

2. Попов Д. И. Синтез цифровых адаптивных режекторных фильтров // Радиотехник. 1981. 36. №10. С. 53 – 57.
3. Применение цифровой обработки сигналов. Нью-Джерси. 1978 / Под ред. Э. Оппенгейма. Пер. с англ. / Под ред. А.М. Рязанцева. М.: Мир, 1980.
4. Репин В. Г., Тартаковский Г. П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. М.: Советское радио, 1977.
5. Фридландер Б. Методы спектрального оценивания на основе решетчатой структуры // ТИИЭР. 1982. 70. №9.
6. Abatzoglou Z. A fast and accurate method for estimating target Doppler. «Proc. IEEE Int. Conf. Aconst., Speech, and Signal Process, Boston, Mass., 14 – 16 Apr., 1983. Vol. 2». New York. P. 691 – 694.
7. Nehorai A. A minimal parameter adaptive notch filter with constrained poles and zeros. IEEE Trans. On Acoust, Speech, and Signal Process. Vol. ASSP-33. №4. 1985. P. 983 – 996.

УДК 621.396

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ НОВОГО ПОСАДОЧНОГО РАДИОЛОКАТОРА

С. А. Мясников, В. А. Сеницын

АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Рассмотрены особенности построения нового посадочного радиолокатора для радиолокационных систем управления полетами и посадкой воздушных судов в ближней зоне воздушного пространства аэродрома.

Посадочный радиолокатор (ПРЛ) является составной частью радиолокационных систем управления полетами и посадкой воздушных судов (ВС) в аэродромной зоне, использующих первичные средства радиолокации с формированием и излучением высокочастотных зондирующих импульсов, последующим приемом и обработкой отраженных радиолокационных сигналов с целью оценки параметров положения и движения обнаруженных ВС.

ПРЛ применяется автономно или в составе радиолокационной системы посадки (РСП) и обеспечивает посадку ВС на аэродромах РФ.

В целях управления полетами и посадкой ВС в ближней аэродромной зоне в РФ и за рубежом используются следующие известные посадочные радиолокаторы: ПРЛ-4 [1], РП-3Г [2], ПРЛ радиолокационных систем посадки РСП-6М2 [3] и РСП-7 [4], посадочный канал радиолокационного комплекса АН/ТРН-31[5], ПРЛ PAR 2090С [6], RP-5M [7] и другие.

В современных системах управления воздушным движением для обнаружения и контроля над полетом ВС на траектории захода на посадку широко используется ПРЛ RP-5M, являющийся наиболее близким прототипом (аналогом) ПРЛ.

ПРЛ RP-5M содержит зеркальную антенну курса, опорно-поворотное устройство (ОПУ) курса, механически соединенное с антенной курса для ее перемещения в азимутальной плоскости, антенну глиссады, ОПУ глиссады, механически соединенное с антенной глиссады для ее перемещения в угломестной плоскости, 2-канальный переключатель для подключения передатчиков и приемников к антеннам курса и глиссады, два циркулятора прием/передача каналов курса и глиссады, передатчики каналов курса и глиссады, приемники каналов курса и глиссады, два сигнальных процессора для когерентной обработки сигналов в каналах курса и глиссады, экстрактор для обработки сигналов и формирования плотов целей, устройство регистрации и технологический дисплей.

Недостатком ПРЛ RP-5M является использование зеркальных антенн с механическим равномерным сканированием зоны обзора и поворотом антенн на заданное направление посадки, что снижает показатели надежности ПРЛ и не позволяет организовать квазислучайный обзор контролируемого воздушного пространства, обеспечивающий режим сопровождения ВС с укороченным периодом обновления информации. Кроме того, в RP-5M используется традиционный метод обнаружения и измерения координат ВС по огибающей пакета эхосигналов, последовательно принимаемых от ВС в пределах монотонно сканирующей ДН антенны, что приводит к возникновению ошибок измерения координат при флюктуациях или пропадании отдельных импульсов пакета и не позволяет сократить время, необходимое для обнаружения и измерения параметров положения и движения ВС.

