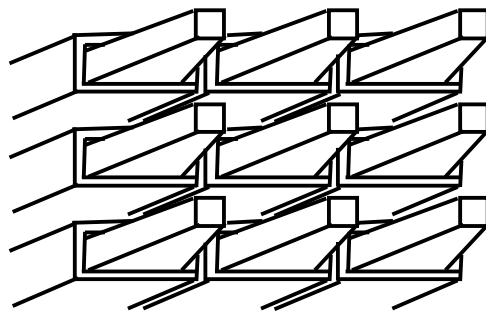


Рис. 5. Пример компоновки группового диэлектрического стержневого облучателя

На рис. 5 показано, что парциальные облучатели соприкасаются малыми стенками волноводов. Большими стенками волноводы, для удобства отображения на рисунке, не соприкасаются. Взаимное расположение ДН отдельных облучателей такое же, как и на рис. 3б.

Приведем результаты расчета основных характеристик двухзеркальной антенны Кассегрена с диаметром основного зеркала – рефлектора $d_a = 300$ мм на длине волны $\lambda = 8,6$ мм. Так, максимальные размеры группового облучателя размерностью $8 \times 8 = 64$ элементов, при условии построения группового облучателя в виде обоймы волноводов, открытые концы которых дополнены диэлек-

трическими сужающимися стержневыми вставками (рис. 4, 5), составляют (по большой стенке стандартного волновода $a \times b = 7,2 \text{ мм} \times 3,4 \text{ мм}$) $d_a = 57,6 \text{ мм}$. Размеры вырезки в рефлекторе соответствуют размерам группового облучателя, которые, с учетом толщины большой стенки волновода, несколько превышают диаметр субрефлектора $L = 60,9 \text{ мм} \leq 72 \text{ мм}$.

Длина диэлектрических облучателей, при условии согласования ДН парциального облучателя с размерами субрефлектора (отсутствие «переливов» за края субрефлектора), составляет $L_{об} = 25,8 \text{ мм}$. При этом расстояние от фазового центра облучателя до вершины субрефлектора $F = 43,6 \text{ мм}$, то есть облучатель конструктивно может быть размещен между двумя зеркалами. Затенение субрефлектором основного зеркала – рефлектора, по соотношению площадей, на 4,6% несколько снижает коэффициент направленного действия основного зеркала, который составляет $G \geq 7 \times 10^3$. Ширина ДН парциальных лучей составляет $2\theta_{0,5}^0 = 2^0$.

Анализ методов уплотнения каналов в многоканальных РМ приемниках

В теории систем связи известны методы частотного, временного уплотнения и разделения каналов, а также метод линейного уплотнения с разделением каналов по форме сигналов [5].

Метод частотного уплотнения в РМС, хотя и реализуем технически [3], но в системах, обладающих большими абсолютными значениями полосы частот сигнала, применяется редко.

Метод временного уплотнения требует применения высокоскоростных коммутаторов опроса (подключения) парциальных облучателей антенны к общему приемно-усилительному тракту. Высокая скорость последовательного опроса ограничена временем накопления сигнала радиометром от каждого парциального облучателя (канала), что диктуется необходимостью реализации требуемой чувствительности РМ приемника. Метод временного уплотнения по быстрдействию подобен методу последовательного обзора пространства.

В работе [4] предложена функциональная схема многоканального РМ приемника с линейным уплотнением каналов по форме сигналов (рис. 6).

Данная схема также может быть использована для реализации метода временного уплотнения каналов.

Полезный сигнал $x_i, i \in \overline{1, N}$ представляет собой узкополосный нормально распределенный шум с шириной спектра Δf и радиояркостной температурой T_{ci} , пропорциональной интенсивности (мощности) излучения визируемого участка поверхности или объекта на входе i -го канала.

С помощью коммутаторов (K_1, K_2, \dots, K_n) сигналы модулируются в каждом канале функциями ($y_1 \dots y_n$), которые должны быть цифровыми и принадлежать ортогональному, на интервале $[0, \tau]$, семейству. Далее сигналы всех каналов поступают на вход сумматора и в общий усилительно-преобразовательный тракт, где к сигналу добавляются шумы РМ приемника с мощностью $T_{ш}$.

