

УДК 681.32

В.И. Барсов¹, Ю.В. Самсонов²¹ Українська інженерно-педагогічна академія, Харків² Академія внутрішніх військ МВД України, Харків

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ СИГНАЛА ПОДСВЕТКИ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Получено аналитическое выражение для оценки отношения сигнал-шум на выходе радиометрической информационной системы миллиметрового диапазона, позволяющее оценить влияние на качество радиометрического приема узкополосной подсветки наземных объектов.

Ключевые слова: радиометрическая информационная система, качество приема.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

В известных работах [1 – 3] приведен анализ возможности повышения эффективности радиометрических информационных систем миллиметрового диапазона (РМИС ММД) благодаря применению комбинированного режима работы: РМИС в пассивном режиме и РМИС в режиме приема сигнала узкополосной либо широкополосной подсветки визируемых наземных объектов шумовым или детерминированным сигналом. Применение широкополосной шумовой подсветки попеременно с пассивным режимом работы РМИС без подсветки позволяет увеличить диапазон высот обнаружения малоразмерных наземных объектов при прочих равных условиях, в (1,5–2) раза [4]. Однако применение широкополосной подсветки во всей полосе радиометрического приема РМИС исключает одновременную работу РМИС и источника подсветки (ИП). В работе [5] приведены теоретические и экспериментальные оценки возможности совмещения РМИС и источника узкополосной подсветки, в том числе подсветки детерминированным сигналом радиолокатора (РЛК). При этом, как показано в работе [5], для радиометрических методов приема целесообразным является совмещение активного и пассивного каналов по ширине спектров сигналов. В этом случае необходимым условием совместного функционирования РМИС и ИП является обеспечение качественного приема РМ сигнала во всей полосе пассивного канала в присутствии узкополосного сигнала активного канала, находящегося в той же полосе приема. Критерием качества приема сигнала может служить отношение сигнал-шум на выходе РМ канала. В указанной работе [5] данное отношение получено для одного конкретного случая частотно-модулированного сигнала источника подсветки. Для обобщенной оценки качества РМ приема необходимо уточнить отношение сигнал-шум на выходе РМ канала для общего случая как узкополосного, так и широкополосного шумового сигнала.

Целью статьи является получение аналитического выражения для отношения сигнал-шум на выходе пассивного канала в присутствии узкополосного и широкополосного сигнала подсветки, а также оценка на основе данного выражения влияния сигнала подсветки на качество радиометрического приема РМИС ММД.

Основная часть

На рис. 1 приведена структурная схема приемного тракта с разделением активного и пассивного каналов.

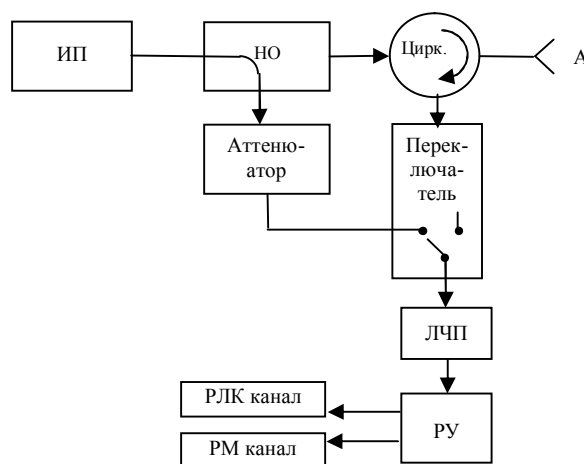


Рис. 1. Структурная схема приемопередающего тракта совмещенной РМИС ММД

Сигнал источника подсветки (ИП) излучается в направлении визируемого наземного объекта. Часть сигнала подсветки через направленный ответвитель (НО), аттенюатор и переключатель поступает в приемник активного канала, как опорный, для синхронизации приема сигнала активного канала. Смесь радиометрического сигнала и отраженного от объекта сигнала подсветки поступает на приемную антенну (А) и далее через циркулятор и переключатель поступает в линейную часть приемника (ЛЧП), где осуществляется усиление и преобразование по час-

тоте суммарного сигнала. После ЛЧП сигнал поступает в разделительное устройство (РУ). РУ осуществляет разделение суммарного сигнала на активный (РЛК) и пассивный (РМ) каналы обработки сигнала.

