
Прикладные задачи, решаемые антенной техникой

УДК 621.396

Принцип обзора пространства в многолучевом радиолокаторе при обнаружении малозаметных воздушных целей

© Авторы, 2017

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

И. К. Антонов – к.т.н.

E-mail: iantonov@complex-systems.biz

Рассмотрен радиолокатор, входящий в состав охранного комплекса важного объекта, предназначенный для обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Предложен принцип формирования многолучевой диаграммы направленности приемной антенны для быстрой смены кадра в широкой зоне одновременного обзора.

Ключевые слова: многолучевой радиолокатор, охранная система.

The radar as a part of the security complex for an important facility, designed for detection of small UAVs has been considered. The principle of formation of a multi-beam pattern of the receiving antenna for a quick change of the frame in the broad zone of simultaneous viewing has been offered.

Keywords: multi-beam radar, security system.

В современных конфликтах, военных и в условиях мирного времени, нарастающее значение приобретает задача предотвращения и отражения террористических угроз. Для террористов характерно применение ограниченных сил и малогабаритных переносных систем оружия, обладающих достаточной разрушительной силой для нанесения неприемлемого ущерба объектам, имеющим стратегическое значение. Опыт показывает, что целями террористических атак могут быть центры государственного и военного управления, крупные энергетические и транспортные узлы, зоны массового скопления людей и т.д. Совершенствования систем защиты от проникновения небольших групп или малогабаритных технических средств требует государственная граница.

Одним из опасных и в то же время трудно обнаруживаемых и трудно поражаемых средств террористической деятельности являются малогабаритные беспилотные летательные аппараты (БЛА) самолетного или вертолетного типа (например, квадрокоптеры). Такие БЛА малозаметны для всех средств обнаружения и наведения оружия, способны неожиданно появляться на небольших расстояниях от охраняемых объектов, перемещаются на малых и больших высотах, быстро или, наоборот, очень медленно, что особенно затрудняет их наблюдение на фоне местности. При нападении с использованием БЛА возможно их групповое применение, что особенно затрудняет организацию противодействия и предъявляет высокие требования к темпу обзора охраняемого пространства.

Эффективным средством борьбы с БЛА являются радиолокационные системы, которые обладают большой дальностью действия, слабой зависимостью от погодных условий и времени суток, высокой чувствительностью к движению цели. Однако большинство существующих РЛС не обладают характеристиками, достаточными для надежного обнаружения малоразмерных БЛА, особенно при малых скоростях их полета. Главной причиной малой эффективности РЛС является трудность разрешения противоречивых требований:

1) для обнаружения и распознавания малоскоростного БЛА необходимо относительно длительное, измеряемое десятками долями секунды, когерентное накопление сигнала от цели, фактически от каждого разрешаемого элемента охраняемого пространства;

2) необходим высокий темп обзора охраняемой зоны, состоящей из сотен и тысяч наблюдаемых элементов – на смену всего кадра изображения нельзя расходовать время более 1–2 с.

Одним из способов разрешения этого противоречия является применение многолучевых радиолокаторов, являющихся объектом рассмотрения в этой статье. Многолучевые радиолокаторы разрабатываются за рубежом и в нашей стране довольно давно. Например, в нашей стране разработана авиационная голографическая РЛС (ГРЛС) планового обзора [1–3], основанная на формировании многолучевой приемной диаграммы направленности (ДН) с помощью вдолькрыльевой антенной решетки, при длительном когерентном накоплении принимаемых сигналов. За рубежом ведутся работы, в том числе экспериментальные, по созданию как наземных, так и авиационных бортовых обзорных радиолокаторов с многолучевыми ДН. Публикации в открытой печати появились в начале 2000-х годов [4–6].

Ц е л ь р а б о т ы – рассмотреть методы обзора пространства многолучевыми РЛС, определяющие достижимые ими тактические характеристики при обнаружении малоразмерных БЛА.

Современные, а особенно перспективные, БЛА при малых габаритных размерах имеют высокую скорость, способны быстро маневрировать. Так как расстояния до рубежей начала атаки у БЛА малы и исчисляются сотнями метров, для борьбы с ними необходимо очень быстрое обнаружение и распознавание типа цели. Речь идет о требуемом времени смены кадра изображения во всем охраняемом пространстве с интервалом в доли и единицы секунд. В то же время для обеспечения надежности и своевременности реагирования желателен обзор пространства на возможно больших дальностях, лежащих в диапазоне от 5 до 20 км.