Цель создания ПРЛ – повышение надежности функционирования, оперативности наблюдения, энергетических и точностных характеристик оценки параметров положения и движения ВС, идущих на посадку.

Поставленная цель достигается заменой механически перемещаемых зеркальных антенн соответствующими опорно-поворотными устройствами на две неподвижные пассивные моноимпульсные курсовые антенные решетки (АР), ориентированные на противоположные направления посадки, одну пассивную моноимпульсную глissадную АР, устанавливаемую на заданное направление посадки путем соответствующего поворота в горизонтальной плоскости, и введением режима оперативного квазислучайного обзора воздушного пространства благодаря использованию частотного сканирования и моноимпульсной обработки отраженных радиолокационных эхо-сигналов.

В ПРЛ антенна курса, дополнительная антенна курса и антенна глissады содержат по одной передающей антенне и по две идентичные приемные антенны, обеспечивающие реализацию амплитудного моноимпульсного метода обнаружения и оценки координат ВС.

Антенны курса, ориентированные на противоположные направления посадки, и антенна глissады, ориентированная на рабочее направление посадки, неподвижны при обзоре, причем каждая из приемных и передающих антенн, входящих в состав антенн курса и глissады, выполнена в виде антенной решетки, вибраторы которой подключены к замедляющей волноводной линии, имеющей один запитывающий конец и реализующей равномерное периодическое или квазислучайное сканирование антенного луча в пределах зоны обзора путем соответствующего изменения несущей частоты сигналов.

Аппаратура приема и обработки сигналов 2-х каналов, включающая приемник, сигнальный процессор, экстрактор и устройство управления и сопряжения, выполнена в виде двух автономных блоков обработки информации.

ПРЛ содержит дублированные каналы передачи данных на выносной диспетчерский пункт управления воздушным движением в виде широкополосной линии передачи информации и узкополосной линии передачи данных.

В целом введение неподвижной дополнительной антенны курса, дополнительного экстрактора, переключателей, устройств управления и сопряжения 2-х каналов, а также технологического пульта управления позволяет повысить надежность функционирования, оперативность наблюдения, а также энергетические и точностные характеристики ПРЛ.

В основу работы ПРЛ положено использование двух независимых идентичных приемопередающих каналов А и В, каждый из которых обеспечивает реализацию алгоритма амплитудного моноимпульсного измерения координат ВС. В ходе штатной работы с целью достижения максимального энергетического потенциала в ПРЛ используются одновременно оба передатчика А и В, а также приемник, сигнальный процессор и экстрактор одного из приемных каналов А или В, причем, каждый из приемных каналов является четырехканальным и выполняет одновременную обработку радиолокационных сигналов, поступающих с двух выходов антенны курса или дополнительной антенны курса и с двух выходов антенны глissады.

При помощи 1-го переключателя передатчик А подсоединяется ко входу одной из антенн курса, ориентированной на выбранное направление посадки, а передатчик В к антенне глiss-

сады или наоборот. В случае выхода одного из передатчиков из строя данный передатчик отключается, и ПРЛ на время ремонта неисправного передатчика переходит на резервный экономичный режим работы только с одним исправным передатчиком. Для этого при помощи переключателя выполняется подключение выхода исправного передатчика одновременно ко входам работающей антенны курса и антенны глissады.

На выходах сигнальных процессоров каналов А и В формируются высокочастотные зондирующие импульсы (ЗИ) низкого уровня мощности, которые поступают соответственно на входы 2-го переключателя. На выходы 2-го переключателя поступает один из входных ЗИ, который далее с выходов поступает на входы соответственно передатчиков А и В. Таким образом 2-й переключатель обеспечивает одновременную работу передатчиков А и В.

В ПРЛ антенны курса и глissады имеют ортогональные поляризационные свойства: антенна курса и дополнительная антенна курса являются горизонтально поляризованными, а антенна глissады имеет вертикальную поляризацию. Благодаря этому, отраженные радиолокационные сигналы, одновременно принимаемые по каналам курса и глissады, в ПРЛ будут иметь энергетическую развязку по поляризации. При этом обеспечивается практическое отсутствие взаимных помех между курсовым и глissадным каналами при одновременной работе антенн курса и глissады на излучение и прием отраженных сигналов на близких или даже равных несущих частотах.