Разделительное устройство (рис.2) содержит входной фильтр Φ_1 с полосой частот Δf , активный и пассивный канал. Активный канал содержит фильтр Φ_a с полосой Δf_a , детектор D и фильтр нижних частот (ФНЧ) с полосой ΔF_a . Пассивный канал содержит фильтр Φ_p с полосой частот Δf_p , квадратичный детектор (Кв.Д) и ФНЧ с полосой частот ΔF_p .

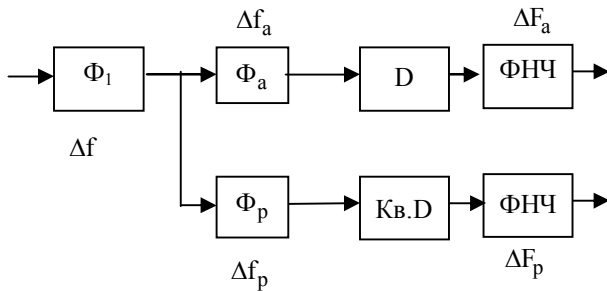


Рис. 2. Структурная схема разделительного устройства приемного тракта РМИС, совмещенной с источником подсветки

Пусть сигнал источника подсветки представляет собой узкополосный случайный процесс с эквивалентной шумовой температурой

$$T(f) = \begin{cases} T_t = \frac{P_t}{k \Delta f_t}, & f \in \pm [f_0 - \Delta f_t/2, f_0 + \Delta f_t/2]; \\ 0, & f \notin \pm [f_0 - \Delta f_t/2, f_0 + \Delta f_t/2], \end{cases} \quad (1)$$

где P_t – мощность излучаемого сигнала; k – постоянная Больцмана; f_0 – центральная частота спектра радиометрического и излучаемого сигнала; Δf_t – ширина спектра излучаемого сигнала.

Пользуясь уравнением дальности радиолокационной системы [6], можно получить соотношение для мощности принимаемого сигнала подсветки, который поступает на вход разделительного устройства приемного тракта РМИС:

$$P_r = q \cdot k \cdot T_r \cdot \Delta f_t = \frac{G_r \cdot G_t \cdot \sigma \cdot \lambda^2 \cdot P_t \cdot F_r^2 \cdot F_t^2}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L}, \quad (2)$$

где q – требуемое отношение сигнал-шум на входе приемника активного канала; T_r – эквивалентная шумовая температура принимаемого сигнала источника подсветки; G_r, G_t – коэффициент направленного действия (КНД) антенны в режиме приема и передачи, соответственно; σ – эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) визируемого объекта; F_r, F_t – множители, учитывающие возможность на-

хождения визируемого объекта в максимуме диаграммы направленности (ДНА) приемопередающей антенны; R – дальность действия радиолокационной системы; L – коэффициент потерь мощности сигнала в атмосфере и в антенно-фидерном тракте.

Задаваясь величиной мощности ИП P_t для различных условий визирования наземных объектов (высоты, угла визирования, состояния атмосферы), требуемой для устойчивого обнаружения наземных объектов, а также величинами других входящих в выражение (2) параметров можно оценить величину T_r и оценить влияние данного параметра на качество функционирования пассивного канала РМИС.

Эквивалентная шумовая температура сигнала на выходе режекторного фильтра Φ_p , имеющего прямоугольную частотную характеристику с центральной частотой f_0 и полосой пропускания $\Delta f_p = \Delta f_t$, определяется выражением

$$T(f) = \begin{cases} T_c, & f \in [f_0 - \Delta f/2, f_0 + \Delta f/2] - \\ & - [f_0 - \Delta f_p/2, f_0 + \Delta f_p/2]; \\ T_1, & f \in [f_0 - \Delta f_p/2, f_0 + \Delta f_p/2]; \\ 0, & f \notin [f_0 - \Delta f/2, f_0 + \Delta f/2], \end{cases} \quad (2)$$

где $T_c = T_0 + T_{ш}$ – эквивалентные шумовые температуры принимаемого сигнала, полезного сигнала и собственного шума пассивного канала; $T_1 = \alpha T_r$ – эквивалентная шумовая температура принимаемого сигнала источника подсветки с учетом подавления в режекторном фильтре Φ_p ; α – коэффициент подавления сигнала активного канала в тракте пассивного канала фильтром Φ_p в полосе Δf_p , равной Δf_a .

