

УДК 621.396 (075)

В. С. Е ф р е м о в

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ РАДИОЛОКАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Приведены описание и принципы построения современных радиолокационных станций гражданского и специального назначения, разработанных ОАО “КБ “Ли́ра” и серийно производимых ОАО “НПО “ЛЭМЗ”. Показана эффективность унификации элементной базы и технических решений при проектировании радиолокационных станций, позволяющей сократить сроки разработки и технологической подготовки производства, а также стоимость разработки и серийного изготовления радиолокаторов.

Современный радиолокатор представляет собой сложную радиоэлектронную систему, в которой используются практически все новейшие достижения в области радиоэлектроники, вычислительной техники и устройств СВЧ. В различных радиолокационных станциях (РЛС) в зависимости от назначения применяются антенны практически всех известных видов. Приемопередающая аппаратура может выполняться как полностью в твердотельном исполнении, так и с использованием мощных вакуумных приборов. А в аппаратуре обработки сигналов и информации используются самые последние достижения в области быстродействующей цифровой вычислительной техники.

Лианозовский электромеханический завод (ОАО “НПО “ЛЭМЗ”) уже более полувека является ведущим производителем радиолокационной техники в стране. Его продукция, в первую очередь, известна в системах управления воздушным движением (УВД), где обеспечивает радиолокационной информацией мониторы диспетчеров и тем самым безопасность полетов. Одними из последних российских разработок в данной области являются сертифицированные Межгосударственным авиационным комитетом (МАК) и серийно выпускаемые ОАО “НПО “ЛЭМЗ” трассовый радиолокационный комплекс (ТРЛК) “Утес-Т” (рис. 1, см. 3-ю полосу обложки) и аэродромные радиолокационные комплексы (АРЛК) “Утес-А” и “Ли́ра-А10” (рис. 2, см. 3-ю полосу обложки), предназначенные для радиолокационного обзора воздушного пространства на трассах гражданской авиации и в районе аэродрома. Функциональные возможности РЛК ряда “Утес” и АРЛК “Ли́ра-А10” позволяют использовать их и для контроля воздушного пространства и как РЛК двойного назначения. В состав РЛК

“Утес” и “Ли́ра-А10” входят обзорный первичный радиолокатор (ПРЛ) и встроенный или автономный вторичный радиолокатор (ВРЛ).

Первичные радиолокаторы, входящие в состав РЛК ряда “Утес”, полностью твердотельные, в качестве выходных усилителей в их передающем устройстве используются транзисторные модули. В ПРЛ АРЛК “Ли́ра-А10” используются усилители мощности на ЭВП (клистрон) с относительно низким анодным напряжением (10 кВ) и полностью твердотельным высоковольтным модулятором. Многолучевой пакетированный клистрон, используемый в ПРЛ АРЛК “Ли́ра-А10”, имеет высокую надежность и ресурс порядка 40 000 ч.

Первичные радиолокаторы РЛК “Утес” и АРЛК “Ли́ра-А10” работают соответственно в диапазоне “L” — 23 см и “S” — 10 см и являются высокостабильными РЛК, построенными по принципу внутренней когерентности. Их тактико-технические характеристики соответствуют требованиям ИКАО и Евроконтроля. В РЛК ряда “Утес” и АРЛК “Ли́ра-А10” применяется двухчастотный метод обзора пространства с разносом частот, позволяющий повысить вероятность правильного обнаружения благодаря получению от одного воздушного объекта двух статистически независимых эхо-сигналов.

Информационная эффективность любого РЛК во многом определяется видом используемых радиолокационных сигналов. Так, в РЛК ряда “Утес” и АРЛК “Ли́ра-А10” используются два вида сигналов:

- короткий, без внутриимпульсной модуляции, обеспечивающий возможность обнаружения воздушных объектов (ВО) в ближней зоне с минимальной дальностью не более 1 км и максимальной защищенностью от воздействия пассивных помех за счет высокой частоты повторения и относительно большого количества импульсов в пачке;
- длинный, с внутриимпульсной ЛЧМ, переменным периодом повторения и пачкой, состоящей не более чем из 8 импульсов, для обнаружения ВО в дальней зоне.

Эффективная полоса обоих сигналов одинакова и составляет 1,2 МГц, что позволяет осуществлять обработку в едином потоке без перестройки цифровых фильтров.

Таким образом, зондирующий сигнал представляет собой периодическую вобулированную последовательность с “вставками” пачек коротких импульсов с высокой частотой повторения.

Зондирующие сигналы формируются путем прямого цифрового синтеза на промежуточной частоте 30 МГц с дальнейшим переносом спектра сигнала на несущую частоту и усилением до требуемого уровня мощности.