С помощью антенны курса для одного направления посадки или дополнительной антенны курса для противоположного направления посадки и антенны глissады, устанавливаемой в заданное направление посадки при помощи опорно-поворотного устройства глissады, производится одновременный секторный обзор пространства соответственно в азимутальной (горизонтальной) и угломестной (вертикальной) плоскостях с центром в месте расположения ПРЛ вдоль ВПП аэродрома.

Обзор пространства в отличие от ПРЛ RP-5M производится не с помощью механического равномерного циклического движения антенн курса и глissады в пределах заданных секторов, а с использованием неподвижных антенн, что повышает эксплуатационную надежность антенн и ПРЛ в целом.

Перемещение антенного луча в пространстве при неподвижных антеннах обеспечивается за счет реализации алгоритма частотного сканирования путем дискретного изменения несущей частоты зондирующих импульсов и соответствующего изменения частоты гетеродинов приемников по определенному периодическому (при равномерном обзоре) или квазислучайному (при поиске ВС в направлении их наиболее вероятного появления или их сопровождении) закону.

Максимальный сигнал, излучаемый антенной, зависит от фазового сдвига φ между вибраторами передающей антенны и соответствует направлению α_0 , удовлетворяющему условию [9]

$$\varphi = \left(\frac{2\pi b}{\lambda} \right) \sin \alpha_0, \quad (1)$$

где b – расстояние между вибраторами антенны; λ – длина волны излучаемых сигналов ($\lambda = c/f$, где c – скорость распространения электромагнитных волн в воздушном пространстве, f – частота).

Сигналы, излучаемые в направлении α_0 отдельными вибраторами, будут суммироваться в фазе и создадут максимальную напряженность электромагнитного поля.

Аналогично принимаемые колебания создадут в этом направлении максимальную интенсивность входного радиолокационного сигнала, отраженного от воздушных объектов, на выходе приемной антенны.

В антеннах используется способ электрического частотного сканирования антенного луча посредством перестройки частоты f сигнала и питания вибраторов антенной решетки от замедляющей волноводной линии с одного конца. Набег фазы от вибратора к вибратору определяется длиной L отрезка питающего замедляющего волновода между соседними вибраторами

$$\varphi = \frac{2\pi L}{\lambda_b}, \quad (2)$$

где λ_b – длина волны, распространяющейся в замедляющей волноводной линии ($\lambda_b = c_b/f$, где c_b – скорость распространения электромагнитных волн в волноводной линии).

При излучении зондирующих импульсов за счет изменения частоты передатчика меняется λ_b и φ согласно (2), благодаря чему происходит сканирование луча по углу α_0 с учетом (1) в соответствии с формулой

$$\alpha_0 = \arcsin\left[\frac{(L/\lambda_b)}{(b/\lambda)}\right]. \quad (3)$$

Частотное сканирование путем скачкообразной перестройки частоты обеспечивает возможность в соответствии с (1)–(3) практически мгновенно изменить направление расположения максимума диаграммы направленности антенны в плоскости сканирования и оставаться в этом направлении в течение произвольного времени. Такой режим квазислучайного обзора позволяет повысить оперативность наблюдения, а также энергетический потенциал и соответственно точностные характеристики ПРЛ по сравнению с режимом циклического равномерного обзора.

При равномерном обзоре с периодом T_o эффективное число интегрируемых импульсов, определяющих энергетический потенциал ПРЛ, зависит от угловой скорости перемещения антенного луча Ω в пределах зоны обзора $\Delta\alpha$, эффективной ширины диаграммы направленности θ и частоты повторения F_n зондирующих импульсов ПРЛ [9]

$$N_p = \frac{0,5\theta F_n}{\Omega} = \frac{0,5\theta F_n T_o}{\Delta\alpha} \quad (4)$$

