

# Многофункциональная бортовая радиолокационная система для беспилотного летательного аппарата

**И.А. Соколов**

к.т.н., генеральный директор  
ОАО «НИИ Микроприборов  
им. Г.Я. Гуськова»,

**Д.Ю. Скичко**

начальник лаборатории,  
ОАО «НИИ Микроприборов  
им. Г.Я. Гуськова»

## Обзор близких аналогов. Обоснование метода обзора пространства

Обзор зарубежных аналогов показывает, что в номенклатуру аппаратуры наблюдения земной поверхности БПЛА среднего класса (массой около 1,5 т) и тяжелого класса (массой около 5 т) наряду с оптическими сенсорами в обязательном порядке входит многофункциональный радиолокатор.

Например, в состав БПЛА *Reaper* производства США (также известный как *Predator B*) входит РЛС *AN/APY-8 Lynx*, а в БПЛА *Heron* (Израиль) – радиолокаторы *Elta EL/M-2022U Maritime Patrol Radar* или *Elta EL/M-2055 SAR/MTI* [1].

Возможности радиолокационной аппаратуры определяются выделяемыми ресурсами по массе, габаритам и потребляемой мощности и возрастают при переходе от БПЛА среднего класса к тяжелым БПЛА.

В качестве основного метода обзора пространства применяется боковой обзор с синтезом апертуры (РСА) за счет движения БПЛА, который обеспечивает наибольшую информативность радиолокационного изображения (РЛИ). Остальные функции радиолокационной системы реализуются путем приспособления аппаратуры РСА к решению дополнительных задач. Например, при механическом развороте антенны по направлению полета возможен обзор в передней полусфере [2].

Радиолокаторы, устанавливаемые на БПЛА, могут быть как специализированными, так и универсальными. Например, упоминавшийся выше БПЛА *Heron* оснащен РСА для решения задачи мониторинга морской поверхности посредством локатора *Elta EL/M-2022U Maritime Patrol Radar*. Другие

имеют в своем составе *PCA EL/M-2055 SAR/MTI* для наблюдения суши. Техническая реализация специализированных РСА проще. Вместе с тем на ряде других БПЛА устанавливаются многофункциональные радиолокационные комплексы, обеспечивающие решение обеих задач (пример – РСА *AN/APY-8 Lynx* для БПЛА *Reaper*).

К сказанному необходимо добавить, что целевые характеристики РСА, такие как полоса обзора, пространственное разрешение по дальности и по азимуту, в решающей степени зависят от условий наблюдения (высоты полета, путевой скорости) и от качества навигационного/микронавигационного обеспечения. При этом важно отметить, что наивысшая пространственная разрешающая способность достигается при полете на малых высотах и при относительно малых дальностях до цели. Напротив, широкая полоса обзора при умеренном пространственном разрешении обеспечивается на больших высотах и максимальных дальностях. Радиолокаторов, у которых в одном и том же режиме наблюдения предельно высокая пространственная разрешающая способность сочетается с предельно широкой полосой обзора, не выявлено.

Иллюстрацией приведенного факта может служить радиолокатор с синтезированной апертурой, установленный на БПЛА *Predator*, где заявленное пространственное разрешение по дальности и по азимуту, равное 1 м, обеспечивается в полосе обзора шириной не более 800...1000 м [1].

Что касается отечественных аналогов радиолокаторов с синтезированной апертурой, устанавливаемых на беспилотные летательные аппараты, то они отсутствуют. Известные на сегодняшний день типы РСА, находящиеся на вооружении и устанавливаемые на самолеты различных типов, по своей идеологии и применяемой элементной базе соответствуют уровню разработки 70-х – 80-х годов. По массо-габаритным характеристикам и потребляемой мощности они существенно превосходят как рассмотренные выше зарубежные аналоги, так и требования к аппаратуре «МБРЛС». В то же время их целевые характеристики даже близко не соответствуют требованиям, предъявляемым к проектируемой МБРЛС.

