

Конформные антенные системы – перспективное направление развития бортовых РЛК для беспилотных летательных аппаратов

Е.М. Ильин, А.И. Полубехин, А.Г. Черевко

Показано преимущество конформных антенн для решения оборонных и народнохозяйственных задач с помощью беспилотных летательных аппаратов, приведен пример дизайна конформных антенн БЛА.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, радиолокационные комплексы БЛА, конформные антенные системы, фазированная антенная решётка.

1. Введение

Комплексы с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) нашли самое широкое применение как при ведении боевых действий, так и в народном хозяйстве [1, 2].

Такие комплексы рассматриваются военным руководством развитых зарубежных стран в качестве важнейшего средства повышения боевых возможностей своих вооруженных сил. Около 50 стран мира разрабатывают или закупают комплексы с БЛА для своих вооружённых сил [3, 4, 5].

В народном хозяйстве БЛА находят широкое применение при разведке полезных ископаемых в труднодоступных районах, в чрезвычайных ситуациях при ликвидации последствий стихийных катаклизмов. Всё большее применение они находят и при борьбе с терроризмом [3, 4].

В настоящее время особенно широкое распространение получили при решении вышеназванных задач БЛА средней и малой дальности [5, 6].

Такое разнообразие применения БЛА требует от их создателей разработки большого многообразия целевых нагрузок-датчиков: видеокамер, многоспектральных приёмников ИК-диапазонов, многодиапазонных средств радиотехнической и радиолокационной разведок и др.

Учитывая, что грузоподъёмность БЛА средней и малой дальности такого назначения невелика (до 150 – 200 кг), возникает актуальная задача существенного снижения массогабаритных показателей их целевых нагрузок.

Существующие комплексы с БЛА преимущественно оснащаются оптическими (в видимом и ИК-диапазонах) средствами, недостатки и достоинства которых по сравнению с радиолокационными средствами широко известны [5]. При этом задача реализации малых массогабаритных параметров достаточно просто решается в видимом и ИК-диапазонах, а наибольшие трудности возникают при разработке многодиапазонных бортовых РЛК из-за наличия в их составе антенных систем, масса и габариты которых определяются используемым частотным диапазоном [7].

2. Многодиапазонные бортовые радиолокационные комплексы БЛА

Требование многодиапазонности РЛК обусловлено тем, что в разных частотных диапазонах качество радиолокационной информации (РЛИ) зависит от вида объектов, их маскировки, погодных условий и т.п. РЛИ в разных частотных диапазонах существенно дополняет друг друга, особенно при решении большого разнообразия военных и хозяйственных задач.

Принципиально решить задачу создания многофункциональных бортовых РЛС для комплексов с БЛА различного назначения возможно за счёт применения новых радиолокационных технологий широкополосной радиолокации, а также использования нескольких режимов радиолокации, дополняющих друг друга. В отличие от существующих радиоэлектронных систем такой бортовой радиолокатор будет обеспечивать высокое разрешение за счёт синтеза апертуры антенны, а также решение целого ряда дополнительных задач на основе технологии широкополосной и многодиапазонной радиолокации, а именно:

- разведка низколетящих целей (крылатые ракеты, вертолёты, самолёты тактической авиации);
- разведка наземных целей, в том числе неподвижных;
- разведка объектов в лесистой местности, схронов, замаскированных объектов;
- мониторинг акваторий морских портов, территории боевых действий, урбанизированной местности при антитеррористических операциях;
- реализация режимов высокодетального картографирования и др.

Использование различных диапазонов длин волн позволит значительно повысить информативность и, как следствие, решить всё многообразие задач, возникающих при ведении боевых действий, проведении контртеррористических операций, народнохозяйственных задач (табл. 1).

Таблица 1. Задачи, решаемые малогабаритными многорежимными многофункциональными бортовыми радиолокационными комплексами беспилотных летательных аппаратов

Задачи, решаемые МБРЛК	РЛМ 1: Ка	РЛМ 2: X	РЛМ 3: ППЗ
Обнаружение и распознавание воздушных, наземных и наводных, селекции подвижных и неподвижных объектов		+	
Вскрытие схронов и замаскированных объектов			+
Картографирование и топографическая съёмка	+		+
Селекция наземных движущихся объектов	+	+	
Идентификация объектов	+	+	
Мониторинг акваторий морских портов, территорий боевых действий, урбанизированной местности при антитеррористических операциях	+		
Обнаружение и распознавание действий различных группировок авиации противника в условиях сложной фоноцелевой обстановки	+	+	
Создание радиолокационных барьеров в условиях сложного рельефа местности при охране гостиниц	+	+	
Обеспечение полета БЛА на малых и сверхмалых высотах	+		
Разведка «мини» БЛА, зондов и т.п.		+	

