

К Т. ТУЧКОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Допущено
Департаментом воздушного транспорта
Министерства транспорта России
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений
гражданской авиации



МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 1994

Тучков Н. Т. Автоматизированные системы и радиоэлектронные средства управления воздушным движением: Учеб. для вузов — М.: Транспорт, 1994 — с. 368.

Изложены принципы построения автоматизированных систем УВД, их назначение, состав, классификация и эксплуатационно-технические характеристики. Даны основы теории и техники радиолокационного наблюдения и обработки сигналов для получения информации о координатах воздушных судов. Приведены структурные схемы радиолокационных станций и комплексов, эксплуатируемых службой УВД ГА. Рассмотрены методы и техника отображения радиолокационной и знаковой информации, структура и функционирование автоматических систем отображения и автоматизированных систем УВД.

Для слушателей Академии ГА и студентов вузов гражданской авиации.
Ил. 201, табл. 7, библиогр. 17 назв.

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук Козлов А. И. (МИИГА), д-р техн. наук Мокшанов В. И.

Заведующий редакцией Л. В. Васильева

Редактор И. В. Иванова

Федеральная целевая программа книгоиздания России

Т 3606040000-004
049 (01)-94 136-93 (КБ-7-274-1993)

ISBN 5-277-01511-6

© Н. Т. Тучков, 1994

Радиотехническое обеспечение (РТО) является одним из важнейших видов обеспечения полетов. Эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ) средств РТО в значительной степени определяют такие элементы организации воздушного движения, как пропускная способность и интенсивность полетов, параметры эшелонирования, т.е. оказывают большое влияние на безопасность, регулярность и экономичность движения. В связи с ростом интенсивности воздушного движения в последние два десятилетия резко возросли требования по улучшению ЭТХ средств РТО и к автоматизации функционирования средств РТО, а также процессов предварительного и текущего планирования воздушного движения.

Разработка предварительных (суточных) бесконфликтных планов полетов при высокой интенсивности воздушного движения (ИВД) для больших территорий с учетом пропускной способности всех критических точек воздушного пространства и согласования планов со смежными зонами УВД возможна только при автоматизации процессов планирования. То же можно сказать и о процессах текущего планирования, когда по мере поступления ВС на управление необходимо рассчитывать и прогнозировать бесконфликтные траектории для десятков ВС в каждом из секторов управления, а также сравнивать полученные результаты с предварительными планами. Для текущего планирования необходимо располагать информацией о планах полетов и о текущем и прогнозируемом местоположении всех самолетов, находящихся в зоне управления. Основными средствами, дающими эту информацию, являются обзорные радиолокационные комплексы (РЛК). Первичная и вторичная обработка множества сигналов, идущих от пассивного и активного каналов этих РЛК, начиная с обнаружения и прогнозирования траекторий ВС до отображения информации, невозможна без автоматизации их обработки. Задачи обработки информации, планирования и обеспечения непосредственного управления в той или иной мере решаются в современных автоматических системах управления воздушным движением (АСУВД) различного назначения.

Внедрение АСУВД в ГА началось с 1977 г., когда в аэропорту Пулково была принята в эксплуатацию система «Старт». К на-

чалу 90-х годов в ГА эксплуатировались три районных АСУВД и 14 аэродромных. Для нашей страны этого мало, поэтому планируются строительство и ввод большого числа автоматизированных систем типа «Старт», «Спектр» и «Трасса». Многие районные центры оснащены системами УВД с малой автоматизацией, такими как комплекс вторичной радиолокации с аппаратурой отображения (АО) «Строка-Б»-«Страница», на смену ей пришла АО «Строка-2», а затем придет «Строка-Ц». Аэропорты оснащаются системами УВД с АО «Символ-Д», которая заменит АО «Знак».

Для обеспечения работы этих систем и аппаратуры районы расположения воздушных трасс и крупных аэропортов оснащаются современными радиолокационными комплексами «Скала-МПП», «Скала-МПА» и «Экран-85», новыми АРП и другими средствами.