Исходя из изложенного, многофункциональную бортовую радиолокационную систему беспилотного летательного аппарата «МБРЛС» предла-



гается создавать как универсальный радиолокатор с синтезированной апертурой, совмещающий функции наблюдения суши и моря.

## Облик МБРЛС

Многофункциональная бортовая радиолокационная система представляет собой высокодетальный многорежимный радиолокатор с синтезированной апертурой, который обеспечивает обзор слева или справа от трассы полета. Изменение относительного положения полосы обзора осуществляется посредством механического разворота антенны вдоль ее продольной оси.

Антенна размещается под фюзеляжем БПЛА в радиопрозрачном укрытии. Внутри фюзеляжа располагается приемопередающая аппаратура, которая обеспечивает формирование широкополосных зондирующих сигналов, прием отраженных сигналов и их первичную обработку. Там же устанавливается устройство управления МБРЛС.

Многорежимность изделия достигается за счет гибкости управления и рабочей конфигурации МБРЛС, оперативной смены параметров зондирующего сигнала и алгоритмов обработки отраженных импульсов, а также быстрого электронного изменения положения луча антенны в пространстве.

МБРЛС функционирует в диапазоне высот от 1 до 8 км и при скоростях полета до 300 км/ч благодаря заложенной гибкости конфигурирования и возможности оперативного изменения параметров настройки аппаратных средств. Время функционирования определяется возможностями БПЛА в части обеспечения электропитания и продолжительностью нахождения в воздухе.

Предварительная и предполетная подготовка МБРЛС сводится к автоматизированной процедуре тестирования изделия и вводу массивов исходных данных на сеансы съемки. Время подготовки изделия минимально и составляет единицы минут. Послеполетная подготовка изделия, как правило, не требуется.

## Укрупненный состав

МБРЛС состоит из двух сегментов, бортового и наземного, которые совместно обеспечивают выполнение целевых показателей системы.

В состав бортового сегмента входят:

1. Антенная система на основе активной фазированной антенной решетки (АФАР), включающая в себя печатные излучатели и приемопередающие модули.

2. Приемопередатчик, включающий устройство формирования зондирующего сигнала (УФС),

приемное устройство (ПРМ), которое осуществляет селекцию, усиление отраженного сигнала, его аналого-цифровое преобразование, буферизацию и первичную обработку.

3. Устройство синхронизации (УС), содержащее высокостабильный опорный генератор с низким уровнем фазовых шумов, синтезатор сетки частот зондирующих сигналов, гетеродинов, АЦП и т.д.

4. Управляющее устройство (УУ).

В состав наземного сегмента входит процессор синтеза РЛИ.

При выборе схемы построения изделия, когда процессор синтеза РЛИ входит в состав наземного сегмента, принимались во внимание следующие обстоятельства:

- возможность передачи радиоголограммы по радиолинии передачи данных БПЛА;
- невосприимчивость радиоголограммы к случайным канальным ошибкам при ее передаче по радиолинии передачи данных БПЛА;
- снижение массо-габаритных характеристик и потребляемой мощности бортовой аппаратуры;
- многовариантность и гибкость алгоритмов обработки РЛИ при использовании мощных наземных вычислительных средств.

Расчеты показывают, что скорость потока данных радиоголограммы, поступающий из МБРЛС для передачи по радиолинии передачи данных БПЛА, не превышает 15 Мбит/с, что находится в пределах возможностей радиолинии даже при осуществлении передачи радиоголограммы в режиме реального времени.

В теории синтеза радиоизображений по исходной радиоголограмме доказывается, что ввиду того, что РЛИ образуется путем двумерной свертки радиоголограммы с опорными функциями зондирующего и траекторного сигналов, радиоголограмма более устойчива к случайным канальным ошибкам по сравнению с передачей уже сформированного РЛИ. Даже полная потеря нескольких процентов радиоголограммы (до 20%) не приводит к заметному повреждению участков РЛИ, а лишь несколько снижает общую контрастность изображения.

Включение процессора синтеза РЛИ в состав наземного сегмента вполне очевидно приводит к снижению массо-габаритных характеристик и потребляемой мощности бортовой аппаратуры.