Выделим характерные особенности малоразмерных воздушных целей.

Эффективная поверхность отражения (ЭПО) БЛА зависит от его конструкции и от длины волны зондирующего сигнала λ и лежит в пределах от 0,005 до 0,5 м². Этот параметр сравним с ЭПО некоторых распространенных видов птиц, что остро ставит задачу траекторного и сигнального распознавания. Близкие значения ЭПО могут иметь метеообразования различного типа. Обнаружение столь слабых сигналов на фоне отражений от земли требует их длительного когерентного накопления, желательно в течение времени T_c в диапазоне от 0,1 до 0,5 с.

Скорость полета современных БЛА V_c лежит в диапазоне от 0 до 50 м/с (до 180 км/ч), в ближней перспективе ожидается увеличение скорости их полета до 100 м/с. Такая скорость на малых дальностях от РЛС делает возможными большие угловые перемещения цели за доли секунды. Например, если цель за секунду пролетает 50 м, это может соответствовать угловому перемещению в 6° на расстоянии 500 м от локатора, что, как правило, больше, чем угловая разрешающая способность локатора. Для успешного траекторного сопровождения и распознавания таких целей требуется смена кадра в охраняемой зоне не реже 1 с.

Высота полета БЛА, особенно квадрокоптера, может быть очень мала, составляя единицы метров. При этом при полете вблизи охраняемого объекта даже небольшие высоты полета цели $H_{ц}$, лежащие в диапазоне от 50 до 500 м, требуют угломестной (вертикальной) зоны обзора шириной от 0 до 90°. В азимутальной (горизонтальной) плоскости зона обзора РЛС охранного комплекса (или группы РЛС) должна составлять во многих случаях 360°. На рис. 1 показан типовой вид зоны обзора системы радиолокаторов, обеспечивающих работу охранного комплекса.

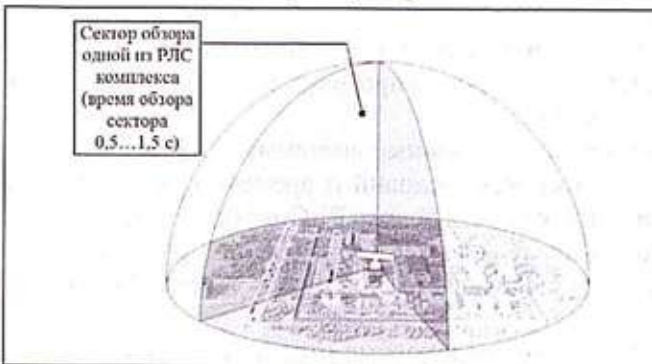


Рис. 1. Графическое представление зоны обзора системы радиолокаторов охранного комплекса

Для того чтобы фильтр, подавляющий отражения от фона, пропускал сигналы от целей, движущихся с небольшой радиальной составляющей скорости, ширина полосы его пропускания Δ_f должна быть по возможности более узкой. Характерные для охранной РЛС цели требуют полосы режекторного фильтра шириной порядка $\Delta_f = 5$ Гц, для обеспечения чего необходимо когерентное накопление принимаемых сигналов в течение $T_c = 0,2$ с. Небольшие по сравнению с другими воздушными целями скорости полета БЛА позволяют удовлетвориться требованием для РЛС макси-

мальной дальности действия $R_{\text{макс}}$ от 5 до 15 км по малоразмерным малоскоростным целям с ЭПО, не превышающей $\rho_{\text{ц}} = 0,1 \text{ м}^2$.

Многочуевой радиолокатор отличается от традиционной РЛС, прежде всего, методом организации обзора пространства, позволяющим значительно сократить время смены кадры в охраняемой зоне. Сравним эти методы обзора.

Обзор пространства однолучевой РЛС. Наблюдение контролируемой зоны в традиционной РЛС выполняется путем последовательного сканирования пространства узким лучом ДН. Пример такого обзора показан на рис. 2. РЛС, рассматриваемая в этом примере, должна контролировать зону размером $\theta_x \times \theta_y = 90^\circ \times 100^\circ$. Смотреть надо не только вверх, но и ниже уровня горизонта, если РЛС стоит на башне, поэтому ширина зоны обзора в угломерной плоскости достигает 100° . Луч ДН, имеющий угловые размеры $\theta_x \times \theta_y = 3^\circ \times 10^\circ$, движется построчно, последовательно просматривая зону обзора. Для просмотра угломерной зоны такому лучу надо пройти 10 строк (на рисунке для удобства визуализации показаны три строки). Каждая строка содержит 30 позиций луча ДН. Всего для обзора зоны необходимо просмотреть 300 позиций.

