

ББК 0 580.31 - 553 + 2 35 - 5

УДК 621.396.967

Л.Т. Перевезенцев

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

*Рассмотрены основные тенденции в развитии радиолокационных систем управления воздушным движением на период с 1995 по 2015 год.*

В соответствии с прогнозом ICAO [1] предполагается, что число полетов воздушных судов (ВС) в Европейском регионе к 2000 году по сравнению с 1987 годом удвоится и в дальнейшем темпы среднегодового роста полетов сохранятся на уровне 4...5%. Учитывая эти обстоятельства, специалисты Европейской группы аэронавигационного планирования (EANPG) разработали концепцию будущей системы организации воздушного движения в Европейском регионе на период с 1995 по 2015 год. В основу концепции были положены соображения, выдвинутые Комитетом ICAO по будущим аэронавигационным системам (FANS) [2] и организации "Евроконтроль". Основная цель разработанной концепции заключается в согласовании среднесрочного и долгосрочного развития региональных систем организации воздушного движения, интегрированных во всемирную аэронавигационную систему.

В настоящее время в районах с высокой и средней интенсивностью воздушного движения в качестве систем наблюдения используют первичные радиолокаторы (ПРЛ), вторичные радиолокаторы (ВРЛ), работающие в режимах RBS "A", RBS "C", и системы речевых донесений (VPR) о местоположении ВС. В странах СНГ вторичные радиолокаторы, кроме режимов RBS "A" и RBS "C", используют также режимы УВД "ЗК1" (БН) и УВД "ЗК2" (ТИ).

В период между 1995 и 2005 годами предполагается в районах с большой интенсивностью воздушного движения в качестве систем наблюдения использовать первичные радиолокаторы всех видов и моноимпульсные вторичные радиолокаторы, работающие в режимах RBS "A", RBS "C" и в дискретно-адресном режиме "S". В районах со средней и малой интенсивностью воздушного движения будут использоваться те же средства наблюдения, что и в настоящее время, однако в качестве вторичных радиолокаторов преимущественное положение займут радиолокаторы, определение координат ВС у которых будет осуществляться моноимпульсным методом. В этих же районах некоторое распространение могут получить системы автоматического зависимого наблюдения (ADS), позволяющие предоставлять диспетчеру управления воздушным движением (УВД) псевдорadiолокационную информацию о воздушной обстановке.

В период между 2005 и 2015 годами основным средством наблюдения в районах с большой, средней и малой интенсивностью полетов станут моноимпульсные вторичные радиолокаторы, работающие в режимах RBS "A", RBS "C" и "S". Большое распространение получат системы автоматического зависимого наблюдения. Первичные радиолокаторы будут использовать в основном для некоторых операций УВД в аэродромной зоне и для контроля движения ВС и спецавтотранспорта на летном поле.

Учитывая значительные финансовые и материальные затраты, которые неизбежно сопровождают введение новых сложных систем контроля и управления, предполагается, что процесс развития радиолокационных средств наблюдения будет происходить эволюционно. Это означает, что все вновь создаваемые системы будут в той или иной мере совместимы с системами, находящимися в эксплуатации и получившими достаточно широкое распространение в настоящее время. Сдерживающим фактором введения принципиально новых средств наблюдения будет также неравномерность осуществления национальных программ технического перевооружения гражданской авиации в отдельных странах при общей тенденции создания единых интегральных систем организации воздушного движения. Для стран СНГ

дополнительным сдерживающим фактором будут экономические и организационные трудности, вызванные распадом СССР и гражданской авиации СССР как единой структуры.

При оценке развития радиолокационных средств на системном уровне обращает на себя внимание тенденция к созданию унифицированных рядов обзорных трассовых и аэродромных комплексов и модульный принцип их построения.

Примером могут служить серия радиолокаторов TRAC 2X00 фирмы "Thomson-CSF", состоящая из четырех обзорных радиолокаторов, различные модификации станций типа ATCR-22,44,33 фирмы "Alenia", радиолокаторы ASR-23SS/8 и ASR-23SS/16 фирмы "Raytheon", предназначенные для контроля воздушного движения в аэродромных, аэроузловых зонах и на трассах с максимальной дальностью действия 100...220 морских миль. Трассовые, аэроузловые и аэродромные первичные радиолокаторы, выпускаемые одной и той же фирмой, часто отличаются друг от друга лишь излучаемой мощностью, частотой повторения зондирующих импульсов, частотой вращения антенны и, соответственно, дальностью действия. Модульный принцип построения отдельных узлов радиолокатора позволяет лучше приспособить его характеристики к конкретным условиям эксплуатации.