Возможность гибкой (в том числе автоматизированной интерактивной) процедуры синтеза и последующей обработки РЛИ исключительно важна, это определяется необходимостью планирования достаточно длительного этапа экспериментальной отработки алгоритмов и программ синтеза и интерпретации РЛИ.

## Целевые показатели МБРЛС

К целевым показателям МБРЛС относятся: частотный диапазон, поляризация зондирующего/приемного сигналов, режимы работы, пространственное разрешение по дальности и азимуту, полосы обзора по дальности и азимуту, дальность действия, эффективная площадь рассеяния (ЭПР) обнаруживаемых целей, шумовой эквивалент фона.

**Частотный диапазон.** МБРЛС работает в X-диапазоне внутри выделенного регламентом радиосвязи участка радиоспектра для радиолокационной службы, а именно 8500...10500 ГГц. Для обеспечения электромагнитной совместимости с другими системами БПЛА целесообразно ограничить диапазон работы МБРЛС участком 9300...9700 МГц. На последующих этапах предполагается рассмотреть возможность введения нескольких частотных литер внутри указанного диапазона.

**Поляризация зондирующего/приемного сигналов.** Передача и прием сигналов осуществляется на линейной вертикальной поляризации.

**Режимы работы.** Для выполнения требований ТТЗ в МБРЛС предусмотрены следующие режимы работы: «Суша», «Море», «Детальный», «Наблюдение следов надводных и подводных объектов», «Метео», «Воздух», «Обнаружение движущихся объектов».

**Пространственное разрешение по дальности и азимуту, полосы обзора по дальности и азимуту, дальность действия.** Эти показатели зависят от выбранного режима работы и определяются высотой полета БПЛА и его путевой скоростью, а также величиной отклонения траектории полета БПЛА от прямолинейной и качеством навигационного (микронавигационного) обеспечения. Ориентировочные значения для некоторых режимов при высоте полета БПЛА 8 км приведены ниже (при уменьшении высоты полета пространственное разрешение по азимуту улучшается, но при этом сокращается полоса обзора). Значения приведены для путевой скорости полета БПЛА, равной 100 м/с.

При этом условия полета и качество навигационного обеспечения должны позволять реализовывать время синтеза не менее 1 с. Показатели для остальных режимов определяются на последующих этапах после анализа характеристик систем БПЛА, сопрягаемых с МБРЛС, и уточнений требований к радиотехническим характеристикам изделия при реализации данных режимов работы.

**Режим «Суша».** Пространственное разрешение по дальности и азимуту – от 3 до 5 м в зависимости от наклонной дальности. Полоса обзора по дальности – до 30 км. Полоса обзора по азимуту подлежит уточнению и определяется возможностями системы электропитания БПЛА

и емкостью запоминающего устройства. Дальность действия – до 50 км.

**Режим «Море».** Пространственное разрешение по дальности и азимуту составляет от 10 до 20 м в зависимости от наклонной дальности. Полоса обзора по дальности – до 50 км. Полоса обзора по азимуту подлежит уточнению и определяется возможностями системы электропитания БПЛА и емкостью запоминающего устройства. Дальность действия – до 100 км.

**Режим «Суша».** Обеспечивается надежное обнаружение целей с ЭПР от 3 до 5 м<sup>2</sup> (самолет, автомобиль и т.п.). Шумовой эквивалент фона не хуже минус 20 дБ.

**Режим «Море».** Обеспечивается надежное обнаружение целей с ЭПР 20 м<sup>2</sup> (небольшой катер). Шумовой эквивалент фона не хуже минус 25 дБ.

Таким образом, МБРЛС обнаруживает все типичные классы радиолокационных целей и позволяет наблюдать участки суши и морскую поверхность при высоком отношении сигнал/шум.