К АСУВД и всем другим средствам РТО предъявляются высокие требования по эффективности, целостности, удобству обслуживания и многие другие. Эти требования можно выполнить при использовании во всех подсистемах и устройствах АСУВД современных научно-технических достижений, новой элементной базы (микросхем, интегральных и твердотельных элементов, новых технологий по обработке сигналов, а также двукратного, а в некоторых случаях и трехкратного элементного, блочного и функционального резервирования). Служба УВД оснащена очень сложными системами и аппаратурой, поэтому работающий с этой техникой персонал должен иметь высокую техническую подготовку. Из числа диспетчеров комплектуются руководители многих организационных структур службы УВД и подразделений аэропортов и управлений ГА. Хорошее знание назначения, эксплуатационных данных технических средств и систем УВД обеспечит взаимопонимание руководителей организационных подразделений, диспетчеров, руководителей полетов и инженерно-технического состава, а от их согласованной работы зависит не только эффективность функционирования систем, но и безопасность полетов.

При изложении теоретической части материала наибольшее внимание уделено эксплуатационно-техническим характеристикам основных типов средств наблюдения, использующихся в АСУВД, и методике расчета зон обзора РЛС с учетом статистического характера процесса обнаружения и реальных условий эксплуатации.

Определение задач, которые должны решать АСУВД, их классификация и общая структура как главные целевые вопросы рассмотрены в начале учебника. Затем рассмотрены частные, такие как эксплуатационные и технические характеристики первичных и вторичных РЛС различного назначения, их устройство и функционирование, методы расчета и построения зон обзора, структура запросных и ответных сигналов, автоматическая обработка радиолокационной информации, методы и устройства защиты РЛС от воздействия естественных помех, а также обеспечение электромагнитной совместимости их работы в реальных условиях. Для посадочных радиоло-

каторов определены закономерности построения и изображений на экранах РЛС и методы работы диспетчера с изображением. Во всех необходимых случаях приведены сведения о рекомендациях ИКАО (ИКАО — International Civil Aviation Organization) и нормах, принятых ранее для стран, входивших в СЭВ, к РЛС УВД.

В связи с тем что диспетчер основное время работает на пульте управления с различными индикаторными устройствами, в учебнике большое внимание уделено методам отображения различного вида информации и устройствам их реализации. Изложены назначение, эксплуатационно-технические характеристики, структура и функционирование систем автоматического отображения моделей обстановки УВД, таких как «Строка-Б»-«Страница», «Символ-Д» и «Строка-2», а также все отечественные автоматизированные системы УВД: «Старт», «Спектр», «Трасса» и «Стрела».

Последний раздел учебника посвящен перспективам развития систем обеспечения УВД, необходимости и возможным путям создания космических (спутниковых) систем связи, навигации и наблюдения.

Автор выражает глубокую признательность рецензентам — заслуженному деятелю науки и техники, проф., д-ру техн. наук А. И. Козлову и д-ру техн. наук, ст. науч. сотруднику В. И. Мокшанову, замечания которых с благодарностью были приняты автором учебника и учтены в окончательном варианте рукописи, а также товарищу по многолетней совместной работе в Академии гражданской авиации доц., канд. техн. наук В. Г. Лаптеву, советы и внимание которого были чрезвычайно полезны при работе над учебником.

1.1. Необходимость автоматизации процессов УВД

Задачей УВД в организованном воздушном пространстве (ВП) является проведение комплекса мероприятий по оптимальной организации полетов множества ВС в контролируемой зоне. Часть этих мероприятий заключается в проведении долговременного, суточного и текущего планирования и непосредственного (оперативного) управления. Результаты всех видов планирования должны удовлетворять критериям: обеспечения максимума удобств пассажирам по времени отлета и прибытия, бесконфликтности траекторий полетов и экономичности полета ВС. Выполнение указанных задач при интенсивном воздушном движении (ИВД) практически невозможно без автоматизации их решения.

Долговременное планирование (ДП) имеет целью создание сезонных (летнего и зимнего) расписаний и проводится по специальной методике и программам (АСУ «Расписание») и в область задач, решаемых АСУВД, не входит. Долговременное планирование реализуется при суточном планировании и заключается в выборе и использовании исходных данных о рейсах, аэропортах и времени вылета и прилета в течение планируемых суток.

