

## ПУТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

*А.Б.Борзов, К.П.Лихоеденко, И.В.Муратов, Г.Л.Павлов, В.Б.Сучков*  
МГТУ им. Н.Э.Баумана

*В статье рассматриваются тенденции развития бортовых систем ближней радиолокации (СБРЛ). Приведены результаты сравнительного анализа помехоустойчивости СБРЛ в различных частотных диапазонах. Рассмотрены технологические аспекты создания перспективной СБРЛ, функционирующей в диапазоне 53..60 ГГц. Сделаны выводы о дальнейших путях совершенствования техники и технологии отечественных бортовых СБРЛ.*

### 1. Введение

С позиций системного подхода неконтактный датчик цели является информационной системой бинарного типа, формирующей исполнительные команды на основе анализа воздействий или процессов, поступающих на вход датчика по информационным каналам. К типичным процессам можно отнести сигналы электромеханических преобразователей контактного взаимодействия средств доставки с целью, временные процессы дистанционного режима и входные сигналы неконтактного датчика цели.

Датчики цели контактного и дистанционного действия хорошо изучены и проработаны. Их конструкция допускает миниатюрное и микроминиатюрное исполнение, особенно с появлением полупроводниковых акселерометров и низковольтных микропроцессоров. В случае неконтактных датчиков цели (НДЦ) проблем становится значительно больше и их решения не всегда очевидны.

По сути, НДЦ представляет собой бортовую и автономную систему ближней радиолокации (СБРЛ) в микроминиатюрном исполнении, которая работает в условиях высоких динамических нагрузок, при наличии естественных и искусственных помех при малых и сверхмалых временных ресурсах. При этом СБРЛ должно решать практически весь спектр задач, характерных для стационарных локационных систем.

Условия миниатюризации НДЦ предопределяет в большинстве случаев использование оптического информационного канала. К таким системам можно отнести НДЦ, построенных на полупроводниковых лазерах и инфракрасных излучателях. Однако эти системы имеют низкую помехоустойчивость в условиях интенсивных пыледымовых смесей, характерных для боевых условий применения. Причем эти ограничения проявляются на физическом уровне распространения энергии в пространстве и поэтому не устраняются алгоритмическими и схемотехническими решениями.

Известным выходом повышения помехоустойчивости НДЦ в условиях интенсивных естественных и искусственных помех является использование радиоволн в качестве информационного канала, что привело к появлению и широкому распространению практически на всех типах средств доставки радиотехнических НДЦ, которые можно разделить на две группы – автодинные и радиолокационные [1].

В ряде случаев допустимый объем НДЦ ограничен величиной в несколько кубических сантиметров, из которых значительную часть занимают устройства исполнительных цепей, источник питания и предохранительно-исполнительный механизм.

Поэтому, в нашей стране подавляющее большинство радиотехнических НДЦ построено на автодином принципе, при котором активный элемент передатчика (транзистор, диод, ..) по цепям управления одновременно является и приемным устройством. Использование автодина допускает максимальное упрощение и как следствие микроминиатюризацию приемо-передающего модуля (ППМ) НДЦ. Однако платой за простоту является его низкая помехоустойчивость и как следствие – низкая эффективность, поскольку автодинное построение НДЦ не позволяет обеспечить селекцию по дальности. Иными словами, прогресса в использовании радиотехнических НДЦ на автодинах ждать не приходится.

Очевидной альтернативой автодинам является миниатюризация радиолокационных НДЦ, которая в первую очередь касается его приемо-передающей части. Зарубежный опыт показывает широкое использование универсальных НДЦ с радиолокационным каналом.

Для построения действительно перспективных НДЦ необходима разработка новых и использование новейших и перспективных методов и технологий, принципов действия и алгоритмов обработки сигнала, конструкторско-технологические решения по компоновке и размещению НДЦ на борту средств доставки и ряд других. Именно конструкторско – технологические решения при создании современных НДЦ радиолокационного типа являются целью данной статьи. При этом под НДЦ с радиолокационным каналом будем понимать бортовую СБРЛ.