Эквивалентная шумовая температура сигнала на выходе квадратичного детектора определяется

$$\text{сверткой } T_n(f) = \int_{-\infty}^{\infty} T(f')T(f-f')df' \text{ сигнала (2). В}$$

результате вычисления свертки сигнала (2) можно получить выражение:

$$T_n(f) = \begin{cases} T_c^2 (-f + \Delta f - \Delta f_a) + T_c T_1 \Delta f_a, & 0 < f \leq (\Delta f - \Delta f_a)/2; \\ (T_c^2/2) \cdot (\Delta f - \Delta f_a) + T_c T_1 (-f + (\Delta f + \Delta f_a)/2), & (\Delta f - \Delta f_a)/2 < f \leq (\Delta f + \Delta f_a)/2; \\ T_c^2 \Delta f (1 - f/\Delta f), & (\Delta f + \Delta f_a)/2 < f \leq \Delta f; \\ 0, & f > \Delta f. \end{cases} \quad (3)$$

На рис.3, а представлена низкочастотная компонента спектральной плотности мощности сигнала (3) на выходе пассивного канала (квадратичного детектора) и амплитудно-частотная характеристика фильтра Φ_p , рис.3,б.

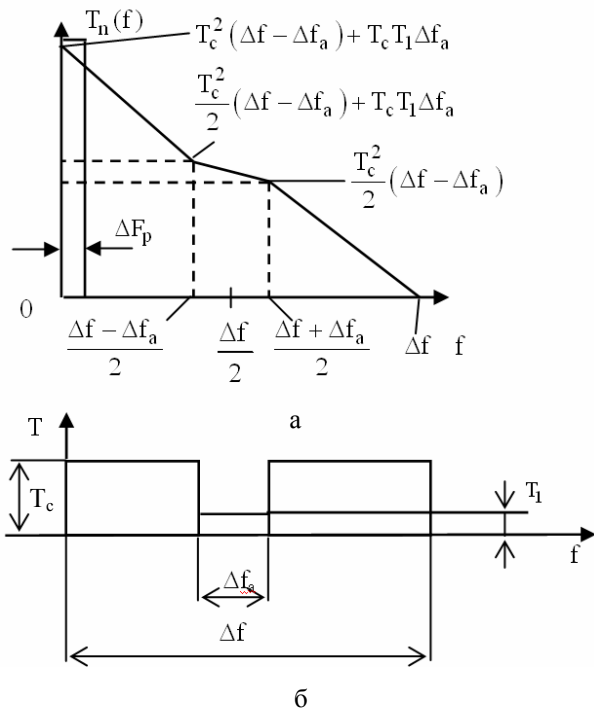


Рис. 3. Спектр принятого сигнала на выходе пассивного канала

Дисперсия шума на выходе ФНЧ пассивного канала с прямоугольной частотной характеристикой и полосой пропускания ΔF_p (рис.3,а), имеет вид

$$\sigma_{ш}^2 = \left[T_c^2 (\Delta f - \Delta f_a) + T_c T_1 \Delta f_a \right] \Delta F_p. \quad (4)$$

Таким образом, искомое отношение полезный сигнал – шум на выходе пассивного канала определяется выражением

$$q_{\text{вых}} = \frac{T_0}{\sigma_{ш}} = \frac{T_0}{\sqrt{\left[T_c^2 \left(1 - \frac{\Delta f_a}{\Delta f} \right) + T_c T_1 \frac{\Delta f_a}{\Delta f} \right] \frac{\Delta F_p}{\Delta f}}}. \quad (5)$$

Результаты расчетов

Расчеты по формуле (5) проведены при следующих исходных данных. В качестве приемопередающей антенны выбрана параболическая (или линзовая) апертурная антенна диаметром $d=200\text{ мм}$, обеспечивающая на длине волны $\lambda=3,2\text{ мм}$ КНД антенны $G_r=G_t=5 \cdot 10^3$. В качестве визируемого объекта выбран малоразмерный объект с ЭПР $\sigma=1\text{ м}^2$. Отношение сигнал-шум на входе активного канала, обеспечивающее требуемое качество приема сигнала, выбрано равным $q=10\text{ дБ}$. Параметры согласования направления приема и максимума ДНА $F_r=F_t=1$. Рассматриваемый диапазон высот функционирования РМИС ММД лежит в пределах $R=(500-100)\text{ м}$. Коэффициент ослабления в атмосфере принят равным $L=0,4\text{ дБ/км}$ (погонное ослабление радиоволн 3-мм диапазона в чистой атмо-

