

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА  
ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ ПАССИВНОГО И АКТИВНОГО КА-  
НАЛОВ  
В РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

к.т.н. В.М. Быков, В.Ю. Косухин  
(представил проф. А.М. Сотников)

*Проанализировано взаимное влияние каналов радиометрического приема и активной подсветки в совмещенной радиометрической информационной системе.*

**Постановка проблемы.** Радиометрические информационные системы миллиметрового диапазона волн (РМИС ММД) находят широкое применение при решении экологических задач, локализации очагов лесных пожаров, разливов нефтепродуктов, для навигации летательных аппаратов, наведения и самонаведения управляемых боеприпасов на цель. Повышение информативности пассивных РМИС возможно благодаря применению активной «подсветки» объектов, осуществляемой шумовым либо детерминированным сигналом. Применение подсветки приводит к существенному увеличению контраста «объект – фон», что в конечном итоге влечет за собой повышение точности местоопределения РМИС [1 – 3]. В связи с тем, что радиометрический приемник является высокочувствительным приемником слабых сигналов, существуют трудности аппаратурного совмещения пассивного и активного каналов РМИС в одном приемопередающем тракте.

**Анализ литературы.** Анализ существующих методов уплотнения и разделения каналов, а также результатов проведенных в данном направлении исследований позволяют сделать вывод о том, что наиболее приемлемым для РМИС ММД является метод линейного уплотнения с разделением каналов по форме сигналов [4 – 6]. Применительно к радиометрическим системам данный метод означает уплотнение каналов по спектру сигналов. Однако вопрос создания многоканальной РМИС на основе уплотнения (совмещения) нескольких каналов, один из которых является активным (излучающим), предполагает синтез схмотехнического решения и оценку взаимного влияния активного канала на канал радиометрического приема. Однако, в известной литературе отсутствуют количественные оценки взаимного влияния пассивных и активных кана-

лов, совмещаемых по спектру сигналов. В этой связи целесообразным является экспериментальное подтверждение возможности повышения эффективности пассивных РМИС за счет применения активной подсветки ки обнаруживаемых объектов.

**Целью статьи** является теоретическая и экспериментальная оценка взаимного влияния сигнала активного источника шумовой подсветки на качество функционирования приемного радиометрического тракта совмещенной РМИС ММД.

**Теоретическая оценка возможности совмещения каналов.** Совмещение РМИС с каналом активной подсветки целесообразно осуществлять таким образом, чтобы исключить взаимное влияние совмещаемых систем, так как это ведет к ухудшению выходного отношения сигнал-шум РМИС. В качестве сигнала подсветки может быть использован как широкополосный сигнал с шумовой структурой, аналогичный естественному излучению объектов и фонов, так и узкополосный детерминированный радиолокационный ММД [1, 2].

Структурная схема пассивно-активной РМИС с совмещением пассивного РМ тракта и активного радиолокационного (РЛ) тракта представлена на рис. 1.

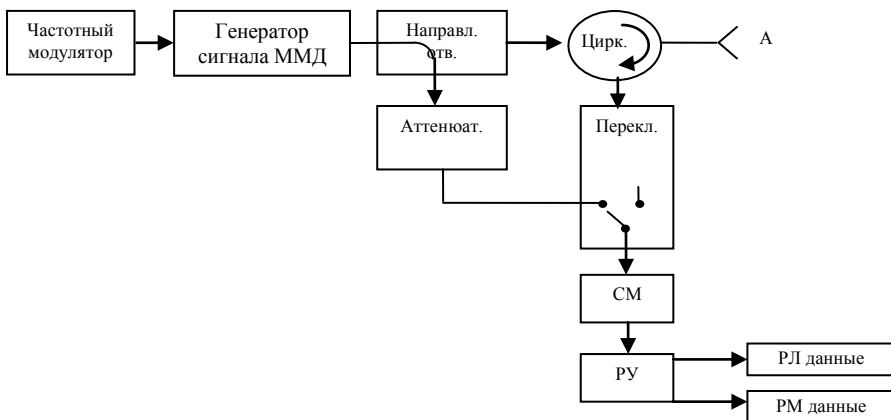


Рис. 1. Структурная схема приемопередающего тракта совмещенной РМИС ММД

На рис. 2 приведена структурная схема приемного тракта с разделением активного и пассивного каналов. Радиолокатор ММД представлен на схеме (рис. 1) генератором сигналов и частотным модулятором, осуществляющим гармоническую частотную модуляцию излучаемого сигнала. Часть излучаемого сигнала через направленный ответвитель поступает в приемную часть активной системы (рис. 2). Приемный сигнал активного и пассивного каналов после приемной антенны поступает на смеситель