Задачи, решаемые МБРЛК	РЛМ 1: Ка	РЛМ 2: X	РЛМ 3: ППЗ
Формирование сплошного радиолокационного поля на малых и предельно малых высотах в ответственной области пространства	+	+	
Разведка полезных ископаемых			+
Обнаружение скопления людей	+		+
Обнаружение и контроль очагов экологических катастроф	+		+
Участие в поисково-спасательных операциях	+		+

Таким образом, задача создания малогабаритного многорежимного многофункционального бортового радиолокационного комплекса (МБРЛК) для БЛА, реализующего решение принципиально новых задач, является важной и актуальной. На рис. 1 приведена возможная структура такого комплекса.

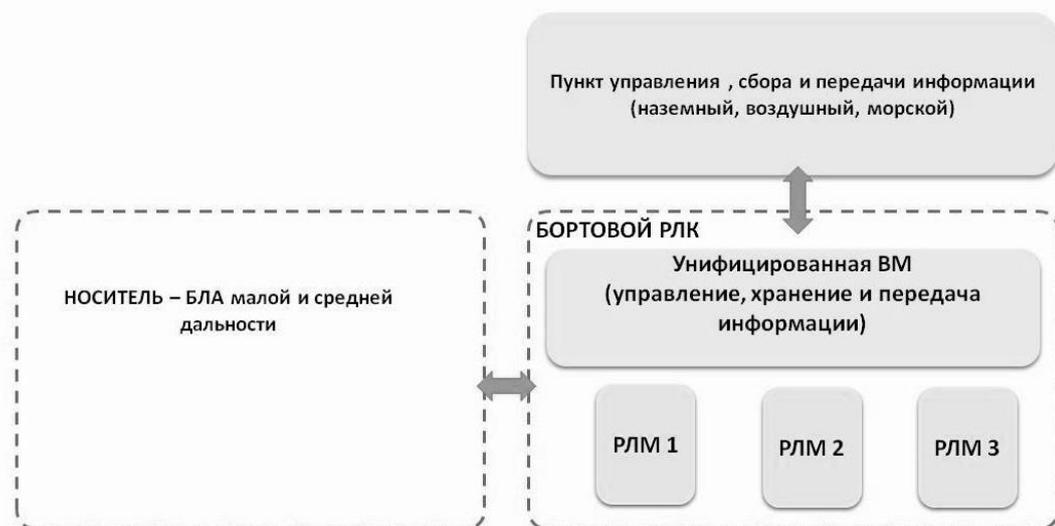


Рис. 1. Структура МБРЛК для БЛА

Возможные аналоги радиолокационных модулей МБРЛК приведены на рис. 2 и 3, а на рис. 4 – возможные варианты их компоновки на БЛА различного типа.

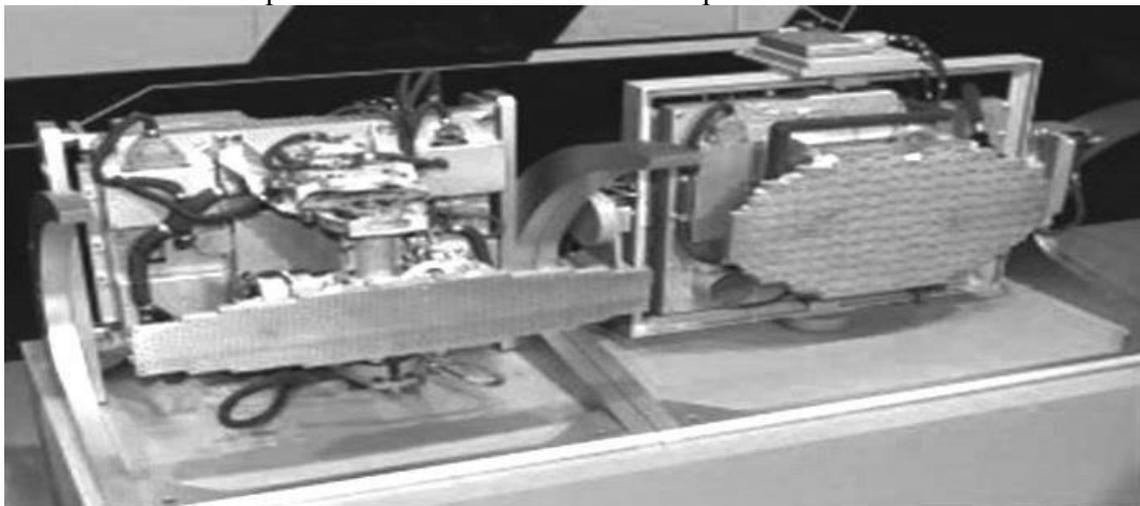


Рис. 2. Варианты модулей многодиапазонного РЛК;