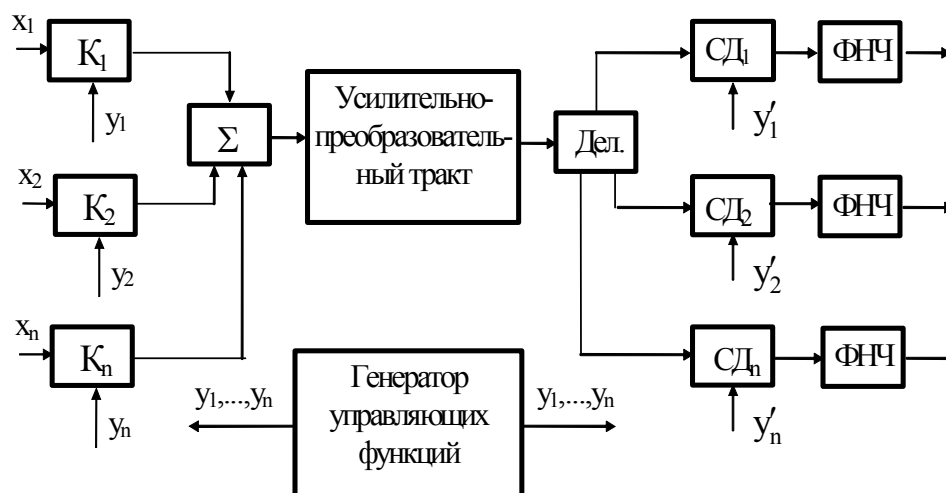


Рис. 6. Функциональная схема многоканального РМ приемника

В случае выполнения приемника по супергетеродинной схеме усилительно-преобразовательный тракт содержит преобразователь частоты (смеситель и гетеродин), усилитель промежуточной частоты (УПЧ) и квадратичный детектор. В случае построения приемника по схеме прямого усиления данный тракт содержит несколько каскадов малошумящих усилителей высокой частоты (УВЧ) и квадратичный детектор. В обоих случаях присутствует один тракт приёма, преобразования и усиления группового сигнала и таким образом отпадает необходимость в синхронизации гетеродинов отдельных каналов, а также устраняется взаимное влияние гетеродинов на работу соседних каналов. Источником внутренних шумов приемника служит либо УПЧ, либо УВЧ общего усилительно-преобразовательного тракта.

Устранения нестабильности коэффициентов усиления отдельных каналов в обеих схемах можно добиться за счет построения РМ приемников по модуляционной схеме.

Далее смесь сигнала и шума, пройдя квадратичный детектор, делится по мощности на N каналов и подается на синхронные детекторы ($СД_1, \dots, СД_n$), на вторые входы которых поступают демодулирующие функции, аналогичные модулирующим функциям ($y_1 \dots y_n$). В фильтре нижних частот (ФНЧ) осуществляется интегрирование сигнала с шумовой структурой за время τ .

В случае временного уплотнения каналов отличие функциональной схемы (рис.5) состоит в том, что коммутаторы (K_1, K_2, \dots, K_n) подключаются к сумматору последовательно.

Как показано в работе [6], при малом отношении сигнал-шум в каждом канале (что характерно

для РМ приемников) оптимальной совокупностью управляющих функций является семейство квазиортogonalных функций Уолша. В этом случае чувствительность по каждому каналу соответствует чувствительности модуляционного РМ и, по сравнению с чувствительностью компенсационного РМ, падает примерно в два раза.

С учетом ортонормальности функций Уолша сигнал на выходе каждого канала пропорционален интенсивности (мощности) сигнала на входе этого канала.

В результате анализа прохождения сигнала в многоканальном РМ приемнике с уплотнением каналов (рис.6), проведенного в работе [4], получено выражение для дисперсии сигнала на выходе многоканального радиометра для случая произвольного количества каналов N :

$$D_N = \frac{\Delta f \tau}{4} [N(N+1)T_c^2 + 4NT_c T_{ш} + 4T_{ш}^2] \quad (1)$$

и выражение для полезного сигнала на выходе каждого канала РМ:

$$T_{свых} = T_c \frac{\Delta f \tau}{2}. \quad (2)$$

На основании выражений (1), (2) получено выражение для чувствительности многоканального РМ приемника, использующего модулирующие функции Уолша:

$$\delta T = \frac{2T_{ш}}{\sqrt{\Delta f \tau}} \sqrt{1 + Nq + \frac{N(N+1)}{4} q^2}, \quad (3)$$

где $q = \frac{T_c}{T_{ш}}$ – отношение сигнал-шум на входе каждого канала РМ приемника.