Для охранной РЛС, обнаруживающей малоскоростные БЛА, время наблюдения каждой позиции практически не зависит от энергетического потенциала локатора. Это время определяется необходимостью формировать при приеме сигналов узкополосные доплеровские фильтры, позволяющие подавлять отражения от фона местности и распознавать цели по характеру спектра сигнала.

Необходимым условием создания таких фильтров является когерентное накопление сигнала от цели (наблюдение одной позиции) в течение времени порядка $T_c = 0,2 \text{ с}$. При соблюдении этого условия время обзора всей зоны составит $T_3 = 60 \text{ с}$. Смена кадра изображения охраняемой зоны с интервалом 1 мин неприемлема для охранной РЛС. Сократить это время можно только за счет значительного расширения луча ДН, что сократит число наблюдаемых позиций. Однако такой способ приводит к ухудшению энергетического потенциала РЛС и к недопустимому ухудшению пространственной разрешающей способности.

Однолучевые РЛС по принципу своего действия требуют использования большого количества локаторов, исчисляемого десятками единиц, с узкой контролируемой зоной для обеспечения требуемого в охранном комплексе темпа обзора пространства.

Обзор пространства многочуевой РЛС. Наблюдение контролируемой зоны в многочуевой РЛС выполняется путем сканирования пространства веером лучей ДН. Пример такого обзора показан на рис. 3.

Многочуевая РЛС должна контролировать такую же зону постоянного обзора $\theta_x \times \theta_y = 90^\circ \times 100^\circ$. Система приемных лучей ДН, каждый размером $\theta_x \times \theta_y = 3^\circ \times 10^\circ$, образует одновременно просматриваемую строку шириной 90° , состоящую из 30 лучей. При сканировании каждая строка последовательно занимает 10 позиций в угломерной плоскости (на рисунке для удобства визуализации показаны три строки). Всего для обзора зоны просматриваются те же 300 позиций, что в однолучевой РЛС.

При наблюдении одной позиции в течение $T_c = 0,2 \text{ с}$ с время наблюдения строки составляет те же $0,2 \text{ с}$. В этих условиях время обзора всей контролируемой зоны составит $T_3 = 2 \text{ с}$. Интервал смены кадра изо-

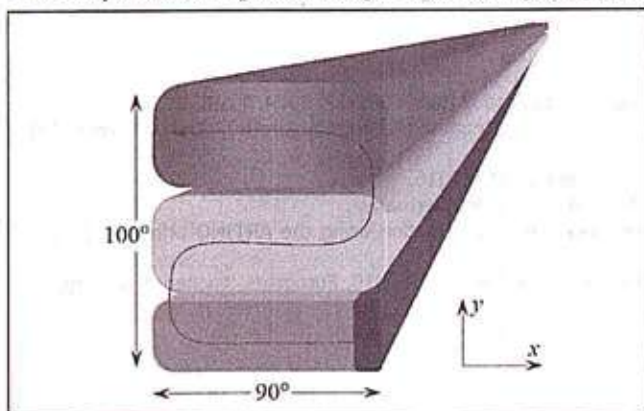


Рис. 2. Графическое представление обзора пространства радиолокатором с одним узким лучом ДН

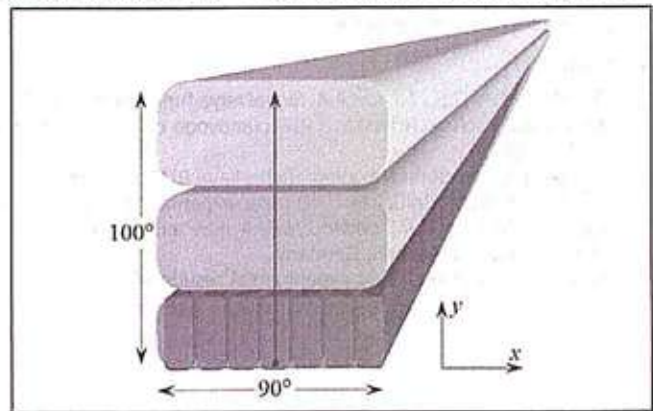


Рис. 3. Графическое представление обзора пространства радиолокатором с многочуевой ДН

бражения охраняемой зоны в 2 с значительно меньше, чем в однолучевой РЛС, такой интервал приемлем для охранной РЛС.