## 2. Проблемы повышения помехоустойчивости СБРЛ

В последнее время при проектировании СБРЛ основное внимание уделяется повышению их устойчивости к воздействию активных помех. Проблема представляется очень сложной, так как традиционные методы улучшения помехоустойчивости, связанные с использованием сложных зондирующих сигналов и специальных методов обработки отраженных сигналов в значительной мере исчерпали себя. Это связано с непрерывным совершенствованием и развитием средств радиоэлектронного противодействия потенциального противника. Так, например, в диапазоне метровых волн наземные GLQ – 3А, VLQ – 12 и переносные PLQ – 2 станции заградительных радиопомех обладают спектральной плотностью мощности помех свыше 100 Вт/МГц и могут создавать помеховый сигнал в полосе приемника СБРЛ, превышающий полезный на несколько порядков. Аналогичная ситуация наблюдается в диапазоне дециметровых и сантиметровых радиоволн, где помимо проблемы помехоустойчивости зачастую возникает проблема с электромагнитной совместимостью СБРЛ с различными радиолокационными, навигационными системами и системами связи и управления.

Поэтому перспективным представляется переход в миллиметровый диапазон волн (ММДВ), основные достоинства которого связаны с наличием в нем спектральных "окон затухания" радиоволн и возможность использования в габаритах СБРЛ направленных антенн. В отличие от метрового и дециметрового диапазонов, где затухание в чистой атмосфере не превышает 0,01 дБ/км, в ММДВ на длине волны  $\lambda=5$  мм поглощение составляет 18 дБ/км, что существенно затрудняет постановку активных помех в этом частотном диапазоне на физическом уровне.

При сравнении потенциальной помехоустойчивости СБРЛ ММДВ и автодинного НДЦ, работающего в метровом диапазоне волн, можно ограничиться рассмотрением функционирования их высокочастотных трактов в условиях активных помех.

Известно, что помеховый сигнал на входе автодина, соизмеримый с уровнем его излучаемой мощности, приводит к срыву автоколебаний, что делает проблематичным подавление помехового сигнала в его трактах обработки. Такую мощность помехового сигнала можно считать предельно допустимой, полагая, что при меньшем уровне помеховый сигнал может быть подавлен в трактах обработки СБРЛ.

Для оценки преимуществ СБРЛ ММДВ, функционирующих у земной поверхности, рассмотрим одну из возможных тактических ситуаций, при которой станция активных помех, прикрывающая позицию, располагается от нее на удалении  $D_n$ . К заданной позиции под углом  $\gamma$  приближается средство доставки СБРЛ метрового и миллиметрового диапазонов, начинающим функционировать на высоте  $H$ . Антенна СБРЛ обладает диаграммой направленности  $F_{СБРЛ}(\theta, \varphi)$  с коэффициентом направленного действия (КНД)  $G_{СБРЛ}$  и коэффициентом полезного действия  $\eta_{СБРЛ}$ . Плотность потока мощности активной помехи на входе автодина, приводящей к срыву автоколебаний и выводу из строя СБРЛ, определяется как

$$Q_n = \frac{P_n G_n F_n(\theta, \varphi)}{4\pi R^2} \cdot 10^{\alpha R/10^4}, \quad (1)$$

где  $R = H \sqrt{1 + \left(\frac{D_n}{H} + ctg \gamma\right)^2}$  - дальность до постановщика помех,  $P_n$  - мощность сигнала постановщика помех (Вт), а его антенна имеет диаграмму  $F_n(\theta, \varphi)$  и КНД -  $G_n$ ,  $\alpha$  - коэффициент затухания радиоволн в атмосфере (дБ/км).

Тогда плотность мощности помехи  $P_n$ , создающей на входе СБРЛ мощность  $P_{cp}$ , при которой нарушается функционирование СБРЛ.

$$P_n = \frac{(4\pi)^2 P_{cp} R^2 10^{\alpha R/10^4}}{G_n F_n(\theta, \varphi) G_{СБРЛ} \eta_{СБРЛ} F_{СБРЛ}(\theta, \varphi) \lambda^2}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  - длина волны в свободном пространстве.