(СМ) и далее на разделительное устройство (РУ), в котором осуществляется разделение сигнала на активный и пассивный каналы обработки сигнала. Разделительное устройство приведено на рис. 2, РУ содержит входной фильтр с полосой частот  $\Delta F_1$ , активный канал содержит фильтр  $\Phi_a$  с полосой  $\Delta F_a$ , детектор D и фильтр нижних частот (ФНЧ) с полосой  $\Delta F_{an}$ , и пассивный канал, состоящий из фильтра  $\Phi_p$  с полосой частот  $\Delta F_p$ , квадратичного детектора (кв. D) и ФНЧ с полосой частот  $\Delta F_{pn}$ .

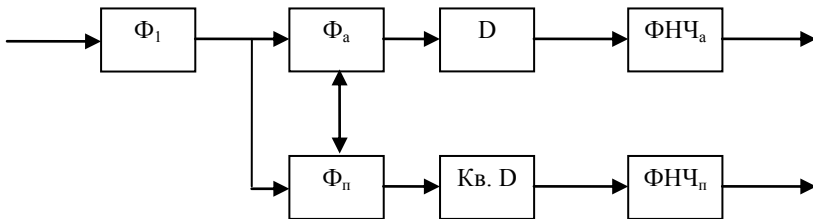


Рис. 2. Структурная схема приемного тракта совмещенной РМИС

Для исследуемой схемы (рис. 1, 2) частотно-модулированный сигнал радиолокатора в комплексной форме запишем следующим образом

$$u(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \left\{ \dot{u}(t) \cdot e^{j\omega_0 t} \right\}. \quad (1)$$

Спектр сигнала, определяемого выражением (1), имеет вид

$$S_0(\omega) = \frac{\pi P_s}{\Delta \omega_s} \left[ e^{-\pi \left( \frac{n\omega - \omega_0}{\Delta \omega_s} \right)^2} + e^{-\pi \left( \frac{n\omega + \omega_0}{\Delta \omega_s} \right)^2} \right], \quad (2)$$

где  $P_s$  – мощность излучаемого радиолокатором сигнала;  $\omega_0$  – центральная частота спектра излучаемого сигнала;  $\Delta \omega_s$  – ширина спектра излучаемого сигнала;  $n$  – число гармоник сигнала.

Спектр принятого сигнала для малых значений индекса частотной модуляции ( $n \approx 1$ ) определяется выражением

$$S_p(\omega) = \frac{2\pi P_{s0}}{\sqrt{\Delta \Omega_d^2 + \Delta \omega_s^2}} e^{-\pi \frac{\omega^2}{\Delta \Omega_d^2 + \Delta \omega_s^2}}, \quad (3)$$

где  $P_{s0}$  – мощность принятого сигнала;  $\Delta \Omega_d$  – доплеровское смещение частоты принятого сигнала.

Учитывая, что в случае РЛ сигнала величина  $\Delta \omega_s$  мала, выражение для спектра принятого сигнала имеет вид

$$S_p(\omega) = \frac{2\pi P_{s0}}{\Delta\Omega_d} e^{-\pi\left(\frac{\omega}{\Delta\Omega_d}\right)^2}. \quad (4)$$

В результате соотношение для суммарного спектра на выходе фильтра  $\Phi_1$  имеет вид

$$S_\Sigma(\omega) = \begin{cases} N_0 + \frac{\pi P_s}{\Delta\Omega_d}, & \omega \in \omega \pm \Delta\omega_1/2 \\ 0, & \omega \notin \omega_0 \pm \Delta\omega_1/2 \end{cases}, \quad (5)$$

где  $\Delta\omega_1$  – полоса пропускания фильтра  $\Phi_1$  по круговой частоте;  $N_0/2$  – спектральная плотность мощности радиотеплового сигнала радиометрического датчика.