За сокращение времени обзора в многолучевой РЛС приходится платить увеличением требуемой мощности излучения и (или) повышением чувствительности приемников. Это связано с тем, что, хотя приемные лучи ДН в однолучевой и многолучевой системах имеют одинаковый коэффициент направленного действия (КНД), передающая антенна излучает одновременно на всю строку, то есть имеет ДН шириной $\theta_x \times \theta_y = 90^\circ \times 10^\circ$. КНД передающей антенны падает в 30 раз, соответственно в 30 раз падает плотность мощности излучаемого сигнала.

- Успешное решение задачи обнаружения, распознавания и траекторного сопровождения воздушных целей типа малоразмерный малоскоростной БЛА возможно с помощью многолучевого радиолокатора. Такой локатор формирует веер узких приемных лучей ДН в азимутальной плоскости и сканирует этим веером в угломестной плоскости. Принцип формирования многолучевой ДН обеспечивает смену кадра изображения в зоне обзора с интервалом от 1 до 2 с.

Литература

1. Кондратенков Г.С., Лавров А.А. Сигнальная функция голографического радиолокатора // Радиотехника. 1974. Т. 29. № 6.
2. Лавров А.А. Голографическая РЛС планового обзора, установленная на маловысотном летательном аппарате // Радиотехника. 2014. № 7. С. 21–26.
3. Лавров А.А. Авиационная голографическая РЛС планового обзора. М.: Радиотехника. 2016.
4. Weiß M., Gilles M. Initial ARTINO radar experiments // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen, Germany.
5. Klare J., Brenner A.R., Ender J.H.G. A new airborne radar for 3D imaging – Image formation using the ARTINO principle // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen, Germany.
6. Klare J., Saalman O. First experimental results with the imaging radar MIRA-CLE X // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen, Germany.

Поступила 23 января 2017 г.

Principle of space surveillance used in the multi-beam radar for detection of stealth air targets

© Authors, 2017

© Radiotekhnika, 2017

I. K. Antonov – Ph.D. (Eng.)

E-mail: iantonov@complex-systems.biz

The article considers multi-beam radars that enable to increase the detection performance and surveillance speed upon detection of low-speed small size aerial targets of "unmanned aerial vehicle" (UAV) type while the radar is an integral part of a critical site security system. These radars form a fan of narrow reception beams of the directional pattern in the azimuthal plane and scans with this fan in the elevation plane. This mode provides a change of the image frame in the surveillance coverage with an interval up to 2 sec at the zero to almost 90 degrees size of the zone of one radar constant surveillance in the elevation (vertical) plane. Detection range of targets with an effective reflection surface of 0,005 to 0,5 m² reaches 15 km.

Detection, recognition and trajectory tracking of weak signals reflected from UAVs on the ground scatter require long coherent gathering of these signals. Multi-beam radars provide desirable time of gathering T_c that falls in the range of 0,1 to 0,5 sec, while high rate of surveillance is maintained.

References

1. Kondratenkov G.S., Lavrov A.A. Signal'naya funkciya golograficheskogo radioiokatora // Radiotekhnika. 1974. Т. 29. № 6.
2. Lavrov A.A. Golograficheskaya RLS planovogo obzora, ustanovlennaya na malovysotnom letatel'nom apparate // Radiotekhnika. 2014. № 7. С. 21–26.
3. Lavrov A.A. Aviacionnaya golograficheskaya RLS planovogo obzora. М.: Radiotekhnika. 2016.
4. Weiß M., Gilles M. Initial ARTINO radar experiments // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen, Germany.
5. Klare J., Brenner A.R., Ender J.H.G. A new airborne radar for 3D imaging – Image formation using the ARTINO principle // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen, Germany.
6. Klare J., Saalman O. First experimental results with the imaging radar MIRA-CLE X // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen, Germany.

УДК 621.396

Структура и базовые характеристики многолучевого радиолокатора охранного комплекса

© Авторы, 2017

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

И. К. Антонов – к.т.н.