Результаты расчетов по этому соотношению в виде зависимости  $P_n$  от дальности до постановщика помех  $D_n$  приведены на рис. 1.

При расчетах выбраны следующие значения исходных параметров: для СБРЛ метрового диапазона ( $\lambda = 1,5$  м):  $G_{СБРЛ} = 5$ ,  $\eta_{СБРЛ} = 0,2$ ,  $\alpha = 0,02$  дБ/км,  $F_{СБРЛ}(\theta, \varphi) = 0,9$ ; для СБРЛ ММДВ ( $\lambda = 8$  мм):  $G_{СБРЛ} = 30$ ,  $\eta_{СБРЛ} = 0,8$ ,  $\alpha = 0,12$  дБ/км,  $F_{СБРЛ}(\theta, \varphi) = 0,3$  и для сбрл ММДВ ( $\lambda = 5$  мм):  $G_{СБРЛ} = 30$ ,  $\eta_{СБРЛ} = 0,7$ ,  $\alpha = 16$  дБ/км,  $F_{СБРЛ}(\theta, \varphi) = 0,24$ . Предельно допустимая мощность принята равной  $P_{cp} = 10^{-3}$  Вт. КНД постановщика помех  $G_n = 10$ , а минимальная высота, на которой может быть осуществлено срабатывание СБРЛ под действием активной помехи выбрана равной  $H = 150$  м. На такой и большей высотах эффективность средств доставки практически сводится к нулю.

Нетрудно видеть, что организация активного противодействия в ММДВ даже на длине волны  $\lambda = 8$  мм чрезвычайно затруднена. В самом деле, использование переносных

станций типа PLQ с полупроводниковыми генераторами не дает заметного эффекта, так как потенциально возможный уровень излучаемой мощности (несколько десятков киловатт в импульсе) становится недостаточным уже при удалении станции на несколько сотен метров от защищаемой позиции. Наземные передвижные станции типа GLQ или VLQ становятся неэффективными для СБРЛ ММДВ при удалении от защищаемой позиции на 500 и более метров.

Следует подчеркнуть, что создание мощных генераторов с уровнем мощности в импульсе порядка 1 МВт в ММДВ вообще является проблематичным, а на длине волны  $\lambda = 5$  мм требуемая мощность помехи в зоне постановки указанных станций приблизительно на два порядка выше, чем в 8-ми миллиметровом диапазоне длин волн.

Это наглядно показывают исключительно высокую помехоустойчивость СБРЛ ММДВ в диапазоне  $\lambda=5$  мм. Организация активного противодействия в ММДВ чрезвычайно затруднена. В диапазоне частот 30...60 ГГц станции заградительных радиопомех становятся неэффективными при удалении на 500 и более метров. Воздействие естественных метеообразований повышает скрытность и помехоустойчивость СБРЛ ММДВ до 12...16 дБ/км по сравнению с чистой атмосферой.

Другие методы повышения помехоустойчивости СБРЛ ММДВ аналогичны методам, используемым в других частотных диапазонах [2]. В ММДВ также необходимо делать выбор из различных вариантов функционального построения СБРЛ, зондирующим сигналом и методом его обработки. Эти факторы, а также рациональный выбор диаграмм направленности (ДН) антенн, оказывают влияние на отношение сигнал/шум в приемнике и на точность в определении области принятия решений СБРЛ.

### 3. Технологические аспекты создания перспективной СБРЛ

Учитывая очевидное отставание уровня отечественных разработок в технологической области создания миниатюрных узлов и компонентов СБРЛ вообще и в диапазоне миллиметровых волн (ММДВ) в частности, целесообразно проводить анализ состояния элементной базы диапазона 53...60 ГГц для создания перспективной СБРЛ на примере доступных зарубежных разработок.