Результаты расчетов чувствительности многоканального РМ приемника приведены на рис. 7.

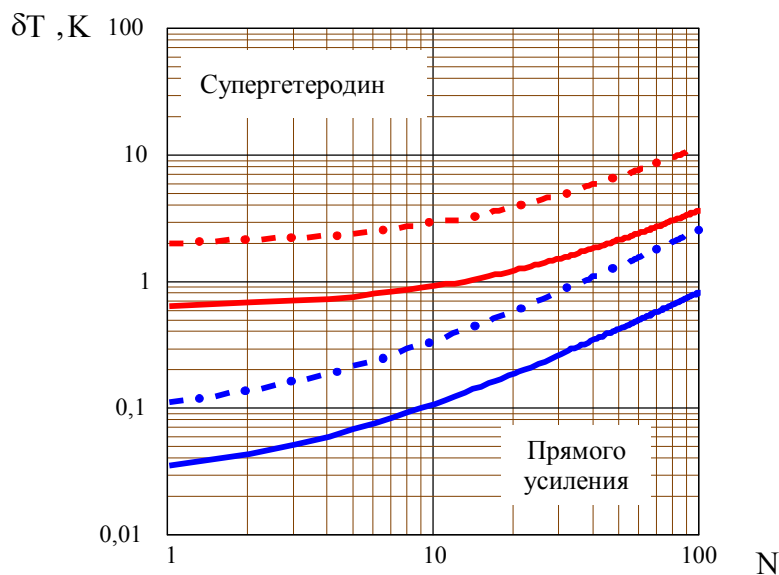


Рис. 7. Графики зависимостей $\delta T(N)$

Расчеты проведены для двух типов РМ приемников: супергетеродинного и прямого усиления при максимальном контрасте на входе РМ $T_c = 300\text{К}$. Для супергетеродинного РМ ПРМ принято $T_{ш} = 3000\text{К}$, $\Delta f = 10^9\text{Гц}$. Для РМ ПРМ прямого усиления $T_{ш} = 500\text{К}$, $\Delta f = 1,5 \cdot 10^{10}\text{Гц}$. Сплошные кривые соответствуют случаю $\tau = 0,1\text{с}$, а штриховые – случаю $\tau = 0,01\text{с}$.

В работе [6] показано, что оптимальным является количество объединяемых каналов кратное $N = 2^k - 1 (k \in \mathbb{N})$. Анализ результатов расчетов (рис. 7) свидетельствует о том, что объединение 64 каналов на один усилительно-преобразовательный тракт приводит к возрастанию межканальных помех и, как следствие, к ухудшению чувствительности каждого канала.

Для супергетеродинного РМ приемника ухудшение чувствительности, по сравнению с одноканальным модуляционным РМ, составляет примерно 6 раз. Чувствительность РМ прямого усиления (при $N = 64$) ухудшается в 12 раз, по сравнению с одноканальным модуляционным РМ.

В данном случае целесообразно введение ограничения количества объединяемых каналов на один усилительно-преобразовательный тракт. Так, при объединении, например, 16 каналов ($N = 2^4$) на один тракт, чувствительность каждого канала остается достаточно высокой: $\delta T \cong 1\text{К}$ – для супергетеродинного РМ приемника, $\delta T \cong 0,15\text{К}$ – для РМ приемника прямого усиления ($\tau = 0,1\text{с}$). В этом случае количество усилительно-преобразовательных трактов при общем количестве каналов в матрице $N = 64$, равно четырем.

Оценка точности определения координат наземных объектов матричными РМС

В работе [4] проанализировано влияние шумов соседних каналов на качество обработки изображений, формируемых многоканальными и матричными РМС. Критерием оценки качества выступает точность определения координат наземных объектов. Количественной величиной точности служит среднеквадратическая ошибка (СКО) местоопределения.