сфере). Требуемая величина радиометрического контраста объект-фон T_0 выбирается из условия обеспечения надежного приема радиометрического сигнала с вероятностью правильного обнаружения $P \geq 0,9$, и составляет $T_0=10\text{ К}$, $T_0=20\text{ К}$. Шумовая температура неохлаждаемого супергетеродинного РМ приемника выбиралась равной $T_{ш}=3 \cdot 10^3\text{ К}$, высокочувствительного РМ приемника прямого усиления равной $T_{ш}=10^3\text{ К}$. В формуле (5) произведение $T_1 \cdot \Delta f_a$, при заданной фиксированной мощности принятого сигнала P_r , является величиной постоянной. Пределы изменения данного произведения с изменением мощности $P_r = (5 \cdot 10^{-2} - 1)\text{ Вт}$, при коэффициенте подавления $\alpha = -20\text{ дБ}$, составляют $T_1 \cdot \Delta f_a = (6 \cdot 10^7 - 1,2 \cdot 10^9)$.

На рис. 4 представлена зависимость отношения сигнал-шум в пассивном канале от соотношения полос активного канала (источника подсветки) и тракта радиометрического приема, $\delta f = \frac{\Delta f_a}{\Delta f}$. Нижняя кривая соответствует случаю: $P_r=1\text{ Вт}$, $T_0=10\text{ К}$, $T_{ш}=3 \cdot 10^3\text{ К}$, $\Delta F_p=100\text{ Гц}$, что соответствует времени интегрирования РМ приемника $\tau=0,01\text{ с}$. Верхняя сплошная кривая построена для случая $\Delta F_p=10\text{ Гц}$ ($\tau=0,1\text{ с}$). Точечная кривая соответствует случаю: $T_{ш}=10^3\text{ К}$, $\Delta F_p=100\text{ Гц}$.

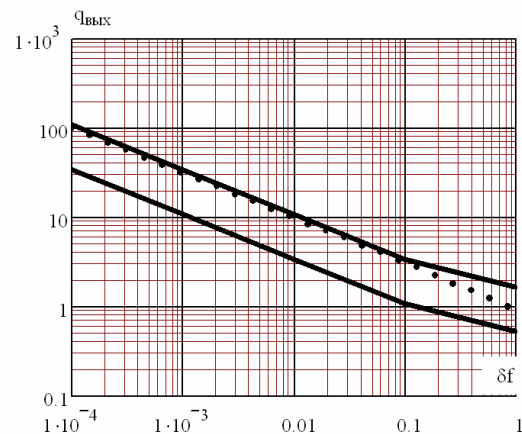


Рис. 4. Зависимость отношения сигнал-шум в пассивном канале от соотношения полос источника подсветки и пассивного радиометрического канала

Анализ соотношения (5) и графика на рис.4 позволяет сделать следующие выводы. Как видно из рис.4 при приведенных выше значениях параметров в формуле (5) стремление $\delta f \rightarrow 1$ (подсветка становится широкополосной) приводит к недопустимому снижению отношения сигнал-шум на выходе пассивного РМ канала $q \leq 1$. При этом вес радиометрической составляющей (первое слагаемое в знаменателе

в квадратних скобках) становиться все меньше, и растет вклад активной подсветки. Этим объясняется некоторый подъем кривой $q_{\text{вых}}$ при значениях $\delta f = (0,1-1)$. Этот подъем меньше для меньших значений шумовой компоненты радиометрического сигнала $T_{\text{ш}} = 10^3 \text{ К}$, т.к. вклад шумовой компоненты при этом уменьшается. Увеличение отношения сигнал-шум возможно за счет уменьшения полосы ФНЧ ΔF_p пассивного канала, т.е. за счет увеличения времени интегрирования τ . Однако при этом ухудшается быстродействие РМИС. Увеличение указанного отношения также возможно при увеличении требуемого значения радиометрического контраста T_0 , но при этом уменьшается запас чувствительности РМИС на случай неблагоприятных погодных условий, затуханий сигнала в материале обтекателя, потерь в антенно-фидерном тракте и др. Существует запас по коэффициенту подавления сигнала активного канала в фильтре Φ_p . Технически достижимые величины этого подавления лежат в пределах $\alpha \approx -40 \text{ дБ}$.