Традиционно, на протяжении более 30 лет узлы и компоненты устройств миллиметрового диапазона реализовывались в виде волноводных конструкций. Переход к миллиметровым волнам от дециметровых и сантиметровых позволяет существенно уменьшить габариты систем в волноводном исполнении. Однако с появлением микрополосковых

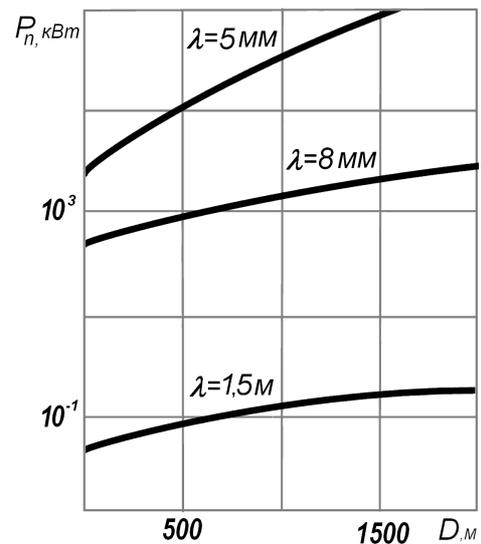


Рис. 1. Зависимость мощности помех от дальности до объекта при различных значениях  $\lambda$

технологий преимущества миллиметрового диапазона в габаритах средств доставки стало достаточно условным. Более того, применение волноводных устройств в артиллерийских системах зачастую ограничено из-за значительных перегрузок при полете. Безусловно, существуют технические решения позволяющие обеспечить прочность крепления активных элементов, но размеры волноводных устройств по-прежнему остаются большими и не позволяют реализовать малогабаритные устройства со сложными сигналами и соответствующей обработкой.

Можно сказать, что настоящей революцией в области техники и технологии ММДВ стало появление современных полупроводниковых и диэлектрических материалов, позволяющих строить микромодули, встраиваемые в микрополосковые конструкции.

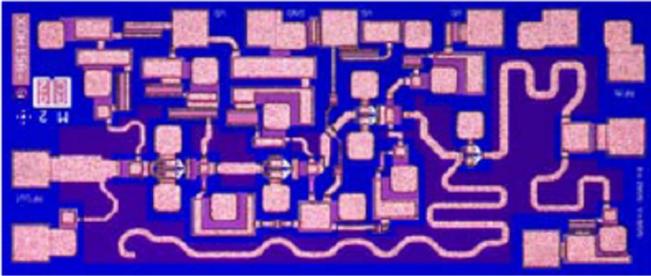
Ведущие страны мира в последнее время все больше стремятся к миниатюризации электронных устройств, в том числе и миллиметрового диапазона. При этом наблюдается концентрация производства механической части и электронной в рамках одной фирмы. Так, например, американская аэрокосмическая корпорация Nortrop Grumman в результате приобретения компании TRW стала ведущим производителем интегральных схем миллиметрового диапазона, в том числе диапазона 53...60 ГГц. В номенклатуре изделий подразделения Velocium фирмы Nortrop Grumman имеются: усилители мощности, смесители, множители частоты, внешний вид которого приведен на рис. 2, малозумящие усилители (МШУ).

В качестве примера, рассмотрим некоторые характеристики этих устройств и возможные схемы их использования в СБРЛ.

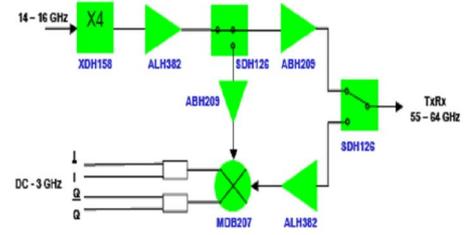
В номенклатуре изделий имеются практически все ключевые модули для построения приемно-передающей части СБРЛ, пример которой приведен на рис. 3. На этом рисунке видно, что опорный сигнал ППМ формируется в области частот 14...16 ГГц, что на сегодняшний день не является технической проблемой и также реализуется в микрополосках. В этом диапазоне частот имеется возможность построения генераторов с фазокодовой манипуляцией (ФКМ), линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) с большой девиацией частоты, шумовых и комбинированных. Заметим, что формирование сложного сигнала на сегодняшний день является одним из наиболее эффективных способов распознавания малозаметных целей на фоне подстилающих поверхностей.