слева: модуль РЛМ1 – K_a (8 мм) диапазона, масса 38 кг, габариты РЭА (Ш×В×Г) без антенны – 430×303×500 мм, высота без антенны – 303 мм, с антенной – 820 мм, полотно антенны – 520×140 мм;
справа: модуль РЛМ2 – X (3 см) диапазона, масса 32 кг, габариты РЭА (Ш×В×Г) – 700×500×500 мм

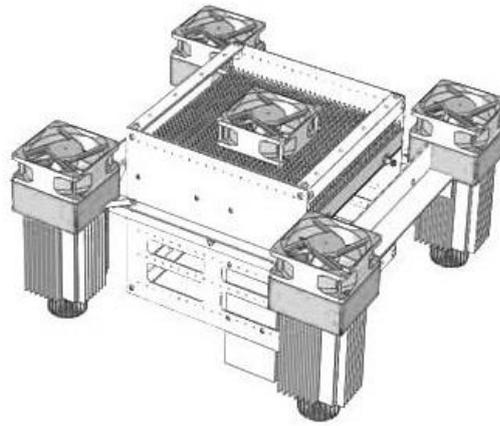


Рис. 3. Варианты модулей многодиапазонного РЛК; модуль РЛМЗ подповерхностного зондирования (ППЗ) со специальными типами зондирующих сигналов: масса с источником питания и технологическими подсистемами – не более 8 кг, габариты (Ш×В×Г) 380×380×208 мм

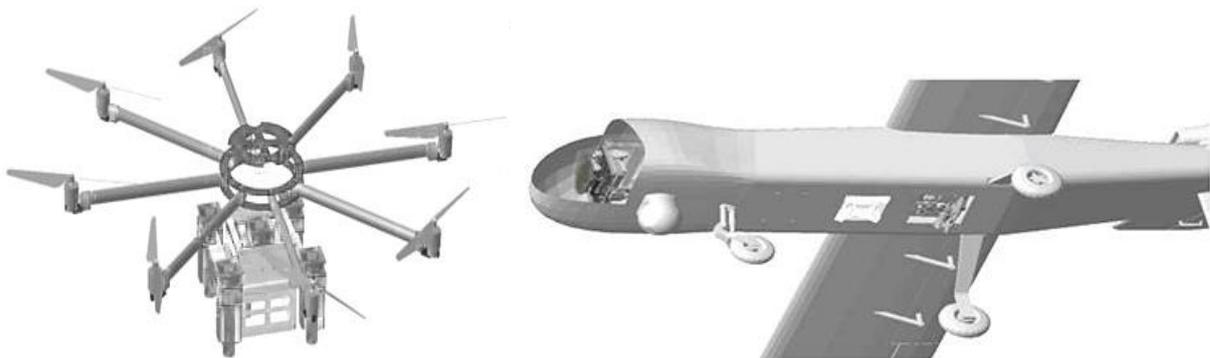


Рис. 4. Вариант компоновки радиолокационных модулей МБРЛК; слева – компоновка РЛМ подповерхностного зондирования (ППЗ) на БЛА коптерного типа, справа – интегрированный МБРЛК: РЛМ 1, РЛМ 2 и РЛМ 3 на БЛА типа «Дозор-3»

Из приведённых рисунков видно, что массогабаритные характеристики бортовых РЛС существенно ограничивают их применение и не удовлетворяют современным требованиям к комплексам с БЛА малой и средней дальности.

Предварительная схемотехническая проработка АФАР X- и Ku- диапазонов частот показывает, что для обеспечения заданных излучающих характеристик антенных решёток (больших коэффициентов направленной деятельности и узких диаграмм направленности) необходимо использовать апертуры размерами нескольких десятков длин волн. Это влечёт за собой необходимость размещения большого числа активных излучателей и приводит к существенному увеличению массы и габаритов АФАР, что не позволяет использовать такие РЛС на малых БЛА.

3. Конформные антенные системы бортовых РЛК для БЛА

С учётом возникновения целого комплекса решаемых задач становится совершенно очевидно, что назревает необходимость разработки принципиально новых радиоэлектронных средств мониторинга земной и морской поверхности, воздушной обстановки, удовлетворя-

ющих требованиям различных потребителей и не превышающих допустимых массогабаритных значений по целевой нагрузке БЛА.