## Характеристики составных частей МБРЛС

**Антенная система.** Антенная система представляет собой плоскую приемно-передающую активную фазированную антенную решетку с излучающей апертурой, состоящей из 64-х плоскочастотных излучателей и, соответственно, 64 приемно-передающих усилительных каналов (приемо-передающих модулей, ППМ). ППМ предназначены для усиления передаваемых и принимаемых радиоимпульсов до требуемого уровня с необходимым коэффициентом передачи с наименьшими искажениями (ухудшением) спектральных, временных и шумовых характеристик входных радиоимпульсов. В целом антенная система обеспечивает безынерционное электронное сканирование приемно-передающего луча в пространственном угловом конусе с осями  $\pm 20^\circ$  и  $\pm 2,5^\circ$ .

В процессе штатной работы антенное устройство взаимодействует со следующими составными частями бортового радиолокатора: устройством формирования сигнала, устройством синхронизации, приемным устройством и устройством управления.

Габариты антенного устройства составляют 0,4×1,0×0,3 м, а масса не более 40 кг без учета радиопрозрачного обтекателя (контейнера) и конструкции, которая обеспечивает механическое соединение АФАР с БПЛА и разворот антенны для работы в правой или левой полосе обзора.

В составе блоков АФАР предусмотрены встроенные телеметрические датчики (аналоговые, дискретные, температурные), позволяющие оператив-



но определять неисправность элементов антенны с точностью до сменного блока.

Антенное устройство размещается под фюзеляжем БПЛА в специальном радиопрозрачном контейнере и разрабатывается во всеклиматическом исполнении. Специальных требований по обеспечению температурного режима и защиты от конденсированных осадков со стороны систем БПЛА не требуется.

**Устройство формирования сигнала.** Осуществляет формирование радиолокационных зондирующих сигналов. Параметры сигнала зависят от заданного режима работы и условий радиолокационной съемки. Они могут оперативно изменяться по командам, получаемым из управляющего устройства.

В процессе штатной работы устройство формирования сигнала взаимодействует со следующими составными частями бортового радиолокатора: антенным устройством, устройством синхронизации и устройством управления.

**Устройство синхронизации.** Формирует высокостабильный сигнал опорного генератора с низким уровнем фазовых шумов, а также сигналы несущей частоты зондирующего радиолокационного сигнала, сигналы гетеродинов, тактовые частоты и т.д. Параметры сигналов, формируемых устройством синхронизации, могут оперативно изменяться по командам, получаемым из управляющего устройства.

В процессе штатной работы устройство синхронизации взаимодействует со следующими составными частями бортового радиолокатора: антенным устройством, устройством формирования сигнала, приемным устройством и устройством управления.

**Приемное устройство.** Осуществляет прием отраженного сигнала, его частотную селекцию, усиление, аналого-цифровое преобразование и формирование структурированного потока радиоголограммы для ее последующей передачи по широкополосной радиолинии. В зависимости от заданного режима работы характеристики приемного устройства могут оперативно изменяться по командам, получаемым из управляющего устройства.

В процессе штатной работы приемное устройство взаимодействует со следующими составными частями бортового радиолокатора: антенным устройством, устройством синхронизации и устройством управления.

**Управляющее устройство.** Обеспечивает управление составными частями МБРЛС, конфигурирование изделия для работы в различных режимах и при различных высотах и скоростях полета. Осуществляет командно-информационное взаимодействие с системой управления БПЛА, в том числе прием команд, выдачу квитанций и телеме-

трию. Организует контроль и диагностику блоков и устройств, входящих в состав МБРЛС.

Управляющее устройство обеспечивает функционирование МБРЛС в автоматическом режиме по заранее разработанной программе с возможностью оперативного изменения полетного задания, режимов работы по командам с наземного пункта управления.

В процессе штатной работы управляющее устройство взаимодействует со следующими составными частями БРЛС: антенным устройством, устройством синхронизации и устройством формирования сигнала и приемным устройством.

В составе устройства управления предусмотрены встроенные телеметрические датчики и механизмы самоконтроля и внутреннего тестирования, позволяющие оперативно определять неисправность устройства.

**Процессор синтеза РЛИ.** Осуществляет синтез РЛИ по принятой радиоголограмме с использованием навигационной/микронавигационной информации, получаемой от БПЛА. На последующих этапах предполагается введение специального режима автоматизированной интерактивной обработки с участием оператора с целью повышения информативности синтезированного радиоизображения, улучшения возможностей обнаружения и идентификации целей и определения их параметров.