В Европе лидирующие позиции в разработке и производстве интегральных схем миллиметрового диапазона занимает концерн United Monolithic Semiconductors (UMS). Этот концерн занимает лидирующие позиции по производству микроэлектронных изделий миллиметрового диапазона вплоть до частот 110 ГГц. Основными потребителями продукции являются фирмы, работающие в области вооружений, космических исследований телекоммуникаций. Наибольший интерес сточки зрения проектирования и создания СБРЛ является тесное сотрудничество UMS с THALES и EADS, мировыми лидерами по разработке электроники для СБРЛ. В кооперации с компанией Ansoft разработан пакет моделирования устройств диапазона до 60 ГГц - Ansoft Designer /Nexxim.

Основное производство концерна UMS сосредоточено в Европе в городах Ульм Германия и Орсей Франция. На основе комплектующих UMS могут быть реализованы две функциональные схемы приемопередатчиков, которые могут быть использованы в СБРЛ. По своей номенклатуре и характеристикам изделия UMS близки к характеристикам Nortrop Grumman.



**Рис. 2.** Монолитный умножитель частоты на 4. Размеры 1,8x0,8 мм.



**Рис. 3.** Функциональная схема узла ППМ микромодульного исполнения

Помимо изготовления самих микромодулей, особое место занимает технологический аспект их сборки в законченные функциональные модули. В этой области наиболее впечатляющих результатов достигли две фирмы: THALES и EADS. Информация о технологиях, используемой первой из них в доступных источниках достаточно скудна. В то же время о технологиях, используемых European Aeronautic Defence and Space Company (EADS) хорошо известно в силу двойного их применения.

В качестве основы для монтажа микромодулей и формирования необходимых пассивных структур используют, как обычные диэлектрические материалы Rogers RO 4003 и Taconic TLE95, так и специальные – Tacamplus.

Приведем характеристики этих материалов, полученные при экспериментальном тестировании фирмой EADS (табл. 1).

	TLE95	RO 4003	Tacamplus	Схема измерений
Толщина, мм	0,254	0,203	0,15	
Частота, ГГц	50	50	50	
$\epsilon$	3,11	3,6±0,1	2,17±0,02	
$\text{tg } \delta$	0,0058	0,004	0,0055	
Потери, дБ/мм	0,052	0,07	0,04	

**Табл. 1.** Характеристики специальных материалов, полученные при экспериментальном тестировании фирмой EADS

Нетрудно видеть, что специально разработанный для ММДВ материал Tacamplus имеет очень хорошие характеристики. Говорить о доступности этого материала пока рано,

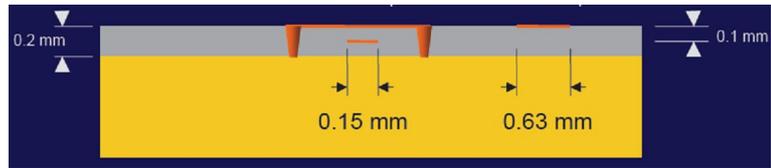
однако необходимо разрабатывать аналогичные материалы и в России. Из таблицы также видно, что приведенный для сравнения материал RO 4003 также может быть использован.

Рассмотрим более подробно новый материал, поскольку он дает представление о тенденциях и перспективах разработки полосковых и микрополосковых устройств ММДВ.

По своей структуре это металлическая пластина толщиной от 1 до 3 мм, покрытая слоем (ламинированная) Tascamplus поверх которого нанесена медная фольга. Наибольший интерес представляет технология изготовления проводящих и волноведущих структур с помощью лазера, основные операции которой приведены на рис. 4.

Металлическая пластина в основании позволяет обеспечить высокую механическую прочность и хороший теплоотвод при использовании мощных устройств.