По результатам работы [4], опуская громоздкие математические выкладки, можно сделать следующие выводы.

Получены аналитические выражения, позволяющие осуществить оценки потенциальной точности (СКО) определения координат площадных наземных объектов матричными РМС с уплотнением канальных сигналов на основе использования системы функций Уолша. Оценки получены с учетом наличия корреляции канальных сигналов в многоканальной РМС, обусловленной частичным пересечением диаграмм направленности парциальных лучей матричной антенны, а также с учетом пропуска сигналов через общий усилительно-преобразовательный тракт многоканального приемника.

Показано, что уже при коэффициенте перекрытия парциальных ДНА соседних лучей $d \geq 0,75$ (перекрытие лучей менее чем на половину) коэффициент $r_{x,y} = \frac{\delta_R}{\delta_M}$ (отношение СКО, по двум координатам, для РМС с уплотнением каналов к СКО матричной РМС) уменьшается от значения $r_{x,y} \geq 4$ до значений $r_{x,y} \leq 2$, то есть существенно снижается влияние взаимной корреляции канальных сигналов, обусловленной пересечением парциальных ДН соседних каналов. СКО местоопределения многоканальной системы приближается к СКО матричной системы.

Влияние на точность местоопределения корреляции сигналов соседних каналов при прохождении через общий усилительный тракт РМ приемника (исключая перекрытие парциальных ДН – ДН не пересекаются) заключается в следующем. С увеличением размерности матрицы растет влияние соседних каналов и точность местоопределения ухудшается, однако точность улучшается с увеличением отношения сигнал-шум входных сигналов. Так, увеличение размерности матрицы с $N_1 = N_2 = 4$ до $N_1 = N_2 = 8$ приводит к увеличению СКО, примерно в 3 раза. Увеличение отношения сигнал-шум и, соответственно, контраста пары «объект – фон» с $\Delta T_1 = 3\text{К}$ до $\Delta T_1 = 8\text{К}$ приводит к снижению СКО, примерно в 3 раза. Учет перечисленных факторов позволяет оптимизировать параметры антенной системы и РМ многоканального приемника РМС: коэффициент перекрытия лучей парциальных ДНА и количество соседних каналов, уплотняемых на один общий усилительно-преобразовательный тракт.

Результаты количественных оценок точности определения координат объектов простой и сложной конфигурации [4] показывают, что применение матричных РМС позволяет обеспечить повышение точности определения координат (снижение СКО), по

сравнению с многоканальными системами с уплотнением каналов, до 2,5 раз.

Выводы

Обоснованы пути практической реализации матричных радиометрических систем (многолучевых антенн и многоканальных радиометрических приемников), предназначенных для формирования изображений наземных объектов на борту летательных аппаратов различного назначения. Формирование двумерных радиометрических изображений за малое время экспозиции возможно как благодаря применению матрицы РМ информационных датчиков, так и за счет применения многоканальных РМ датчиков на основе уплотнения каналов с разделением по форме сигналов с использованием функций Уолша.

Выбор того или иного пути построения матричных РМ датчиков, в каждом конкретном случае, должен осуществляться исходя из условий применения РМС с учетом решаемых задач конкретным типом ЛА. Выбор может осуществляться, например, по критерию «эффективность – стоимость». Так, создание матричного РМ приемника, с размерностью матрицы $8 \times 8 = 64$ элемента, на основе приемников прямого усиления 8-мм диапазона, при условной стоимости одного приемника, например, ~1000 у.е., может быть оценена в ~64000 у.е. Построение многоканального РМ приемника по схеме с уплотнением 16 каналов на один тракт усиления, при том же размере матрицы, будет стоить ~4000 у.е. Однако, при выборе вариантов построения многоканального РМ приемника необходимо учесть негативные факторы, сопутствующие многоканальным схемам с уплотнением, такие, как: потеря чувствительности РМ каналов, трудности теоретического и технического характера, связанные с реализацией схем уплотнения (создание сумматора сигналов парциальных каналов с малым уровнем потерь, генерирование функций Уолша с требуемыми характеристиками) и др.