В состав оборудования радиолокационного комплекса в качестве неотъемлемой его части вводится аппаратура первичной и вторичной обработки информации, аппаратура передачи данных, системы автоматической диагностики и поиска неисправностей, устройства дистанционного контроля и управления.

Для современных обзорных радиолокаторов характерно двухканальное, двухкомплектное построение структурной схемы с одновременной работой двух комплектов с разным несущим частот. Обработка сигналов на разных несущих частотах с последующим их объединением позволяет уменьшать влияние собственных флуктуаций целей, увеличивать предельные значения излучаемой импульсной мощности и повышать эффективность использования оборудования станций [3].

В некоторых станциях (например, в радиолокаторе Watchman фирмы "Siemens") режим разноса несущих частот обеспечивается одним передатчиком путем изменения несущей частоты через определенное количество зондирующих импульсов. Второй комплект станции в этом случае используется как резервный.

Тенденцией, характерной для развития обзорных радиолокаторов, является переход на использование сложных зондирующих сигналов. При этом зондирующий сигнал состоит из двух импульсов: короткого монохронного для обнаружения целей в ближней зоне и длинного с внутримпульсной частотной или фазовой модуляцией для обслуживания дальней зоны. Фазовая модуляция осуществляется тринадцатипозиционным кодом Баркера. На приемном конце производится компрессия импульсов, имеющих большую длительность.

Дальнейшее развитие получили адаптивные устройства управления параметрами радиолокатора в зависимости от конкретной помеховой ситуации. Если в первых станциях так называемого третьего поколения (ATCR-22, ATCR-44) адаптивные методы использовались для выбора конфигурации вертикальной диаграммы направленности антенны, переключения режимов работы (СДЦ / нормальный), оперативного включения цепей логарифмирования, малой постоянной времени, антилогарифмирования, управления динамическим диапазоном амплитуд сигналов, нормализации ложных тревог, то в станциях четвертого поколения, кроме перечисленных устройств, нашли применение адаптивные обнаружители, селективирующие отраженные сигналы в зависимости от их спектрального содержания и изменяющие параметры устройств обработки сигналов индивидуально в каждом частотном канале. При этом все большее количество функций переходит от аппаратурной реализации к специальным вычислителям и микропроцессорам.

На мини-ЭВМ и микропроцессоры возлагаются также функции контроля параметров и состояния отдельных узлов радиолокационных станций (РЛС). Тестированию подвергается большая часть аналоговых и почти все цифровые узлы аппаратуры. Так, например, в радиолокаторе ASR-9 фирмы "Westinghouse" системой определения места неисправности охвачено до 85 % всех возможных источников отказов на уровне сменных блоков. Проверкой охваты-

вают также резервные блоки, что в значительной степени повышает надежность станции. В радиолокаторах серии TRAC 2X00 системой автоматического встроенного контроля охвачено до 100 параметров. Вследствие применения новых технологий и новой элементной базы среднее время наработки на отказ удалось увеличить до нескольких тысяч часов, а коэффициент готовности — до 99,9–99,97%.

Характерной особенностью новых обзорных станций является наличие в составе их аппаратуры отдельных метеоканалов, позволяющих предоставлять диспетчерам УВД достаточно достоверную информацию о метеоявлениях, опасных для полетов ВС. Такие метеоканалы предусмотрены в радиолокаторах S 511, S 511C, S 512 фирмы "Marconi", ASR-9 и ARSR-4 фирмы "Westinghouse", ATCR-44 K/M/S и ATCR-33 K/M/S фирмы "Alenia", TA10 MTD и TRAC 2X00 фирмы "Thomson-CSF", Star-III фирмы "Hollandse Signaalapparaten", ASR-23SS фирмы "Raytheon" и др.

Для того, чтобы результаты обработки метеоинформации не зависели от поляризации сигналов первичного канала, для метеоканалов используют специальный антенный выход с постоянной горизонтальной или вертикальной поляризацией принимаемых волн.

Наряду со встроенными метеоканалами дальнейшее развитие получили автономные метеорологические радиолокаторы. Среди автономных радиолокаторов нового поколения преобладают радиолокаторы доплеровского типа, особенностью которых является высокая информативность об опасных метеоявлениях, автоматическая обработка сигналов, оперативность и наглядность выдачи информации потребителям.