В современных бортовых РЛС антенные системы по габаритам составляют примерно 20–40%, а по массе – 15–30% от массогабаритных параметров бортовой РЛС в целом.

Поэтому реализация перспективных технологий создания антенных систем даёт большие возможности по снижению массы и габаритов РЛС в целом.

Одной из таких технологий является создание и внедрение конформных антенно-фидерных устройств (КАФУ), логично вписанных в конструктив летательного аппарата [7, 8].

Аналогом таких систем могут служить гидроакустические комплексы подводных лодок, приемники которых вписаны в носовую часть и/или борт лодки.

Базисным набором для КАФУ могут служить:

- по геометрии размещения излучателей в пространстве – линейные, дуговые, кольцевые, плоские (с прямоугольной и косоугольной сетками размещения), выпуклые (цилиндрические, конические, сферические), пространственные антенные решётки;
- по способам возбуждения антенного полотна – антенны с последовательным, параллельным и комбинированным (последовательно-параллельным), с пространственным (оптическим, «эфирным») питанием;
- по закономерности размещения излучателей в решётке – эквидистантное и неэквидистантное размещение.

Форма полотна антенны, способ её «запитки» решаются в каждом конкретном случае применительно к реальной поверхности носителя в зависимости от задач РЛМ БРЛК. С помощью бортовой вычислительной машины (БЦВМ) определяются требуемые сдвиги фазы излучаемых элементами антенны сигналов с целью формирования требуемых диаграмм направленности. Изменения формы БЛА во время полёта, «болтанка» в воздухе БЛА и т.п. могут быть нейтрализованы с помощью системы микронавигации, комплексированной с БЦВМ [9].

На рис. 5 приведён один из возможных вариантов размещения на БЛА конформных антенных решёток в сравнении с традиционным исполнением антенн радиолокационных модулей МБРЛК.

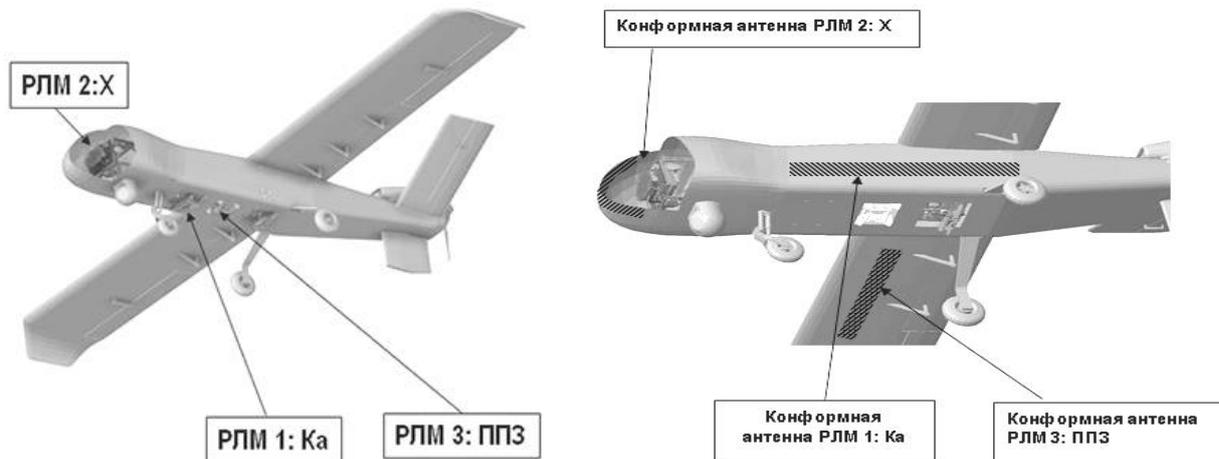


Рис. 5. Вариант размещения на БЛА конформных антенных решёток в сравнении с традиционным исполнением антенн радиолокационных модулей МБРЛК

Применительно к малым БЛА рассмотрим вариант ФАР Ka-диапазона с синтезированной апертурой размерами 115×90 мм, на которой размещены 320 управляемых излучающих элементов. Излучатели могут быть выполнены в печатном или волноводном исполнении.