Анализ состояния и перспектив развития существующей элементной базы миллиметрового диапазона за рубежом и в нашей стране [1–4], с учетом предъявляемых к РМС формирования изображений тактико-технических требований, позволяет сделать вывод о возможности практической реализации всех элементов и узлов радиометрических систем в наиболее перспективных, с точки зрения применения, и наиболее освоенных промышленностью диапазонах – в 8-мм и 3-мм диапазонах волн.

Литература

1. Голдмис, П.Ф. Системы формирования изображений в фокальной плоскости в миллиметровом диапазоне длин волн [Текст] / П.Ф. Голдмис. - ТИИЭР, 1993. - Т. 41. - № 10. - С. 1-24.
2. *Passive multichannels millimeter-waves imaging system [Text]* / 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.* – V.I. Kharkov, Ukraine, June 21-26, 2004. - P. 202-204.
3. *Radiometry Complex «Zir» for High-Speed Radio-Wave Imagine [Text]* / V.A. Berezhnoy, Y.N. Muskin, V.M. Chmil, V.I. Antyufeev, V.N. Bykov // *The sixth international Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves. Millimeter and Submillimeter waves and Workshop on Terahertz Technologies.* - Kharkov, Ukraine, June 25–30 2007. – P. 887 – 889.
4. *Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов. Монография [Текст]* / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, А.М. Гричанюк, В.А. Краюшкин, Р.П. Гахов. – М.: Физматлит, 2009. – 352 с.
5. *Радиосистемы передачи информации [Текст]* / И.М. Тепляков, Б.В. Роцин. А.И. Фомин, В.А. Вейцель; под ред. И.М. Теплякова. – М.: Радио и связь, 1982. – 264 с.
6. Антюфеев, В.И. Оптимизация семейства модулирующих функций в многоканальном радиометре. Сообщение 1, 2 [Текст] / В.И. Антюфеев // *Радиотехника.* – 1997. – Вып. 101. – С. 16–28.

Поступила в редакцию 9.10.2012

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф., декан радиофизического факультета С.Н. Шульга, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

МАТРИЧНІ РАДІОМЕТРИЧНІ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ*В.І. Антюфеев, В.М. Быков, Д.Д. Иванченко, М.М. Колчигін, Т.Д. Бережна*

Обґрунтовані принципи побудови матричних радіометричних систем формування двовимірних зображень на борту літального апарата. Наведений приклад багатопроменевої антени з груповим відбивачем, реалізація якої можлива у міліметровому діапазоні хвиль. Розглянуті принципи побудови матричних систем із застосуванням часового ущільнення каналів і ущільнення каналів за формою сигналів із застосуванням квазіортогональних функцій Уолша. Проведена оцінка оптимальної кількості ущільнених каналів на один тракт посилення-перетворення. Проведена оцінка чутливості багатоканального радіометричного приймача, а також порівняльна оцінка точності місцевизначення багатоканальних радіометричних систем з ущільненням каналів і матричних радіометричних систем.

Ключові слова: літальний апарат, радіометрична система, міліметровий діапазон.

MATRIX RADIOMETRIC SYSTEMS OF FORMED IMAGES*V.I. Antyufeev, V.M. Bykov, D.D. Ivanchenko, N.N. Kolchigin, T.D. Berezhnaya*

Principles of constructing matrix radiometric systems for forming two-dimensional images on board of an aircraft have been grounded. An example of a multi-beam antenna with a group irradiator implementable in the millimeter wave band has been provided. The principles of construction of matrix systems based on a linear multiplexing channels in accordance with the shape of signals using quasi orthogonal Walsh functions have been studied. The estimation of the optimal number of sealing channels per intensive-converting tract has been performed. The evaluation of the radiometric sensitivity of multichannel receiver, as well as a comparative evaluation of the accuracy of positioning of multi-channel radiometric systems with sealing of channels and matrix radiometric systems has been received.

Key words: aircraft, radiometric systems, millimeter bands.

Антюфеев Валерий Иванович – д-р техн. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

Быков Виктор Николаевич – д-р техн. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

Иванченко Дмитрий Дмитриевич – канд. физ.-мат. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

Колчигин Николай Николаевич – д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

Бережная Татьяна Дмитриевна – инженер кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.