Основными тенденциями в развитии посадочных РЛС являются попытки введения активных режимов определения координат заходящих на посадку ВС, создание комбинированных комплексных системы посадки, выполняющих одновременно функции посадочного радиолокатора и инструментальной систем посадки, введение в состав оборудования посадочных радиолокаторов специализированных ЭВМ, выполняющих функции обработки сигналов, сопровождения целей, управления отображением информации, регистрации информации и контроля за параметрами аппаратуры.

Необходимость введения активных режимов для посадочных радиолокаторов обусловлена требованиями устранения влияния флуктуаций положения фазового центра эффективной поверхности ВС при эволюциях его продольной оси относительно заданной траектории посадки.

Как указывалось выше, роль радиолокаторов обзора летного поля с увеличением интенсивности полетов и применением всепогодных систем посадки будет непрерывно возрастать. Выпускавшиеся ранее радиолокаторы обзора летного поля (ASMI MK-1, ASMI MK-5 фирмы "Десса"; ASDE-500, 8GR-500 фирмы "Philips"; польский радиолокатор TOR, радиолокатор "Обзор-2" СССР и др.) использовали, в основном, диапазон волн  $\lambda = 8,57$  мм. Применение восьмимиллиметрового диапазона не обеспечило приемлемого компромисса между требованиями высокой разрешающей способности станции и необходимой дальности действия при плохих погодных условиях. Приближение к компромиссу в какой-то мере было найдено в современных радиолокаторах ASTRE-2 фирмы "Thomson", ASDE-3 фирмы "Cardion Electronics", ASMI-18X фирмы "Десса" путем перехода на более длинные волны (1,9 и 3 см). Удовлетворительные характеристики по разрешающей способности и помехозащищенности здесь были получены за счет применения новых алгоритмов обработки сигналов с использованием карты помех и за счет быстрого чередования несущих частот (ASDE-3). В дальнейшем в соответствии с концепцией развития будущих систем организации воздушного движения [1] предполагается разработка принципиально новых радиолокаторов обзора летного поля с применением методов вторичной радиолокации. Заслуживают внимания также попытки создания для этих целей устройств, использующих инфракрасный участок спектра принимаемых частот. По экономическим соображениям предпочтение при этом следует отдать пассивным системам, использующим собственное тепловое излучение объектов наблюдения.

Развитие вторичных радиолокаторов происходит по линии внедрения моноимпульсных методов определения координат целей и постепенного перехода на использование селективного дискретно-адресного режима "S". Большинство последних разработок вторичных радиолокаторов (SIR-M и SIR-S фирмы "Alenia", RSM-870 и RSM-970 фирмы "Thomson-CSF", CM SSR 401 фирмы "Cardion Electronics", S-470 Messenger фирмы "Marconi", IRS-20 MP фирмы "Ceselsa" и др.) используют моноимпульсный метод определения координат целей. Моноимпульсный режим работы позволил в некоторой степени устранить такие недостатки традиционных вторичных радиолокаторов, как низкую разрешающую способность и точность определения координат ВС по азимуту, наличие ложных отметок целей и наложение ответных кодов ответчиков близко расположенных ВС. Увеличению пропускной способности вторичных радиолокационных систем, устранению расщепления и пропадания отметок целей способствует введение улучшенных систем подавления сигналов боковых лепестков диаграмм направленности по запросу (PALS), устройство автоматического регулирования излучаемой мощности передатчиков запросчиков и чувствительности приемников-ответчиков, совершенствование конфигурации диаграмм направленности в вертикальной плоскости.

Радикальным способом устранения перечисленных выше недостатков, а также увеличения информационной способности вторичных систем является внедрение селективного режима "S". Введение этого режима позволит увеличить количество индивидуальных номеров ВС до 16 777 216 вместо 100 000 при работе ответчиков в режиме УВД и 4096 – при работе в режиме "RBS". Информационные сообщения при этом могут содержать 56 или 112 бит и в случае необходимости могут быть расширены до 1280 бит. Всего предусматривается возможность передачи 25 различных форматов сообщений, в том числе и таких, которые необходимы для работы перспективных систем предупреждения столкновений типа "борт – борт" и "борт – земля – борт".

Таким образом, предполагается, что внедрение селективных вторичных РЛС решит многие проблемы не только в области радиолокационной техники, но и в области автоматических цифровых систем авиационной связи и систем предупреждения столкновений ВС.

В настоящее время ряд зарубежных фирм серийно выпускает вторичные радиолокаторы, способные работать в режиме "S" (SIR-S, RSM-870, RSM-970, S-470), в режиме "S" с ограниченными возможностями (CM SSR 401) или приспособленные к переходу на работу в режиме "S" (IRS-20MP). Ожидается, что ввиду большой сложности и высокой стоимости таких систем полный переход от режимов "RBS" на режимы "S" произойдет к 2005 – 2015 годам. Для обеспечения плавного перехода международными и государственными стандартами предусмотрены специальные межрежимные запросы, обеспечивающие работу ответчиков режимов и "RBS", и "УВД", и "S".