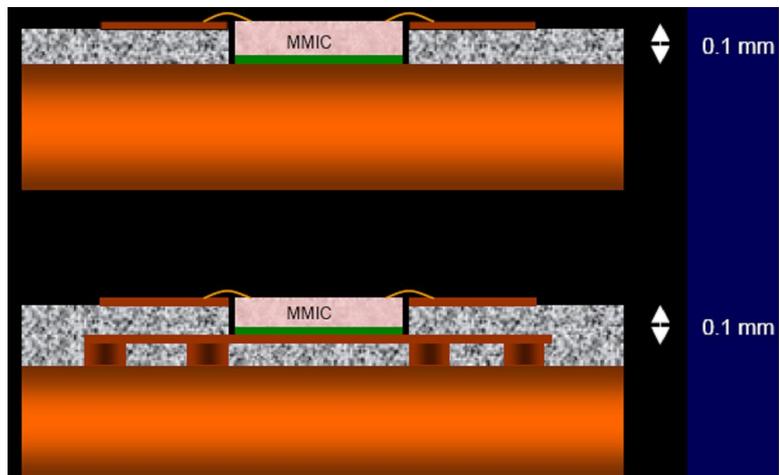
Неплохие результаты могут быть получены и с использованием RO 4003. В частности EADS в рамках проекта EURIKA использовала комбинацию подложек на RO4003 и FR4. На RO4003 смонтированы микромодуль и контактные площадки, а необходимые навесные элементы, такие как резисторы смещения и конденсаторы фильтров на плате из стеклотекстолита FR-4. Характерной особенностью является создание в одном узле СВЧ части на микромодулях и подложках RO4003 и схем питания и управления модулями на подложке FR-4. Следует обратить внимание на следующее – несмотря на малые габариты модулей – 1,2x1,0 мм расстояние между ними оказывается существенно большим – 5...10 мм. Это обусловлено тем, что без применения специальных конструктивных мер между модулями возникает паразитная связь, однако размещение каждого модуля в индивидуальном корпусе может существенно удорожать конструкцию. Безусловно, необходимо



Этап формирования полосковых и микрополосковых линий



Лазерное профилирование и формирование многослойных и объемных конструкций.



Монтаж микромодулей в микрополосковые и полосковые структуры.

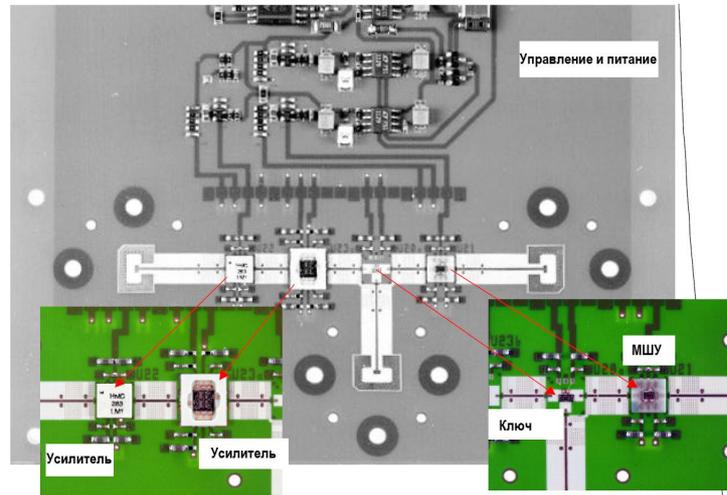
**Рис. 4.** Использование материала Tascamplus для монтажа и сборки СВЧ микромодулей.

Характерной особенностью является создание в одном узле СВЧ части на микромодулях и подложках RO4003 и схем питания и управления модулями на подложке FR-4. Следует обратить внимание на следующее – несмотря на малые габариты модулей – 1,2x1,0 мм расстояние между ними оказывается существенно большим – 5...10 мм. Это обусловлено тем, что без применения специальных конструктивных мер между модулями возникает паразитная связь, однако размещение каждого модуля в индивидуальном корпусе может существенно удорожать конструкцию. Безусловно, необходимо

тщательно отрабатывать конструкцию микромодульного устройства, в том числе использовать опыт ведущих мировых стран.

В заключение приведем конструкцию приемного узла используемого в телекоммуникациях и фазированных антенных решетках. Это модуль выполнен на материале Tascamplus и вся схема: МШУ, фильтр, схема автоматической регулировки усиления (АРУ), смеситель, усилитель промежуточной частоты (УПЧ) размещается на одной подложке. Схема питания и управления смонтирована на подложке из FR-4 и располагается в непосредственной близости от СВЧ модулей (рис. 5).