При квазислучайном обзоре эффективное число интегрируемых импульсов когерентно-импульсного ПРЛ определяется периодом обзора и заданным максимальным количеством ВС m , которые должны быть обнаружены в пределах зоны обзора и взяты на сопровождение

$$N_k = \frac{F_n T_o}{m}. \quad (5)$$

Выигрыш квазислучайного режима обзора относительно равномерного обзора в эффективном числе интегрируемых импульсов с учетом (4) и (5) определяется выражением

$$\frac{N_k}{N_p} = \frac{2\Delta\alpha}{m\theta}.$$

При нормативных величинах параметров, входящих в выражение (5), $m=10$, $\Delta\alpha=35$ град. и $\theta=1,2$ град. (для азимутальной плоскости сканирования) из последнего выражения получим $N_k/N_p \approx 6$. Следовательно, при такой организации квазислучайного режима обзора энергетический потенциал ПРЛ повышается в ~ 6 раз.

Таким образом, переход на квазислучайный режим обзора позволяет в зависимости от заданного количества обслуживаемых ВС получить существенный выигрыш в эффективном числе интегрируемых импульсов и соответственно в энергетическом потенциале ПРЛ.

Повышение энергетического потенциала позволяет улучшить точностные характеристики ПРЛ, зависящие от отношения A амплитуды сигнального импульса длительностью τ к среднеквадратическому значению шума и числа N_k :

- потенциальную точность измерения дальности, определяемую величиной потенциальной среднеквадратической ошибки измерения дальности [9]

$$\sigma_d = \frac{c\tau}{A\sqrt{\pi N_k}}, \quad (6)$$

- потенциальную точность измерения угловых координат, определяемую величиной потенциальной среднеквадратической ошибки измерения угла [9]

$$\sigma_y = \frac{\theta}{A\sqrt{\pi N_k}}. \quad (7)$$

Как следует из выражений (6) и (7), увеличение эффективного числа интегрируемых импульсов N_k , достигаемое при квазислучайном режиме обзора ПРЛ, обеспечивает уменьшение величин σ_d и σ_y , то есть повышает точностные характеристики ПРЛ.

Формирование зондирующих импульсов, величина несущей частоты которых устанавливается в зависимости от требуемого направления ω излучения и приема отраженных радиолокационных сигналов, производится в высокочастотном формирователе одного из выбранных для работы сигнальных процессоров А или В. При помощи переключателя 2 высокочастотные зондирующие импульсы направляются на входы передатчиков А и В, где они усиливаются по мощности. Выходные импульсные сигналы передатчиков через переключатель 1 направляются ко входам антенн курса и глissады для излучения в пространство.

Радиолокационные сигналы, являющиеся результатом отражения зондирующих импульсов от воздушных судов и других объектов, через рабочую антенну курса и антенну глissады поступают соответственно на переключатель 3 и переключатель 4. С выхода переключателя 3 сигналы курса, а с выхода переключателя 4 сигналы глissады поступают на соответствующие входы приемника А, если работает канал А, или на входы приемника В, если для работы выбран канал В. Выходные сигналы приемника на промежуточной частоте поступают в сигнальный процессор, где производится их аналого-цифровое преобразование, когерентная межпериодная частотная фильтрация на фоне шумов и пассивных помех, выполняется процедура обнаружения по критерию Неймана-Пирсона, обеспечивающему получение максимальной вероятности правильного обнаружения ВС при фиксированной вероятности ложных тревог по шумам и остаткам пассивных помех, временная взвешенная обработка, а также формирование плотов и оценка сферических координат (дальность, азимут и угол места) ВС.

В каналах А и В приемник, сигнальный процессор, экстрактор и устройство управления и сопряжения объединены в блоки обработки информации А и В, образуя дублированную аппаратуру приема и обработки сигналов основного и резервного каналов.

На выходах ПРЛ обеспечивается формирование дублированных каналов передачи данных на выносной командный диспетчерский пункт (КДП) управления воздушным движением в виде широкополосных линий передачи информации и узкополосных линий передачи данных.

Переход на работу с одним каналом аппаратуры А или В при выходе из строя аппаратуры другого канала может производиться автоматически или вручную с технологического пульта управления ПРЛ или с рабочего места диспетчера на КДП в зависимости от состояния и режима эксплуатации ПРЛ.