При оценке основных тенденций в развитии отдельных функциональных узлов РЛС следует обратить внимание на следующие особенности.

Магнетронные передающие устройства постепенно вытесняются передатчиками, оконечные каскады которых выполнены на мощных усилительных приборах: пролетных клистронах, лампах бегущей волны (ЛБВ), амплитронах. В более дешевых станциях (радиолокатор S 511 фирмы "Marconi") используются коаксиальные многорезонаторные магнетроны, обеспечивающие высокую частотную и фазовую стабильность излучаемых сигналов, малые значения коэффициентов электронного смещения и затягивания частоты. В связи с использованием многими новыми РЛС сложных зондирующих сигналов с малой импульсной мощностью более широкое применение нашли полностью твердотельные передатчики, оконечные каскады которых выполнены на сверхвысокочастотных (СВЧ) транзисторах, собранных в отдельные модули. Примером таких станций могут служить трассовые и аэродромные первичные радиолокаторы ASR-23 SS/8 и ASR-23 SS/16 фирмы "Raytheon" с восемью и шестнадцатью модулями общей импульсной мощностью 25 и 50 кВт, трассовые и аэродромные станции серии TRAC 2X00 фирмы "Thomson" с несколькими передатчиками, в каждом из которых имеется по 20 модулей с общей импульсной мощностью 10 кВт, аэродромные станции ATCR-44S и ATCR-33S фирмы "Alenia" с импульсной мощностью 16 и 10 кВт соответ-

венно. Все перечисленные зарубежные моноимпульсные вторичные радиолокаторы имеют полностью твердотельные передатчики. Почти все они имеют возможность оперативно автоматически изменять излучаемую мощность по специальной программе, индивидуальной для каждой радиолокационной позиции.

Среди антенных устройств первичных трассовых и аэродромных радиолокаторов преобладают двухлучевые зеркальные антенны с очень крутой нижней кромкой диаграммы направленности и малыми боковыми лепестками. У лучших антенн этого вида (G7, G14 фирмы "Alenia") коэффициент усиления равен 32,5 ... 36,5 дБ и уровень боковых лепестков -25 ... -26 дБ.

В последнее время появились сообщения об использовании в первичных радиолокаторах зеркальных антенн, выполненных из композитных материалов (радиолокатор Watchman). Такого рода антенны обладают более высокой стабильностью параметров, уменьшенным уровнем боковых лепестков и большей долговечностью.

Исключительно большой интерес вызывают появившиеся в последнее время антенны ALE 3x5 L и S диапазонов для трассовых и аэродромных станций фирмы "Alenia". Они представляют собой планарные решетки с равномерно распределенными излучающими элементами, формирующими парциальные лучи с изменяющимися параметрами как по горизонтали, так и по вертикали: наклоном, нижним срезом, усилением, формой. Все элементы антенны запитываются от переключателя лучей, расположенного ниже вращающегося сочленения. Один луч всегда работает на передачу. Остальные лучи во время приема отраженных сигналов управляются селективно для каждого элементарного участка, на которые разбито все контролируемое пространство. Антенна может работать с любой поляризацией, для метеоканала имеется специальный выход с постоянной линейной поляризацией. Уровень боковых лепестков равен -28 дБ, коэффициент усиления меняется в значительных пределах и может достигать 37,3 дБ. Все активные элементы, управляющие параметрами антенны, расположены до вращающегося сочленения, вследствие чего антенна очень надежна и не требует обслуживания при эксплуатации.

Новые антенны вторичных радиолокаторов представляют собой открытые антенные решетки с большим вертикальным раскрытием (антенны LVA-Large Vertical Aperture). Они одновременно формируют три луча: суммарный, разностный и ненаправленный, обеспечивая тем самым работу вторичных РЛС в моноимпульсном режиме. Наилучший уровень боковых лепестков у этих антенн составляет -29 дБ.

При разработке приемных устройств РЛС наметилась тенденция в использовании приемников с двойным преобразованием частот. В качестве малошумящих предварительных усилителей вместо ЛБВ и параметрических электронно-лучевых приборов повсеместно используют широкополосные неохлаждаемые транзисторные усилители с эффективной защитой входных цепей от перегрузок. Коэффициент шума лучших из этих усилителей удалось снизить до 2,2 дБ. Дальнейшее уменьшение значения коэффициента шума признано нецелесообразным.