E-mail: iantonov@complex-systems.biz

Рассмотрены примеры структуры радиолокатора с многолучевой приемной антенной системой, входящего в состав охранного комплекса важного объекта. Приведены примеры параметров приемного и передающего тракта многолучевой радиолокационной системы.

Ключевые слова: многолучевой радиолокатор, охранная система.

Examples of the structure of the radar with multi-beam antenna system as a part of the important subject security complex have been considered. Examples of parameters of the reception path and transmission path of the multi-beam radar have been given.

Keywords: multi-beam radar, security system.

Актуальным направлением совершенствования радиолокационных систем (РЛС), входящих в состав комплексов защиты важных объектов от нападения с применением малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, является использование РЛС с многолучевыми приемными антеннами [1]. Принцип обзора пространства в такой РЛС описан в [2]. Главным достоинством многолучевой РЛС является возможность обеспечить длительное когерентное накопление отраженного от цели сигнала при быстром (единицы секунд) времени обзора широкой контролируемой зоны. Большое время когерентного накопления позволяет сформировать в приемных каналах узкополосные (с шириной полосы в единицы Гц) доплеровские фильтры и осуществить эффективную селекцию слабых отраженных от целей сигналов на фоне мощных отражений от подстилающей поверхности.

В настоящей статье описан один из возможных вариантов структуры и параметров многолучевой РЛС, предназначенной для обнаружения малоскоростной малозаметной воздушной цели.

Основными устройствами многолучевой РЛС, показанной на рис. 1, являются длинная в азимутальной (горизонтальной) плоскости приемная фазированная антенная решетка (ФАР) и пространственно разнесенный с ней нагруженный на собственную ФАР передатчик.

Разнесение приемника и передатчика в разные, конструктивно независимые блоки необязательно, но желательно. Такое разделение обеспечивает условия для создания более чувствительного приемника, упрощает и удешевляет конструкцию РЛС в целом, облегчает реконфигурацию многолучевой РЛС для работы в различных охранных комплексах.

ПРД формирует диаграмму направленности (ДН), постоянно облучающую строку шириной до $\theta_x = 90^\circ$ и высотой θ_y , от 10° до 40° . Эта строка неподвижна в азимутальной плоскости и сканирует в угломестной (вертикальной) плоскости, последовательно перекрывая всю зону обзора.

ПРМ формирует веер узких, шириной θ_x от 1° до 5° , приемных лучей, неподвижных в азимутальной плоскости. Число лучей K в зависимости от ширины контролируемой зоны и требуемой разрешающей способности составляет от 10 до 90. Зона облучения этого веера и электронное сканирование в угломестной плоскости синхронны со сканированием ДН ПРД.

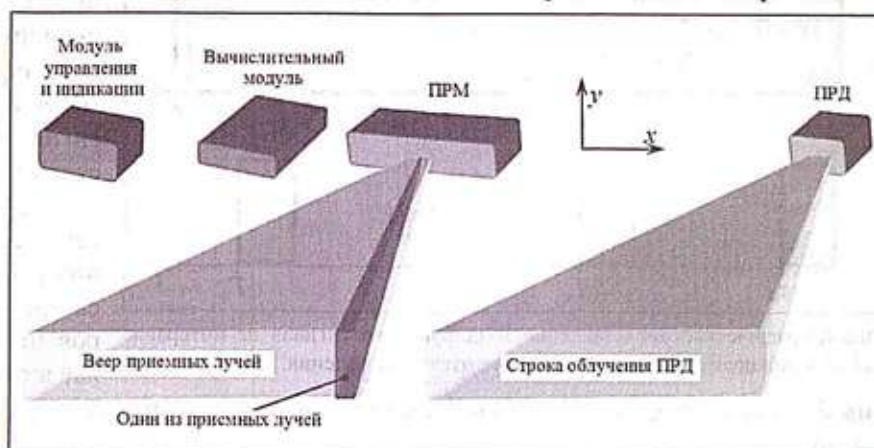


Рис. 1. Структура многолучевой РЛС охранного комплекса

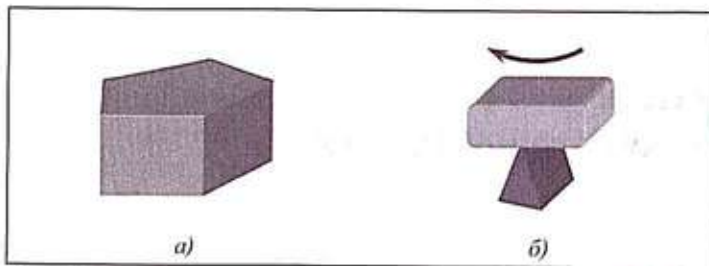


Рис. 2. Варианты организации кругового обзора многолучевыми радиолокаторами: а – «башня»; б – механическое сканирование