В РЛК “Утес” и АРЛК “Ли́ра-А10” используется зеркальная антенна с двухлучевой диаграммой направленности, выполненная в виде

отражателя и блока облучателей. Блок облучателей состоит из двух рупоров. Один рупор работает на прием-передачу и формирует нижний луч антенны, второй — только на прием и формирует верхний луч.

Передающие устройства как в РЛК “Утес”, так и в АРЛК “Лира-А10” функционально состоят из двух (по числу излучаемых частот) независимых каналов. Основное отличие РЛК “Утес-Т” от РЛК “Утес-А” состоит в значении величины излучаемой мощности, необходимой для обеспечения требуемой дальности и вероятности обнаружения. Передатчики обеспечивают высокую стабильность амплитуды и фазы зондирующего сигнала, что является необходимым условием эффективности алгоритмов селекции движущихся целей.

Приемные каналы РЛК “Утес” и АРЛК “Лира-А10” выполнены по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты. Сигнал промежуточной частоты с выхода приемного устройства поступает на 14-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и далее на вход цифрового фазового детектора (ЦФД), формирующего квадратурные составляющие эхо-сигнала. Дальнейшая обработка эхо-сигналов осуществляется в цифровом виде. Система производит цифровую обработку сигналов и первичную обработку радиолокационной информации (ПОИ). Аппаратура для цифровой обработки сигналов осуществляет фильтрацию несинхронных импульсных помех, сжатие ЛЧМ сигнала, многоканальную доплеровскую фильтрацию с адаптацией к скорости ветра и стабилизацию уровня ложных тревог. В РЛК используется четырехканальная аппаратура обработки (по числу приемных каналов), выполненная на основе блока INDUSTRIAL PC. В блок входят четыре электронных модуля сигнальной обработки, модуль приема информации от датчика углового положения антенны и модуль коммутации и усиления сигналов синхронизации. Центральный процессор блока выполняет функции первичной обработки информации, вычисление координат центров пакетов эхо-сигналов и осуществляет передачу их в виде кодограмм по локальной вычислительной сети (ЛВС) на процессор вторичной обработки (ВОИ) и сопряжения с потребителями.

Процессор вторичной обработки по ЛВС (либо по каналу RS422) принимает также информацию от входящего в состав РЛК вторичного радиолокатора, производит отождествление с радиолокационной информацией (РЛИ) ПРЛ и их совместную вторичную обработку. Результат в виде кодограмм по узкополосным линиям связи передается потребителям. Одновременно РЛИ отображается на мониторе. Также на процессор вторичной обработки поступает и отображается информация системы автоматического контроля и управления (АСКУ).

Управление РЛК, включая выбор основных режимов работы и задание начальных условий функционирования, осуществляется с консоли процессора вторичной обработки. Кроме того, имеется возможность контроля технического состояния аппаратуры и управления с удаленного рабочего места дежурного инженера/техника — дистанционного терминала.

Вся аппаратура обработки сигналов и информации дублирована, что в сочетании с твердотельным или дублированным вакуумным передатчиком позволяет обеспечить высокую надежность комплексов и удобство эксплуатации. В настоящее время на позициях московского центра автоматизированного управления воздушным движением эксплуатируются три РЛК “Утес-Т” и один РЛК “Утес-А”, обеспечивая безопасность полетов в самом напряженном по интенсивности движения районе.

Другим направлением использования радиолокационной техники является получение информации о координатах ВО в интересах противовоздушной обороны. НПО “ЛЭМЗ” освоило серийный выпуск разработанного ОАО “КБ “Лира” мобильного всевысотного радиолокатора 96Л6 (рис. 3, см. 3-ю полосу обложки), который используется как средство автономного целеуказания в зенитных ракетных комплексах (ЗРК) типа С-300ПМ(У).

Современный бой требует высокой мобильности и автономности средств ЗРК, поэтому в радиолокаторе 96Л6 предусмотрена комплексная система топопривязки и ориентирования, использующая информацию космической группировки “ГЛОНАС”, а в мирное время и “GPS”. При отсутствии данных космической группировки “ГЛОНАС” топопривязка и ориентирование осуществляются по данным датчиков гироскопической системы курсокреноруказания и датчика пройденного пути. Низкооборотный некоксующийся маршевый двигатель самоходного шасси обеспечивает не только передвижение комплекса, но и электропитание аппаратуры при ведении боевой работы. Обмен данными по целеуказаниям с радиолокатором подсвета и наведения (РПН) осуществляется по радиорелейной или волоконно-оптической линии связи. Перечисленные меры позволяют входить в боевую работу с марша и производить свертывание для передислокации за время не более 5 мин. На стационарных позициях при использовании дополнительных средств защиты от противорадиолокационных ракет (активных средств, средств отвлечения), для увеличения рубежей выдачи целеуказаний по низколетящим целям антенная система РЛС 96Л6 может устанавливаться на специализированную унифицированную вышку 40В6М(Д)-Р с подъемом фазового центра на уровень 25 или 40 м.