Расширение динамического диапазона приемных устройств, кроме традиционных методов, обеспечивается различными адаптивными устройствами: схемами весового суммирования сигналов верхнего и нижнего лучей диаграммы направленности антенны по жесткой или оперативной программе, формируемой картой помех, адаптивными схемами временной автоматической регулировки усиления, адаптивными аттенюаторами помех, переключателями каналов, нормализаторами ложных тревог и т.д.

Для выделения полезных целей на фоне сигналов местных предметов, гидрометеоров и "ангелов" используют пространственную и частотную фильтрации. Спектральный анализ сигналов производят, как правило, методами четырех или восьмиточечного быстрого преобразования Фурье с последующей нормализацией ложных тревог индивидуально в каждом частотном канале. Полоса резекции доплеровских фильтров и положение их центральных частот автоматически оперативно изменяются по адаптивной программе в зависимости от помеховой ситуации, записываемой в карту помех.

Значительные изменения претерпели средства отображения радиолокационной информации. Наблюдается устойчивая тенденция замены "темновых" радиолокационных индикаторов

торов, выполненных на электронно-лучевых трубках с большим послесвечением, индикаторов телевизионного типа, "яркостных" индикаторов, выполненных на запоминающих электронно-лучевых трубках с видимым изображением, на полноцветные индикаторы дисплейного типа с диаметром экрана порядка 60 см. Предполагается [1], что ориентировочно к 2000 году кнопочное управление процессом ввода-вывода информации в ЭВМ, обеспечивающее взаимодействие оператора с пультом управления и контроль состояния параметров РЛС, будет заменено на управление голосом.

Существенным образом изменяется структура системы эксплуатации радиолокационных средств УВД. Так, например, в США в настоящее время внедряется система автоматизированной эксплуатации объектов УВД, получившая название RMMS [4]. Эта система должна обеспечить возможность дистанционного контроля параметров необслуживаемых радиолокационных позиций и помочь в выполнении некоторых операций, для которых обычно требуется посещение позиций обслуживающим персоналом.

В состав каждого узла системы RMMS должен входить центр управления текущей эксплуатацией (MCC), подсистема эксплуатационного процессора (MPS) и группа подсистем дистанционного контроля (RMS). Подсистема RMS служит первичным обрабатывающим устройством для узла RMMS в какой-либо географической зоне. Она управляет сбором эксплуатационных данных от подсистем УВД, обеспечивает их хранение, производит обработку полученной информации и координирует подачу запрашиваемой информации на MCC и RMS. В задачу RMS входят не только функции, связанные с контролем состояния объектов, но и документирование информации, выявление опасных отказов, дистанционное регулирование параметров станции и защиты от несанкционированного доступа на объект контроля. Системы автоматического встроенного контроля параметров перспективных РЛС, телеуправления и телесигнализации развиваются в направлении согласования их характеристик с параметрами автоматизированных систем эксплуатации, подобных описанной выше.

#### Список литературы

1. *Описание концепции будущей системы организации воздушного движения в Европейском регионе.* - Монреаль, ICAO, FEATS, 1989. - 93 с.
2. *Доклад четвертого совещания Специального комитета ICAO по контролю и координации разработки и планированию перехода к будущей системе аэронавигации (FANS-этап II).* - Монреаль, ICAO, 1993. - 412 с.
3. *Качан В.К., Перевезенцев Л.Т., Сокол В.В.* Радиооборудование автоматизированных систем управления воздушным движением. - К.: Высш. шк., 1984. - 312 с.
4. *Позерски М.Т., Ман М.К.* Архитектура системы управления воздушным движением США // ТИИЭР.-Т.77. - №1. - 1989.- С. 6-22.

Стаття надійшла до редакції 28 вересня 1998 року.

**Лев Тимофійович Перевезенцев** (1930) закінчив Ленінградський електротехнічний інститут зв'язку в 1953 році. Кандидат технічних наук, професор кафедри експлуатації і ремонту засобів радіотехнічного забезпечення польотів і керування повітряним рухом Київського міжнародного університету цивільної авіації. Напрямок наукових досліджень – радіолокаційна техніка. Автор 180 наукових робіт.

**Lev T. Perevesentsev** (b. 1930) graduated from Leningrad Electrotechnical Institute of Communication (1953). PhD (Eng), professor of the Department of Maintenance and Repair Means for Radiotechnical Security of Flight and Air Traffic Control of Kyiv International University of Civil Aviation. Specializes in radar. Author of 180 publications.