Процессор синтеза РЛИ допускает гибкую перестройку для обеспечения синтеза радиоизображений во всех предусмотренных режимах съемки и при изменяющихся условиях радиолокационного наблюдения. Производительность процессора выбирается из условия синтеза изображений в масштабе времени, близкого к реальному.

Рассматриваются два основных варианта технической реализации аппаратной части процессора синтеза радиоизображения:

1. На базе специально разрабатываемого специализированного вычислителя.
2. На базе высокопроизводительных универсальных компьютеров.

Выбор варианта построения процессора синтеза радиоизображения осуществляется на этапе проектирования с учетом возможностей размещения и условий функционирования процессора в составе комплекса наземной аппаратуры.

#### *Возможное исполнение ППМ*

Для успешной реализации проекта МБРЛС необходимо использовать существующие наработки в области приемо-передающих модулей. Например, опыт разработки двухканального приемо-передающего модуля X-диапазона [3] (по одному каналу на

каждую из двух поляризаций), характеристики которого приведены в табл. 1.

Таблица 1.

**Основные технические характеристики ППМ X-диапазона**

Диапазона частот, ГГц	8,5...9,5
Коэффициент усиления приемного канала, дБ	19±1
Коэффициент шума приемного канала, дБ, не более	4
Выходная импульсная мощность, Вт, не менее	20
КСВН по входу и выходу, не более	2

Функциональная схема ППМ изображена на рис. 1. Как видно из рисунка, модуль состоит из двух приемных и двух передающих каналов, управляемых одним контроллером. Усилительные тракты в передающих и приемных каналах выполнены на основе внутренне согласованных GaAs СВЧ-микросхем. Контроллер осуществляет коммутацию питания усилителей приемных и передающих каналов, управляет коэффициентом затухания в каждом из каналов до 25 дБ с шагом 1 дБ в приемном канале и до 30 дБ с шагом 1 дБ в передающем канале, а также осуществляет подачу напряжения смещения на усилители передающего канала.

Развязка не менее 22 дБ между передающими и приемными каналами осуществляется с помощью ферритовых циркуляторов, имеющих прямые потери не более 0,4 дБ в рабочем диапазоне частот. Прием-

ный усилительный тракт построен по двухкаскадной схеме. Каждая из микросхем обладает коэффициентом усиления не менее 18 дБ и коэффициентом шума не более 1,7 дБ. Наиболее значительный вклад в результирующий коэффициент шума приемного тракта оказывают потери в циркуляторе (0,4 дБ) и защитном устройстве (1,2 дБ).

Передающий тракт построен по трехкаскадной схеме с общим коэффициентом усиления 22 дБ. С учетом мощности входного сигнала 27 дБмВт (500 мВт), потерь в сумматоре/делителе (3 дБ), потерь в циркуляторах (~1 дБ) и подводящих высокочастотных цепях и разъемах (~1,5 дБ) выходная мощность передающего канала должна составить 43,5 дБмВт, т.е. около 23 Вт. Расчетная потребляемая пиковая мощность передающего канала составляет 90 Вт, т.е. планируемый КПД составляет ~25%.

Основной проблемой при конструировании МППУ оказалась реализация достаточно малых габаритных размеров модуля (96×65×44 мм) и специфического расположения разъемов. Результатом проектирования стала трехуровневая конструкция модуля, изображенная на рис. 2.

Оконечные каскады передающих каналов и приемные каналы, а также циркуляторы, развязывающие вход приемника и выход передатчика, расположены на нижнем уровне. На среднем расположены предварительные усилители передающих каналов, аттенюаторы приемных и передающих каналов, циркуляторы, развязывающие вход передатчика и выход приемника, а также делитель/сумматор каналов. На верхнем уровне расположена плата контроллера. В результате изготовления получилась конструкция, изображенная на рис. 3 и 4.