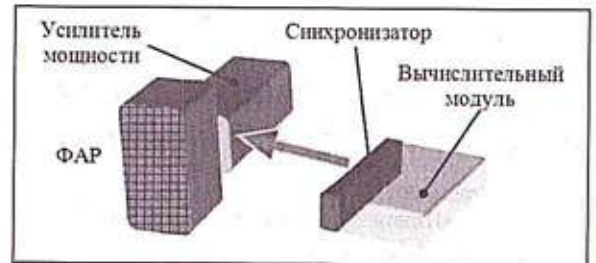


Рис. 3. Аппаратура формирования зондирующего сигнала

Вычислительный модуль обеспечивает: управление сканированием приемной и передающей ДН; формирование зондирующего сигнала и синхронизацию всех сигналов; цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразование сигналов; цифровое формирование приемных ДН; первичную обработку сигналов, в том числе их когерентное накопление; частично, вторичную обработку сигналов.

Модуль управления и индикации обеспечивает: трансляцию команд оператора и индикацию; интеграцию многолучевых РЛС в охранный комплекс; частично, вторичную обработку сигналов.

При обзоре круговой охраняемой зоны $\theta_x \times \theta_y = 360^\circ \times 100^\circ$ создается комплекс разнесенных по территории объекта многолучевых РЛС либо «башня». Эти варианты показаны на рис. 2.

Система наблюдения, состоящая из одного радиолокатора с механическим сканированием многолучевой ДН, используется для удешевления системы, однако при этом время смены кадра в контролируемой зоне возрастает. Кроме того, механическое сканирование снижает надежность РЛС при постоянной длительной работе.

Передатчик. Устройства, формирующие и излучающие зондирующий сигнал в многолучевой РЛС, показаны на рис. 3.

Входящий в состав вычислительного модуля синхронизатор управляет сканированием ДН в угломестной плоскости и вырабатывает форму зондирующего сигнала. Структура зондирующего сигнала показана на рис. 4. На интервале времени наблюдения цели T_n , то есть в одном положении ДН при сканировании по углу места, излучается одна или несколько пачек зондирующих импульсов длительностью T_c каждая, с различными частотами повторения (ЧП) для раскрытия неоднозначности принимаемых сигналов по дальности (на рисунке изображены две пачки).

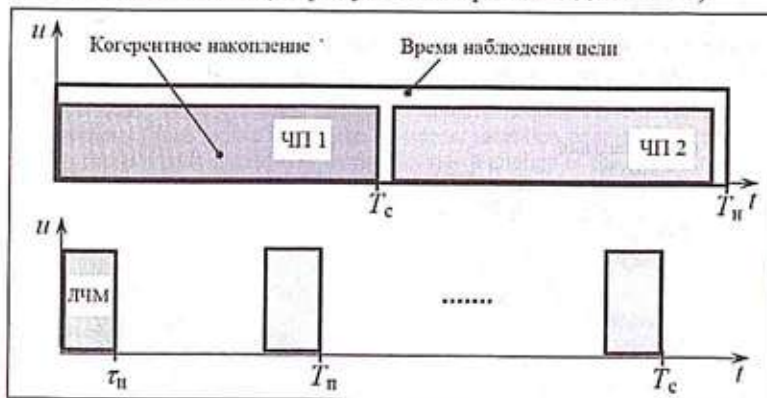


Рис. 4. Графическое представление зондирующего сигнала на интервале наблюдения цели и на интервале когерентного накопления

ния $\lambda = 10$ см. Здесь и везде далее приводится эффективный размер антенны, рассчитываемый как $d = \lambda / \Theta$.

Приведем перечень параметров передатчика:

размер антенны $d_x \times d_y = 2 \times 0,6$ м;

импульсная мощность излучения $P_n = 1,5$ кВт;

средняя мощность излучения $P_{cp} = 28$ Вт;

частота повторения зондирующих импульсов $F_n = 12,5$ кГц ($T_n = 80$ мкс);

В течение времени накопления T_c излучается последовательность когерентных импульсов длительностью τ_n , следующих с периодом T_n , то есть с частотой повторения $F_n = 1/T_n$. Импульсы имеют ЛЧМ или ФКМ модуляцию для сжатия сигналов по дальности, коэффициент сжатия равен M .