Антенная система РЛС 96Л6 построена на излучателях бегущей волны в виде Ш-волноводов и позволяет получить низкий уровень ближних боковых лепестков диаграммы направленности (ДНА) в азимутальной плоскости (-35 дБ). Обзор по азимуту обеспечивается круговым вращением антенного устройства с помощью электрогидравлического привода, позволяющего вводить режимы замедления и ускорения вращения в заданных секторах в зависимости от решаемой задачи. Обзор по углу места обеспечивается управлением положением ДНА с использованием рпн-диодных фазовращателей, расположенных в каждой строке ФАР. Каждая секция фазовращателя охвачена системой автоматизированного контроля, диагностирующей неисправности типа “холостой ход” или “короткое замыкание”. Вычислительная система РЛС учитывает неисправности и корректирует управление фазовращателями с устранением ошибок. Углочастотная зависимость излучателей бегущей волны использована для формирования одновременно трех диаграмм направленности в азимутальной плоскости путем формирования зондирующих сигналов тремя клистронными передатчиками на трех разнесенных несущих частотах. Таким образом, РЛС построена на трех независимых приемо-передающих каналах, что с учетом управляемого привода вращения позволяет вести боевую работу при выходе из строя одного или даже двух приемо-передающих каналов с замедлением темпа вращения. Приемная система построена аналогично приемной системе РЛК “Утес” с переходом к цифровой обработке сигналов на промежуточной частоте. Зондирующие сигналы с внутриимпульсной ЛЧМ формируются также в цифровом виде на промежуточной частоте. Зондирующие сигналы сформированы с учетом положения ДНА по углу места и обрабатываемой зоны обнаружения по дальности. Дополнительно в РЛС формируются короткие корректирующие импульсы, которые служат для обеспечения фазовой стабильности передатчиков и одновременно для обнаружения эхо-сигналов в ближней зоне по дальности. Фазовое детектирование, корреляционное сжатие и обработка по алгоритму многоканальной доплеровской фильтрации производится в цифровом виде в каждом приемо-передающем канале сигнальным процессором. Вычислительная система производит первичную обработку информации (ПОИ) трех независимых каналов, а затем совместную вторичную обработку информации (ВОИ) координатных отметок с выхода каналов ПОИ. Информация на выходе каналов ВОИ подвергается обработке для постановки в очередь на выдачу целеуказаний в зависимости от времени нахождения в зоне поражения, направления и скорости полета средств воздушного нападения (СВН), состояния каналов сопровождения целей и управления ракетой. Решения принимаются в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах. Воздушная обстановка в координатах

азимут–дальность и дальность–высота, служебная информация и результаты автоматизированного контроля аппаратуры РЛС отображаются на цветном мониторе рабочего места оператора. Принятые меры по поддержанию фазовой стабильности приемо-передающей системы и алгоритмы цифровой обработки информации и управления режимами обнаружения позволяют в условиях мощных отражений от местных предметов, подстилающей поверхности, гидрометеоров и организованных помех минимизировать количество ложных целеуказаний до трех–пяти за 30 минут боевой работы.

Аппаратура обработки всех перечисленных РЛК и РЛС, как уже отмечалось, выполнена на современной элементной базе с использованием сигнальных процессоров и ПЛИС, что позволило резко сократить ее объем и увеличить надежность, а применение унифицированных технических решений позволило специалистам ОАО “КБ “Лира” за короткий промежуток времени разработать и внедрить в серийное производство целый ряд радиолокационных средств как гражданского, так и военного применения.

Статья поступила в редакцию 23.11.2006



Вячеслав Самсонович Ефремов родился в 1945 г., окончил МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1969 г. Канд. техн. наук, первый заместитель генерального директора – главный инженер ОАО “Конструкторское бюро “Лианозовские радары” (ОАО “КБ “Лира”). Автор более 40 научных работ в области радиолокации и теории обнаружения сигналов на фоне помех.

V.S. Yefremov (b. 1945) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1974. Ph. D. (Eng.), 1st deputy general director – chief engineer of the stock-joint company “KB “Lira”. Author of more than 40 publications in the field of radiolocation.