Таким образом, принципиальных трудностей при проектировании и изготовлении плат для микромодулей ММДВ нет. Есть технологические и конструктивные особенности, которые следует учитывать. И еще раз подчеркнем – необходимо соответствующее технологическое и измерительное оборудование. Наметившееся отставание в технологическом плане на сегодняшний день оценивается в 3...5 лет. В настоящее время есть кадровый потенциал, способный сократить это отставание, но нет оборудования и средств измерений. Силами НПП «Исток» в рамках различных проектов осуществляется попытка решения некоторых технических и технологических проблем при проектировании и изготовлении микромодулей. Однако эти попытки, зачастую, основаны на энтузиазме и никак не подкреплены со стороны государства.



*Рис.5. Узел приемопередатчика на комбинации подложек.*

#### 4. Перспективные направления развития СБРЛ

В предыдущих разделах мы рассмотрели тенденции развития бортовых НДЦ за рубежом. В настоящем разделе сделаем попытку спрогнозировать тенденции отечественных НДЦ. Использование спутниковых навигационных систем для отечественных систем на данном этапе и ближайшей перспективе представляется проблематичным из-за слабого развития отечественной спутниковой группировки и отсутствия приемных модулей.

Тенденция создания многофункциональных СБРЛ, аналогичных MOFA, MEDEA и других представляется разумной, поскольку позволяет унифицировать номенклатуру НДЦ. При этом использование радиолокационных НДЦ является предпочтительным, поскольку они позволяют обеспечить всепогодность, всесуточность, избирательное действие в окрестности цели (неконтактное определение высоты, дистанцию до маневрирующей цели, сторону пролета и др.). В то же время обеспечение многофункциональности неразрывно связано с взаимодействием со всеми компонентами комплекса. Целесообраз-

но до или непосредственно после пуска передавать на борт средств доставки НДЦ информацию об условиях встречи для обеспечения более полного использования возможностей бортовой аппаратуры. Следует отметить, что при наличии системы наведения эту информацию можно получать от нее, однако в ряде систем до настоящего времени и в ближайшей перспективе системы наведения не предусматриваются. Командное управление от системы управления (СУ) зарекомендовало себя, как надежный и эффективный способ управления средством доставки НДЦ.

Возникает необходимость использования полученной от СУ информации на борту средства доставки. Информация о начальных условиях встречи с целью используются НДЦ непосредственно. Решение задачи коррекции требует формирования на борту системы координат, выработки управляющих решений и исполнительных устройств. Для решения этой задачи представляется разумным, в отличие от подавляющего большинства зарубежных систем, использовать не носовую, а боковую или донную компоновку НДЦ, что позволяет сориентировать антенны в направлении СУ, разместить средства управления и обеспечивает больший объем под аппаратуру и источник питания.

Очевидно, что размещение всей перечисленной аппаратуры возможно лишь при условии ее микроминиатюризации, в том числе СВЧ части СБРЛ. Средства обработки также целесообразно выполнять на основе интегральных схем высокой степени интеграции – заказных базовых матричных кристаллов. При этом отработку алгоритмов можно выполнять с помощью ПЛИС, что также является мировой тенденцией.

Долгое время считалось, что использование интегральных схем (ИС) в СБРЛх неприемлемо из-за значительных перегрузок. Однако мировой опыт свидетельствует об обратном. Интегральные схемы успешно применяются фирмой «Vofogs» вплоть до до 100000 единиц перегрузки. То есть проблема, как и с микромодулями СВЧ, упирается в необходимость развития обеспечивающих технологий.