Выводы

Таким образом, полученное аналитическое выражение для отношения сигнал-шум на выходе пассивного радиометрического канала позволяет оценить влияние сигнала подсветки на качество радиометрического приема. Данное выражение позволяет оценить вклад как узкополосной, так и широкополосной подсветки, как сигналом с шумовой структурой, так и детерминированным сигналом с любым типом модуляции.

Предложены схемотехнические решения, реализующие метод разделения пассивного радиометрического и активного радиолокационного каналов по ширине спектров сигналов. Данные схемные решения позволяют обеспечить одновременное функционирование двух каналов и одновременный прием двух сигналов в одном радиометрическом тракте без существенного снижения качества радиометрического приема. Наиболее эффективно данный метод и реализующие его устройства работают при соотношении $\delta f = \Delta f_a / \Delta f \leq 10^{-2}$. В случае, когда ширина

спектра сигнала подсветки приближается к ширине спектра радиометрического приема, необходимо переходить на попеременный пассивно-активный режим работы РМИС ММД.

Сигнал на выходе активного канала может служить в качестве реперной точки, фиксирующей первоначальное обнаружение визируемого малоразмерного наземного объекта. Принятый сигнал активного канала, совместно с опорным сигналом от источника подсветки (сигнал, поступающий через направленный ответвитель), может быть использован для измерения дальности до наземного объекта, что является дополнительным измеряемым информативным признаком.

Совмещение пассивного радиометрического канала и активного радиолокационного канала на базе РМИС позволяет повысить надежность и в конечном итоге эффективность обнаружения малоразмерных наземных объектов пассивно-активными РМИС ММД.

Список литературы

1. Мур Р. Панхроматический и полипанхроматический радиолокаторы / Р. Мур, В. Уайт, Дж. Роуз // ТИИЭР. – 1969. – № 57. – С. 590-593.
2. Seashore C.R. MM-wave Radar and radiometric sensors for guidance systems / C.R. Seashore, J.E. Milley, V.A. Kearns // Microwave J. – 1979. – V. 22, N 8. – P. 47-51.
3. Повышение информативности радиометрических изображений благодаря применению шумовой подсветки / В.Н. Быков, С.И. Иваиов, Ю.В. Овсянников и др. // Радиотехника. – Х.: ХИРЭ, 1997. – Вып. 101. – С. 33-39.
4. Быков В.Н. Обнаружение малоразмерных объектов радиометрическими информационными системами миллиметрового диапазона с шумовой подсветкой / В.Н. Быков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – № 2(10). – С. 5-10.
5. Быков В.Н., Косухин В.Ю. Теоретическая и экспериментальная оценка возможности совмещения пассивного и активного каналов в радиометрических информационных системах / В.Н. Быков, В.Ю. Косухин // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 6. – С. 29-35.
6. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. – Т. 1 Основы радиолокации. – М.: Сов. радио. – 1976. – 456 с.

Поступила в редколлегию 20.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ШИРИНИ СМУГИ СИГНАЛУ ПІДСВІЧУВАННЯ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ЯКІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОМЕТРИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В.І. Барсов, Ю.В. Самсонов

Отриманий аналітичний вираз для оцінки відношення сигнал-шум на виході радіометричної інформаційної системи міліметрового діапазону, що дозволяє оцінити вплив на якість радіометричного прийому вузькосмугового підсвічування наземних об'єктів.

Ключові слова: радіометрична інформаційна система, якість прийому.

ANALYSIS OF INFLUENCE OF B. SIGNAL OF ILLUMINATING FROM BENEATH OF SURFACE OBJECTS ON QUALITY OF FUNCTIONING OF AEROPHARE INFORMATIVE SYSTEMS

V.I. Barsov, Yu.V. Samsonov

Analytical expression is got for the estimation of relation signal-noise on the output of the aerophare informative system of millimeter range, allowing to estimate influence on quality of aerophare reception of the narrow-band illuminating from beneath of surface objects.

Keywords: aerophare informative system, quality of reception.