После ряда преобразований аппроксимируя частотные характеристики фильтров активного и пассивного каналов ( $\Phi_a, \Phi_p$ ) гауссовой кривой, а также представляя ФНЧ обоих каналов идеальной прямоугольной частотной характеристикой, получены окончательные выражения для отношения сигнал-шум на выходе активного (6) и пассивного каналов (7)

$$q_a = \frac{1}{\left(1 + \frac{N_0\Delta f_1}{P_{s0}}\right) \sqrt{\frac{2}{\Delta f_d} \left[ \pi\Delta F_{an} - \frac{\Delta F_{an}^2}{2\Delta f_d} \exp\left(-\frac{2\Delta F_a^2}{\Delta F_p^2}\right) \right]}}; \quad (6)$$

$$q_p = \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{\Delta f_1} \left[ \Delta F_{an} - \frac{F_{an}^2}{\Delta f_1} + \Delta F_{an}(2\pi\sqrt{2} - \pi) + \frac{7}{2} \cdot \frac{\Delta F_{an}^2}{2\Delta f_1} \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{2\Delta F_p}{\Delta F_a}\right)^2\right)\right] \right]}} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{N_0\Delta f_1}{P_{s0}}\right)}. \quad (7)$$

Анализ выражения (7) показывает, что для уменьшения влияния сигнала подсветки активного канала на качество радиометрического приема необходимо уменьшать полосу пропускания ФНЧ активной системы. На рис. 3 представлена зависимость  $q_p = \varphi(\Delta F_{an})$ . Из рис. 3 видно, что в случае приближения полосы ФНЧ к нулю отношение сигнал-шум в радиометрическом канале будет максимальным.

На рис. 4 приведена зависимость отношения сигнал-шум активного канала от изменения полосы пропускания ФНЧ канала. Хотя с уменьше-

нием полосы пропускания ФНЧ флуктуационная ошибка будет уменьшаться, это приведет к возникновению динамических искажений в активном канале, что эквивалентно появлению замираний сигнала. Поэтому, как видно из рис. 4, при выборе полосы пропускания ФНЧ активного канала необходимо стремиться к обеспечению минимальной динамической и флуктуационной ошибки.

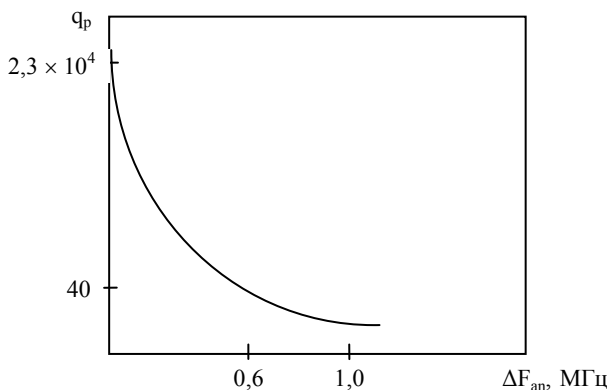


Рис. 3. Зависимость отношения сигнал-шум в пассивном канале от полосы пропускания ФНЧ активного канала

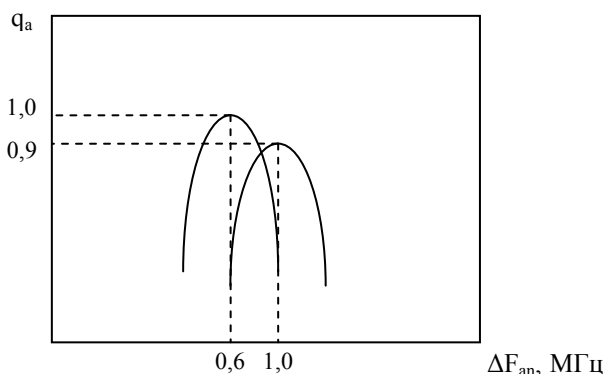


Рис. 4. Зависимость отношения сигнал-шум в активном канале от изменения полосы пропускания ФНЧ

Таким образом, полученные аналитические выражения (6), (7) позволяют оценить основной параметр РМИС ММД – отношение сигнал-шум на выходе активного и пассивного каналов, а значит влияние шумов на качество формируемого системой текущего изображения объекта.

**Экспериментальная оценка повышения информативности РМИС за счет применения активной подсветки.** В работе [7] приведены экспериментальные оценки возможности обнаружения с последующей идентификацией объектов по двумерным изображениям, формируемым с помощью сканирующего РМ датчика 8-мм диапазона. В ходе настоящей работы проведены экспериментальные исследования с целью обнаружения отдельных слабоконтрастных элементов малоразмерных объектов за счет подсветки элементов детерминированным узкополосным сигналом. В качестве источника подсветки применялись импульсные радиолокаторы 8-мм и 3-см диапазонов волн.

Радиолокатор 8-мм диапазона, хотя и обладает малой импульсной мощностью (10 – 100 мВт), но отраженная объектом мощность (всеми его элементами) на малых расстояниях (нескольких десятков метров) приводит к перегрузке динамического диапазона высокочувствительного РМ датчика 8-мм диапазона и «засветке» изображения. Данный факт позволяет сделать вывод о необходимости проведения измерений на существенно большей дальности до визируемого объекта.