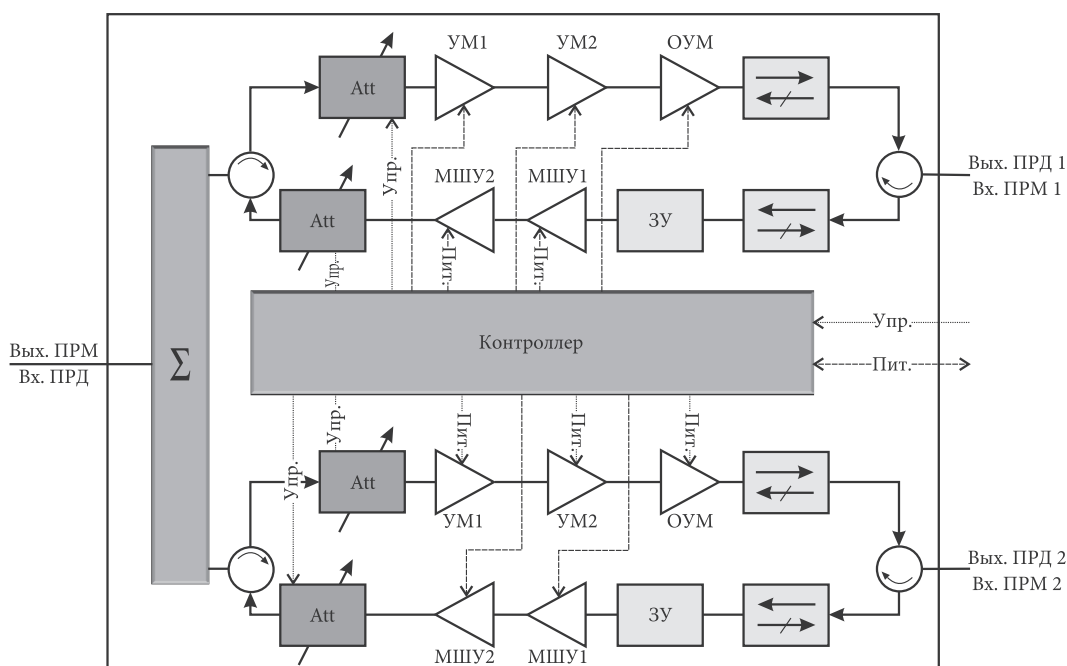


Рис. 1. Функциональная схема ППМ

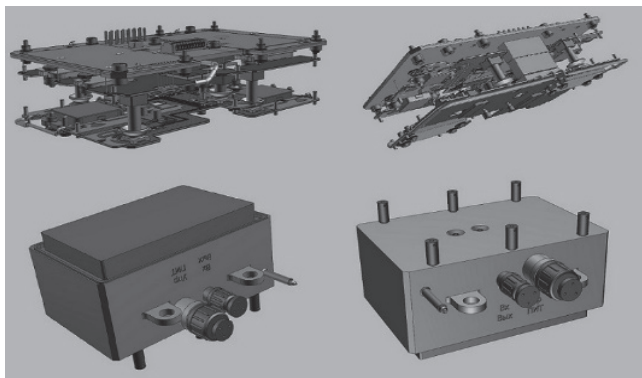


Рис. 2. Внешний вид и структура ППМ на этапе разработки

В результате проверки технических характеристик ППМ получены следующие результаты: импульсная мощность сигнала на выходе МППУ – не менее 43,3 дБмВт, коэффициент передачи приемного канала МППУ – не менее 20 дБ, коэффициент шума приемного канала МППУ – не более 4 дБ.

### Основные технико-экономические показатели

Суммарная масса МБРЛК на борту БПЛА	не превысит 50 кг
Габариты антенного устройства	не превысят 0,4×1,0×0,3 м
Суммарное энергопотребление блоков и устройств МБРЛС на борту БПЛА	не превысит 1 кВт

БПЛА должен обеспечить необходимую бортовую сеть для электропитания изделия. Номинальное напряжение питания составляет 27 В постоянного тока. Качество электропитания должно соответствовать ГОСТ Р 54073-2010. На этапе проектирования целесообразно рассмотреть вопрос обеспечения питания антенны со стороны БПЛА напряжением 48 или 60 В.