Для ориентирования в возможном техническом облике многолучевой РЛС при работе в составе охранного комплекса приведем варианты значений параметров передатчика и зондирующего сигнала, возможные при длине волны излуче-

скважность зондирующего сигнала $Q = 54$;
 время когерентного накопления $T_c = 0,2$ с;
 длительность зондирующего импульса $\tau_{\text{и}} = 1,5$ мкс;
 коэффициент сжатия ЛЧМ $M = 22,5$.

Приемная система. Возможны различные варианты технической реализации приемной системы (ПРМ), рассмотрим два наиболее характерных из них.

В а р и а н т 1. Цифровое формирование диаграммы направленности.

Структура ПРМ для этого варианта представлена на рис. 5. Антенная решетка включает в себя не менее двух горизонтальных приемных линеек для сканирования в угломестной плоскости, каждая линейка состоит из K_a приемных элементов, нагруженных на маломощные усилители (МШУ). Блок сканирования, включающий управляемые фазовращатели, предназначен для сканирования ДН в угломестной плоскости. Блок приемников состоит из K_a субблоков (приемных каналов), переводящих принимаемые сигналы на промежуточную частоту и усиливающих их. АЦП, стоящие в каждом приемном канале, могут конструктивно располагаться как в блоке приемников, так и на входе вычислительного модуля.

Диаграммообразующая схема (ДОС) формирует цифровым методом в азимутальной плоскости веер приемных ДН, число которых K может быть меньше, больше или равно K_a .

Блок первичной обработки выполняет сжатие принимаемых сигналов по дальности, формирование каналов дальности и когерентное накопление принимаемых сигналов.

Достоинством цифрового варианта формирования ДН является возможность гибкого управления приемными диаграммами, в том числе возможность подавлять уровень боковых лепестков и формировать нули в направлении на мощные помеховые источники. Недостаток – число приемников равно числу приемных элементов в антенной линейке и может превышать число формируемых лучей ДН, что удорожает систему и увеличивает уровень суммарного внутреннего шума.

В а р и а н т 2. Формирование ДН электродинамической системой

Структура ПРМ в этом варианте представлена на рис. 6. Антенная решетка включает в себя не менее двух горизонтальных приемных линеек для сканирования в угломестной плоскости. Каждая линейка является электродинамической системой типа линзы Люнеберга или линзы Ротмана и формирует веер из K приемных лучей ДН. Выходы формирователя лучей ДН нагружены на МШУ.

Блок сканирования, включающий управляемые фазовращатели, предназначен для сканирования ДН в угломестной плоскости.

Блок приемников состоит из K субблоков (приемных каналов), переводящих принимаемые сигналы на промежуточную частоту и усиливающих их. АЦП, стоящие в каждом приемном канале, могут конструктивно располагаться как в блоке приемников, так и на входе вычислительного модуля. В схеме приема сигналов отсутствует ДОС, работающая по принципу цифрового формирования ДН. Сигналы с выходов приемников поступают в блок первичной обработки, аналогичный блоку, используемому в варианте с цифровым формированием ДН.