Отраженный от элементов объекта сигнал радиолокатора 3-см диапазона, его третья гармоника устойчиво регистрируется РМ датчиком. При этом, как видно из рис. 5, основная часть объекта, не подсвеченная радиолокатором, имеет устойчивый отрицательный радиометрический контраст «объект – фон». Подсвеченный радиолокатором элемент объекта – ствол имеет устойчивый положительный контраст.

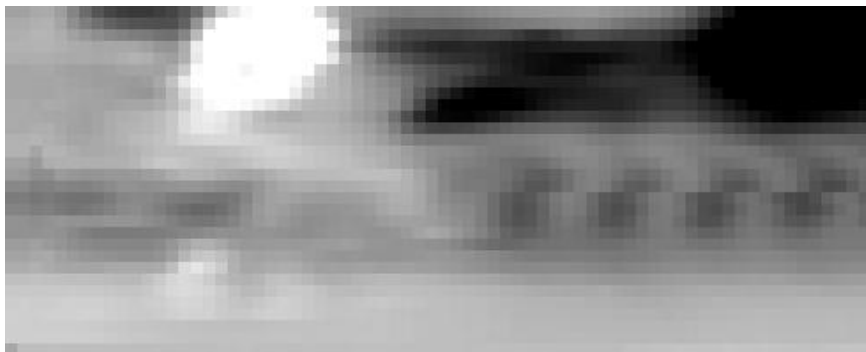


Рис. 5. Радиометрическое изображение объекта. Элемент (ствол) объекта подсвечен радиолокатором 3-см диапазона

Таким образом, проведенные измерения позволяют сделать вывод о практической возможности обнаружения с последующей идентификацией малоразмерных объектов, в том числе по отдельным элементам объектов.

**Выводы.** Анализ предложенных схмотехнических решений, полученные выражения для отношения сигнал-шум на выходе активного и пассивного каналов РМИС ММД позволяют количественно оценить работоспособность пассивного РМ канала вследствие воздействия сигнала активной подсветки. Анализ указанных выражений позволяет также предъявить требования к параметрам сигнала подсветки, при которых обеспечивается наименьшее взаимное влияние каналов.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность повышения эффективности РМИС ММД, использующих активную подсветку визируемых объектов. Следствием применения комбинированного пассивно-активного режима работы является увеличение отношения сигнал-шум на выходе системы. Для радиометрических систем формирования изображений это приводит к повышению информативности изображений, а соответственно, к увеличению дальности обнаружения и идентификации малоразмерных объектов, что в конечном итоге приводит к повышению точности местоопределения РМИС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мур Р., Уайт В., Роуз Дж. Панхроматический и полипанхроматический радиолокаторы // ТИИЭР. – 1969. – № 57. – С. 590 – 593.
2. 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.
3. Быков В.Н., Ивашов С.И., Овсянников Ю.В. и др. Повышение информативности радиометрических изображений благодаря применению шумовой подсветки // Радиотехника. – Х.: ХИРЭ. – 1997. – Вып. 101. – С. 33 – 39.
4. Тепляков И.М., Роцин Б.В., Фомин А.И., Вейцель В.А. Радиосистемы передачи информации. Под. ред. И.М. Теплякова – М.: Радио и связь. – 1982. – 264 с.
5. Макаренко Б.И., Быков В.Н., Антюфеев В.И. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации ЛА по наземным ориентирам // Арсенал XXI сторіччя. – 2002. – № 1. – С. 37 – 41.
6. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Мирошник Т.В., Радзиховский В.Н., Сотников А.М. Уплотнение каналов в многоканальных радиометрических приемниках миллиметрового диапазона волн / Радиотехника. – Х.: ХНУРЭ. – 2004. – Вып. 136. – С. 86 – 90.
7. Быков В.Н. Экспериментальная оценка радиометрической заметности малоразмерных объектов в условиях неопределенности / Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 3. – С. 11 – 17.

Поступила 4.05.2004

**БЫКОВ Виктор Николаевич**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела научного центра при ХВУ. В 1971 году окончил ХВКИУ. Область научных интересов – системы навигации летательных аппаратов, дистанционное зондирование Земли, цифровая обработка изображения.

**КОСУХИН Валерий Юрьевич**, научный сотрудник Научного центра (РВиА). В 1992 году окончил Харьковское ВВКИУ РВ. Область научных интересов – радиометрия.