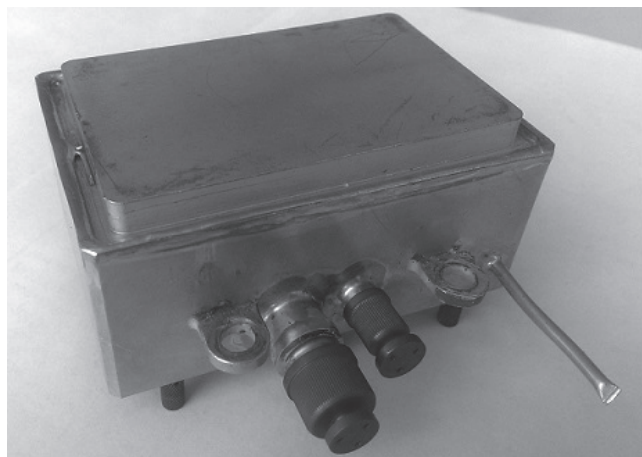


Рис. 3. Внешний вид МППУ

Стоимость одного комплекта бортового радиолокатора при серии порядка 100 изделий в год составит ориентировочно 1 млн долл. США.

Составные части изделия размещаются в негерметичных зонах БПЛА и функционируют в широком диапазоне температур. Таким образом, никаких специальных требований к обеспечению тепловых режимов МБРЛС со стороны БПЛА не предъявляется. Требования по защите аппаратуры изделия от конденсированных осадков также не предъявляются.

Радиопрозрачный контейнер (укрытие) для размещения антенны изделия входит в состав БПЛА. На этапе проектирования должны быть согласованы размеры и способ установки антенны внутри контейнера. Энергетические потери сигнала при прохождении его через стенки радиопрозрачного контейнера до цели и обратно не должны превышать 1 дБ во всем рабочем диапазоне частот МБРЛС.

Механизм крепления радиопрозрачного контейнера с установленной внутри антенной изделия, а также механическая конструкция с приводами, которая фиксирует положение антенны внутри контейнера и обеспечивает разворот антенны для радиолокационной съемки слева или справа от трассы полета, входит в состав БПЛА. Точность установки антенны МБРЛС должна быть не хуже 0,5 град.

Навигационная/микронавигационная информация обеспечивается соответствующими системами, входящими в состав БПЛА. Указанная информация должна сопровождать радиолограмму, передаваемую по широкополосной линии, и поступать в комплекс наземной аппаратуры в согласованном формате для обеспечения корректного синтеза радиолокационного изображения. Качество навигационной/микронавигационной информации и темп выдачи должны быть согласованы на этапе проектирования. После этого показатели качества синтезированного радиолокационного изображения должны быть уточнены.

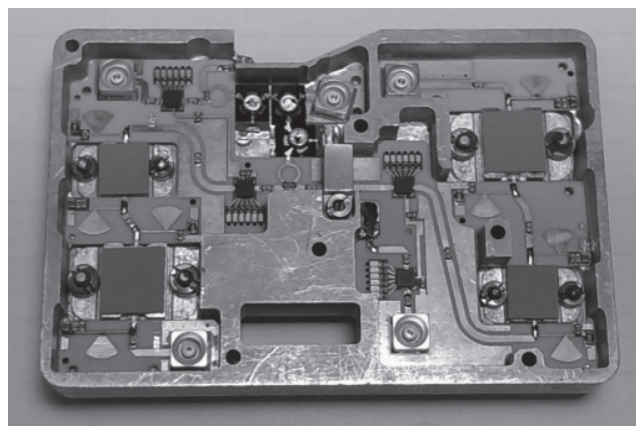


Рис. 4. Ячейка предварительного усилителя мощности

Скорость потока данных радиоголограммы, поступающего со стороны изделия в широкополосную радиолинию БПЛА, не превышает 15 Мбит/с при условии, что данные передаются «на проходе», то есть без замедления в буферном запоминающем устройстве. Если замедление в получении РЛИ относительно момента съемки допускается, то требование по скорости передачи может быть снижено. Радиолиния должна обеспечивать надежную передачу данных в комплекс наземной аппаратуры с вероятностью сбоя на символ не хуже  $10^{-5}$ .