Заключение. Основными отличительными особенностями построения и функционирования посадочного радиолокатора является использование неподвижных антенных решеток с частотным качанием луча в азимутальной и угломестной плоскостях, а также моноимпульсной обработки радиолокационных сигналов.

Эффективность ПРЛ подтверждена положительными результатами полигонных испытаний опытного образца, показавшими, что построение ПРЛ на базе недорогих пассивных неподвижных антенных решеток с равномерным и квазислучайным частотным сканированием антенного луча, предусматривающим моноимпульсную обработку отраженных радиолокационных сигналов, позволяет повысить надежность функционирования, оперативность наблюдения, энергетические и точностные характеристики ПРЛ.

Библиографический список

1. Описание ПРЛ-4. [Электронный ресурс]. URL: http://hist.rloc.ru/lobanov/6_16_5.htm.
2. Давыдов П. С., Сосновский А. А., Хаймович И. А. Авиационная радиолокация. Справочник / Под ред. П. С. Давыдова. М.: Транспорт, 1984.

3. Описание РСП-6М2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eandc.ru/news/detail.php?ID=18434> или URL: <http://www.tc-alet.ru/Produksia7.html>.
4. Описание РСП-7. [Электронный ресурс]. URL: http://museum.radioscanner.ru/avionika/aviomuzejs/rsp_7/rsp_7.html.
5. Описание ANTPN-31. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip/an-tpn-31.htm> или URL: http://www.deagel.com/Special-Purpose-Vehicles/ANTPN-31-ATNAVICS_a000607001.aspx.
6. Описание PAR 2090 C. [Электронный ресурс]. URL: http://www.selex-sas.com/EN/Common/files/SELEX_Galileo/Products/PAR_2090.pdf
7. Описание RP-5M. [Электронный ресурс]. URL: http://www.eldis.cz/files/katalog_list/radar-RP-5M-en.pdf.
8. Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов и авиационная электросвязь. Сертификационные требования». М.: 1999. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stroyplan.ru/docs.php?showitem=6495#i106600>.
9. Теоретические основы радиолокации / Под ред. В. Е. Дулевича. М.: Советское радио, 1964.

УДК 621.396

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО-КODOVЫХ КАНАЛОВ РСБН И ПРМГ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НАВИГАЦИЮ И ПОСАДКУ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

М. И. Недобежкин, В. А. Синицын

ЦНИИ ВВС Минобороны России

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Рассмотрены вопросы загрузки диапазона радиочастот частотно-кодовыми каналами радиотехнической системы ближней навигации, обеспечивающей совместно с радиомаяками посадочной радиомаячной группы, управление полетами, навигацию и посадку воздушных судов в ближней аэродромной зоне

Радиотехническая система ближней навигации (РСБН) совместно с радиомаяками посадочной радиомаячной группы (ПРМГ) обеспечивает управление полетами, навигацию и посадку воздушных судов в ближней аэродромной зоне.

Система РСБН/ПРМГ представляет собой совокупность наземных радиомаяков и бортового оборудования и предназначена для определения пространственного местоположения воздушного судна (ВС) по измерениям азимута и наклонной дальности относительно наземных радиомаяков, обеспечения выполнения предпосадочного маневра и захода ВС на посадку. Кроме того, в наземном азимутально-дальномерном радиомаяке (АДРМ) системы РСБН реализуется функция наблюдения за положением ВС и воздушной обстановкой ближней аэродромной зоны на индикаторе кругового обзора (ИКО).

В настоящее время на аэродромах используются АДРМ преимущественно типа РСБН-4Н, появились в эксплуатации несколько десятков радиомаяков РСБН-4НМ, представляющих собой модернизацию радиомаяков РСБН-4Н в части приемных устройств и импульсно-навигационной аппаратуры, и в незначительном количестве сохранился радиомаяк РСБН-8Н.

Для большинства ВС оборудование РСБН является единственным средством ближней навигации. Оборудование РСБН самолетов также позволяет решать и ряд специфических задач, среди которых следует выделить [1, 2]:

- наблюдение за воздушной обстановкой в районе аэродрома при помощи индикатора кругового обзора;