Такие ФАР с представленной апертурой могут быть размещены по левому и правому борту БЛА. Такое размещение позволяет конформно вписать излучатели в обводы БЛА. Для обеспечения максимального сектора сканирования (180°) необходимо, чтобы каждый излу-

читель формировал в пространстве собственную диаграмму направленности (ДН) кардиоидного типа. Применение таких излучателей, размещённых по внутренней поверхности БЛА, приводит к сужению собственных ДН. При формировании луча в направлении, близком к плоскости решётки, происходит расширение ДН, увеличение уровня бокового излучения и, соответственно, уменьшение коэффициента усиления (КУ) антенной решётки. Таким образом, создаваемое амплитудно-фазовое распределение мощности в антенной решётке обеспечивает формирование максимально узкого луча в перпендикулярном направлении относительно плоскости решётки. При максимальном отклонении от вертикали при сканировании происходит уменьшение КУ приблизительно на 3 дБ и расширение ДН.

При размещении антенных решёток X-диапазона частот можно предложить вариант использования двух ортогонально расположенных линеек конформных излучателей. Излучатели могут быть расположены вдоль борта и крыла. При излучении синфазной мощности каждая линейка излучателей формирует в пространстве две веерообразные диаграммы, развернутые на 90° относительно друг друга и совпадающие по вектору поляризации. В направлении пересечения двух диаграмм будет сформирована суммарная диаграмма направленности.

4. Заключение

Таким образом, внедрение конформных антенно-фидерных устройств на беспилотных летательных аппаратах позволит обеспечить требуемые массогабаритные показатели целевых нагрузок беспилотных летательных аппаратов, позволяющие решить поставленные оборонные и народнохозяйственные задачи.

Литература

1. *Абшаев М. Т., Абшаев А. М., Анаев М. А., Соловьев В. В., Шагин С. И.* Многоцелевой авиационный комплекс мониторинга, предупреждения и защиты от стихийных бедствий на базе беспилотного летательного аппарата «Нарт» // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 3. С. 229–238.
2. *Полтавский А. В.* Беспилотные летательные аппараты в системе вооружения // Научный вестник МГТУ ГА. 2011. № 163. С. 163–170.
3. *Нейвинский В.* Перспективы производства за рубежом беспилотных летательных аппаратов // Зарубежное обозрение. 2009. № 11. С. 52–55.
4. *van Blyenburgh P.* UAS: The global Perspective [Электронный ресурс]. URL: http://uvs-international.org/phocadownload/01_5_Presentations_by_UVSI/101_UAS-Nordic-Conference_Norway_nov-2009_UAS--The-global-perspective.pdf (дата обращения: 14.10.2014)
5. *Austin R.* Unmanned aircraft systems. UAVS design, development and deployment. WILEY, 2010.
6. *Фомин П. М., Захаров А. В., Поздеев А. Г., Белый Ю. М.* Интеллектуальные системы обеспечения безопасности с использованием беспилотных летательных аппаратов // Вестник НЦ БЖД. 2012. Т. 15. С. 124–131.
7. *Yohandri, Wissan V., Firmansyah I., Rizki Akbar P., Sri Sumantyo J.T., Kuze H.* Development of circularly polarized array antenna for synthetic aperture radar sensor installed on UAV // Progress in electromagnetic research C. 2011. V. 19. P. 119–133.
8. *Sharawi M. S., Aloji D. N., Rawashdeh O. A.* Design and implementation of embedded printed antenna arrays in small UAV wing structures // IEE Transactions on antennas and propagation. 2010. V. 80. No. 8. P. 2531–2538.

9. *Полтавский А. В.* Метод когерентного контроля подвижных объектов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 211. С. 5–13.

Статья поступила в редакцию 14.03.2015

Ильин Евгений Михайлович

д.ф.-м.н., профессор, ведущий аналитик инновационного технологического центра комплекса научной политики МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. 8-910-433-27-89,
e-mail: evgil45@mail.ru

Полубехин Александр Иванович

к.т.н., руководитель инновационного технологического центра комплекса научной политики МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. 8-925-821-06-31, e-mail: polub1980@mail.ru

Черевко Александр Григорьевич

к.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой физики, заведующий лабораторией физических основ телекоммуникаций ФГОБУ ВПО «СибГУТИ» (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. 8-913-980-60-71, e-mail: persp14@mail.ru

Conformal antenna systems - a promising direction for the development of airborne radar complex UAVs

Eugene M. Il'yn, Alexander I. Polubekhin, Alexander G. Cherevko

The advantage of conformal antennas for defensive and economic tasks using unmanned aerial vehicles are shown. The example of the design of conformal antennas UAV is presented.

Keywords: unmanned aircraft, radar system for UAV, conformal antenna, phased array antenna.