Для аппаратуры изделия, размещаемой внутри радиопрозрачного контейнера и внутри фюзеляжа БПЛА, должно быть обеспечено удобство доступа для ремонта и замены блоков и устройств, технического обслуживания, подключения контрольно-измерительных приборов.

## Ключевые вопросы создания МБРЛС

**Обеспечение пространственной разрешающей способности по азимуту.** Как уже отмечалось, разрешение по азимуту зависит от следующих основных факторов:

- характеристики аппаратуры МБРЛС;
- траекторные нестабильности БПЛА во время радиолокационной съемки;
- качество навигационного/микронавигационного обеспечения.

Технические решения, положенные в основу разработки МБРЛС, обеспечивают достижение заданных величин пространственного разрешения. На этапе проектирования и испытаний должна быть проведена работа по определению разрешающей способности по азимуту с учетом всех вышеперечисленных факторов. При необходимости могут быть внесены изменения в алгоритмы синтеза РЛИ.

Одновременно на всех этапах работы должно быть организовано накопление и анализ экспериментальных полетных результатов для постепенного доведения целевых характеристик до заданных значений.

**Поэтапное повышение помехозащищенности.** Обеспечение помехозащищенности радиолокатора с синтезированной апертурой с высокой пространственной разрешающей способностью при сохранении целевых показателей последнего – исключительно сложная задача. Она будет решаться поэтапно от образца к образцу, начиная с оценки возможности создания необходимого резерва энергетического потенциала. Среди других возможных путей решения задачи – оперативная перестройка частоты зондирующего сигнала и закона внутриимпульсной модуляции.

## Стратегия создания и последующей модернизации МБРЛС

Учитывая сложность задачи и сжатые сроки создания и экспериментальной отработки изделия, предлагается стратегия поэтапного повышения функциональных возможностей МБРЛС с постепенным доведением целевых показателей до уровня необходимых требований.

**Этап 1.** Реализация режимов: «Суша» с пространственным разрешением порядка 3...5 м и «Море» с разрешением 15...20 м.

**Этап 2.** К режимам, реализованным на этапе 1, добавляются еще два режима, а именно: «Детальный» с разрешением 1 м и «Наблюдение следов надводных и подводных объектов». Необходимо отметить, что для реализации последнего режима необходимы данные по радиотехническим характеристикам следов надводных и подводных объектов.

**Этап 3.** Дополнительно реализуются режимы: «Воздух», «Обнаружение движущихся объектов», «Метео».

При этом введение в изделие новых режимов будет в основном касаться совершенствования программно-алгоритмического обеспечения МБРЛС и определяться степенью отработки информационного интерфейса изделия с навигационно-пилотажным комплексом БПЛА. Новые режимы будут вводиться по мере накопления и обработки экспериментального материала по результатам полетов БПЛА. Вместе с тем введение новых режимов не предполагает изменений в аппаратной части МБРЛС, так как аппаратный задел в максимальной степени должен быть создан уже на первом этапе и будет обладать достаточным потенциалом для последующих модернизаций изделия.

При таком подходе образцы изделия, принятые в штатную эксплуатацию на одном из предыдущих этапов, смогут проходить модернизацию непосредственно в пунктах их постоянного базирования без снятия с бортов БПЛА и замены блоков и устройств.

## Литература

1. V.C. Koo, Y.K. Chan, V. Gobi: A new unmanned aerial vehicle synthetic aperture radar for environmental monitoring // Progress In Electromagnetics Research. Vol. 122. 2012. P. 245–268.

2. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: «Радиотехника», 2005. – 368 с.: ил. (Сер. «Радиолокация»).

3. Соколов И.А., Скичко Д.Ю., Бац А.В.: Разработка приемопередатчика X-диапазона. «Евразийский союз ученых (ЕСУ) М. № 4. 2014.