Резюмируя доступную информацию о современных и перспективных СБРЛ следует отметить следующее:

- современная СБРЛ должна быть многорежимной и как следствие – многофункциональной;
- СБРЛ должна быть построена по многомодульному принципу, что позволяет решать вопросы его рационального конструктивного построения, компоновки и как следствие позволяет значительно повысить его эффективность при снижении стоимости;
- широкое использование миниатюрных компонентов СВЧ-модулей, а также модулей обработки сигналов и устройств принятия решения позволяет значительно снизить габариты СБРЛ при одновременном качественном повышении его функциональных возможностей;
- необходимость комплексирования СБРЛ с системой управления и с другими бортовыми информационными системами;
- использование цифровой обработки сигналов, реализованной на специализированных ПЛИС, позволяет производить модернизацию алгоритмов обработки СБРЛ.

В нашей стране к числу многофункциональных СБРЛ при работе по низколетящим целям относятся автодинные СБРЛ, особенностями которых являются:

- использование свёрхрегенеративного выходного каскада, работающего одновременно на приём и передачу;
- рабочий диапазон частот 0,1 – 1,0 ГГц (метровый и дециметровый);
- работа только на одну антенну, т.е. функционально и конструктивно невозможно обеспечить разнесённую схему приёма – передачи;
- тип антенны несимметричный вибратор с широкой диаграммой направленности и низким коэффициентом направленного действия (КНД) и как следствие – сложность согласования области принятия решений с областью эффективного действия носителя СБРЛ;
- невозможность поляризационной селекции целей;
- единственный информативный параметр - амплитуда доплеровского спектра входного сигнала СБРЛ;
- отсутствие возможности прямого измерения дальности до цели и как следствие - значительные технические трудности реализации селекции целей по дальности, а для малозаметных целей - вообще не реализуема;
- низкая помехоустойчивость и помехозащищённость как на "физическом" (за счёт условий распространения радиоволн), так и на функциональном (устройства обработки сигналов) уровнях.

С другой стороны его низкая стоимость, вследствие максимальной простоты конструкции и отработанной технологии проектирования и массового изготовления в сочетании с малыми габаритами, достижимыми для современного отечественного уровня развития технологий делают эти СБРЛ широко распространёнными при работе по низколетящим целям.

Поэтому облик перспективной СБРЛ при работе по маловысотным маневрирующим аэродинамическим целям с низкой отражающей способностью и высокой живучестью должны определять следующие основные группы характеристик:

1. Многорежимность, что позволяет эффективно ее использовать по различным типам целей и в составе различных систем.
2. Наличие помехоустойчивого и помехозащищённого радиолокационного канала, позволяющего осуществлять помимо традиционной частотной селекции поражаемых целей пространственно-временную, а в перспективе и поляризационную селекцию малозаметных аэродинамических целей в условиях подстилающих поверхностей и фонов.
3. Иметь малые габариты, низкую стоимость, высокую технологичность и надёжность.

По результатам сравнения автодинных НДЦ и радиолокационных НДЦ предлагаются следующие технические решения, направленные на повышение характеристик перспективной СБРЛ:

1. Вместо автодинного использовать гетеродинное функциональное построение

СБРЛ, позволяющее более чем на два порядка повысить чувствительность его приёмного устройства и использовать любой тип модуляции зондирующего сигнала.

2. Вместо метрового, дециметрового и сантиметрового диапазонов радиоволн, традиционно используемых во всех типах СБРЛ, использовать миллиметровый диапазон радиоволн (ММДВ) в окне их интенсивного затухания 54-58 ГГц.
3. Использование направленных антенн, диаграммы направленности которых согласованы с областью эффективного действия носителя СБРЛ.
4. Использование когерентной обработки входных сигналов СБРЛ, позволяющей эффективное подавление некоррелированных помех при накоплении сигнала и как следствие повышать помехоустойчивость СБРЛ вплоть до потенциальной.
5. Возможность многоканального разнесённого способа функционального построения входных трактов СБРЛ.

К числу основных факторов сдерживающих создание такой СБРЛ следует отнести два: первый технологический в области создания и производства СВЧ узлов и компонентов и второй методический в части недостаточного развития средств проектирования, разработки и испытаний СБРЛ ММДВ.

### Литература

1. Коган И.М. Проектирование радиовзрывательных устройств. -М.-МВТУ им. Н.Э.Баумана.-1964.-228с.
2. Максимов М.В. Защита от радиопомех.-М.- "Советское радио".-1976.-496с.