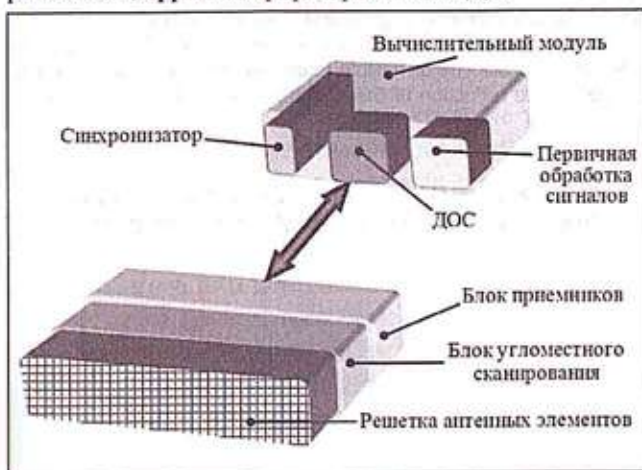


Рис. 5. Структура ПРМ многолучевой РЛС при цифровом формировании ДН

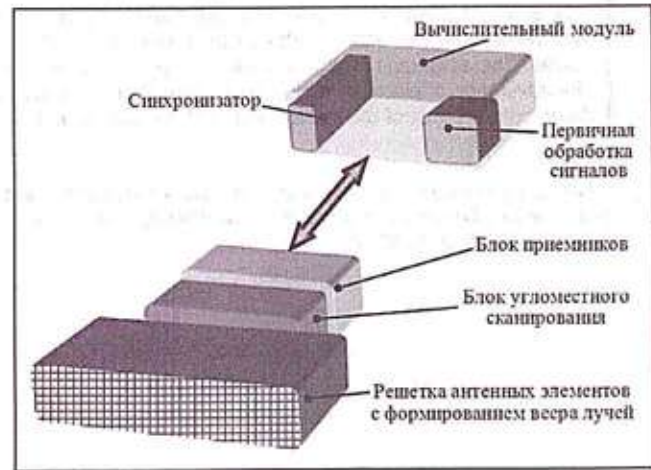


Рис. 6. Структура ПРМ многолучевой РЛС при формировании ДН электродинамической системой

Достоинством варианта формирования ДН электродинамической системой является сокращение числа приемников и отсутствие ДОС, что удешевляет систему и снижает уровень суммарного внутреннего шума. Недостатки – невозможность управления ДН в азимутальной плоскости и технологические трудности при обеспечении стабильных параметров, особенно для диаграмм с большим числом приемных лучей.

Для примера приведем вариант параметров антенной системы многолучевой РЛС охранного комплекса. В диапазоне зондирующего сигнала $\lambda = 10$ см размер приемной антенны в обоих вариантах формирования веера приемных ДН составляет $d_x \times d_y = 200 \times 60$ см, число приемных антенных элементов в строке $K_n = 40$, число формируемых в веере лучей зависит от требуемой зоны обзора по азимуту и при ее ширине 90° составляет $K = 30$, ширина приемного луча равна $\Theta_x \times \Theta_y = 3^\circ \times 10^\circ$.

- Актуальным направлением совершенствования радиолокационных систем, входящих в состав комплексов защиты важных объектов от нападения с применением малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, является использование РЛС с многолучевыми приемными антеннами. Такой локатор формирует веер узких приемных лучей ДН в азимутальной плоскости и сканирует этим веером в угломестной плоскости. Основными устройствами многолучевой РЛС являются передатчик, нагруженный на ФАР, разнесенное с ним приемное устройство с цифровым или электронным формированием многолучевой ДН ФАР, вычислитель, выполняющий синхронизацию и обработку принимаемых сигналов.

Литература

1. Klare J., Saalman O. First experimental results with the imaging radar MIRA-CLE X // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen, Germany.
2. Антонов И.К. Принцип обзора пространства в многолучевом радиолокаторе при обнаружении малозаметных воздушных целей // Антенны. 2017. № 3. С. 49–52.

Поступила 23 января 2017 г.

Structure and basic characteristics of multi-beam radar for security complex

© Authors, 2017

© Radiotekhnika, 2017

I. K. Antonov – Ph.D. (Eng.)

E-mail: iantonov@complex-systems.biz

Versions of the structure and an example of the basic characteristics of multi-beam radar as a part of a critical site security system for the case of invasion with small-size UAVs are given. The main advantage of a multi-beam radar is the ability to provide long-term coherent gathering of the signal reflected from the target with rapid, of a few seconds, time of the surveillance of the wide surveillance area. Long coherent gathering time allows to form narrowband, a few Hertz bandwidth, Doppler filters in the receiving channels, and implement an effective selection of weak signals reflected from targets on the strong ground scatter reflection. Two versions of the receive path construction with digital and electrodynamic formation of multi-beam receive angular pattern discussed. The advantage of digital version of angular patterns formation is the possibility of flexible management of receive diagrams. The advantage of electrodynamic system formation of an angular pattern is the reduction of the number of receive channels that reduces both the cost of the system and the total internal noise.

References

1. Klare J., Saalman O. First experimental results with the imaging radar MIRA-CLE X // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen, Germany.
2. Antonov I.K. Princip obzora prostranstva v mnogoluchevom radiolokatore pri obnaruzhenii malozametnykh vozdushnykh celej // Antenny. 2017. № 3. С. 49–52.