Суточное планирование (СП) полетов проводится для создания плана полетов в контролируемой зоне УВД на очередные сутки. Проводится анализ маршрутов, составляются траектории полета каждого ВС. При этом должно быть соблюдено соответствие интенсивности планируемых потоков пропускной способности всех участков воздушных трасс. СП базируется на сведениях из центрального расписания, заявках на полеты, получаемых от летных подразделений, от отдельных экипажей и других ведомств. При разработке СП учитывают ограничения, оказывающие влияние на полеты из-за состояния технических средств (аэропортовых, связи, радионавигационных, радиолокационных и т. д.), а также ограничения полетов по метеоусловиям во всех районах контролируемой АСУВД зоны и в смежных зонах УВД; рассчитывается ожидаемая загруженность центров УВД, отдельных зон ВП и его критических точек, проводится сравнение расчетных значений ожидаемой загрузки с пропускной способностью рассматриваемых элементов ВП. При этом выбираются эшелоны и маршруты, в критических точках трасс сглаживаются

возможные перегрузки, корректируется время вылетов, рассчитывается время пролета контрольных точек и т. д. Результаты СП рассылают соответствующим адресатам. Так как указанные выше задачи предварительного СП решаются заранее, то для их выполнения не требуется очень высокого быстродействия расчетных средств. Однако эти же средства должны при необходимости выполнять задачи оперативного СП, т. е. задачи контроля и корректировки (перепланирования) СП. Корректировка может оказаться необходимой в случае задержек вылетов или изменения пропускной способности некоторых зон (из-за метеоусловий, ремонта техники и других причин). Решение этих задач требует высокой оперативности ввода информации и значительного быстродействия расчетных средств, иначе может быть не обеспечена равномерная нагрузка на различные узловые точки зоны УВД и возможны крупные продолжительные сбои ВД.

Текущее планирование (ТП) — разработка в реальном времени бесконфликтных пространственно-временных траекторий потоков ВС, находящихся в контролируемом ВП. Это планирование начинается с момента получения сведений о времени и месте входа ВС в контролируемое ВП и продолжается все время полета в нем, т.е. спланированные траектории могут изменяться при изменении условий полета в связи с появлением новых ограничений или при обнаружении в результате расчетов возможной конфликтной ситуации, а также при отклонении ВС от расчетной траектории. ТП продолжается до выхода ВС из зоны управления. Спланированные потоки упорядочиваются изменением маршрутов следования и распределения времени прохождения контрольных пунктов маршрута. Для этого необходимо иметь сведения об организации УВД, пропускной способности различных зон, хранить данные о всех планах полетов в контролируемой зоне, прогнозировать возможные нарушения пропускной способности и выработать рекомендации по изменению обстановки в нужных местах и к необходимому времени. Эти задачи решаются в районном центре с помощью ЭВМ. В АСУВД результатом ТП являются четырехмерные траектории полетов, которые хранятся в оперативной памяти ЭВМ и записываются на стрипах — специальных бланках (полоса бумаги или карточки). На стрипах показаны результаты расчетов и данные о том, для кого проведен расчет, на какое время и др. Текущие планы, рассчитанные по данным СП, называют пассивными. При вводе в ЭВМ флайт-плана (плана полета, составленного экипажем перед вылетом, на специальном бланке, имеющем стандартные вопросы) происходит активизация ТП, которая состоит в расчете нового ТП с учетом полученных данных. Результаты нового ТП печатаются на уточненных стрипах. При ТП учитывается пропускная способность всех критических точек в ВП, в котором планируется управление.

Анализируемые при решении задач планирования процессы являются случайными и требуют применения специальных методов оптимизации, разработки весьма сложных алгоритмов, их реализации

и проведения массовых расчетов, поэтому качественное решение как задач СП, так и ТП возможно только при автоматизации решения всех рассмотренных выше задач. В подтверждение можно сослаться на опыт работы групп организации потоков ВС. Анализ результатов планирования людьми этой группы показал, что из-за большой размерности решения задач, необходимости учета значительного числа различных критериев, проведения очень большого объема расчетов получаемых при «ручных» вычислениях результаты оказываются неоптимальными. Этот вывод был сделан в результате решения этих же задач на ЭВМ. Обобщенная функциональная схема обработки плановой информации в АСУВД приведена на рис. 1.1.

Непосредственное управление (НУ) можно подразделить на управление по траекториям текущих планов (УТ) и на управление с экстраполяцией данных (УЭ). УТ начинается после выхода ВС на расчетную траекторию полета с учетом заданных допусков (норм эшелонирования) и ведется на основании данных о расчетной траектории полета во времени и данных о местоположении ВС, которые могут быть получены как с помощью радиолокационного наблюдения, так и сообщены с ВС по каналам связи «экипаж—диспетчер». УЭ ведется без заранее рассчитанных траекторий полета ВС по данным о местоположении ВС, получаемым от РЛС или от экипажей. При этом учитывают сведения о заданной траектории полета и об имеющихся ограничениях. УТ — основной вид НУ, требующий

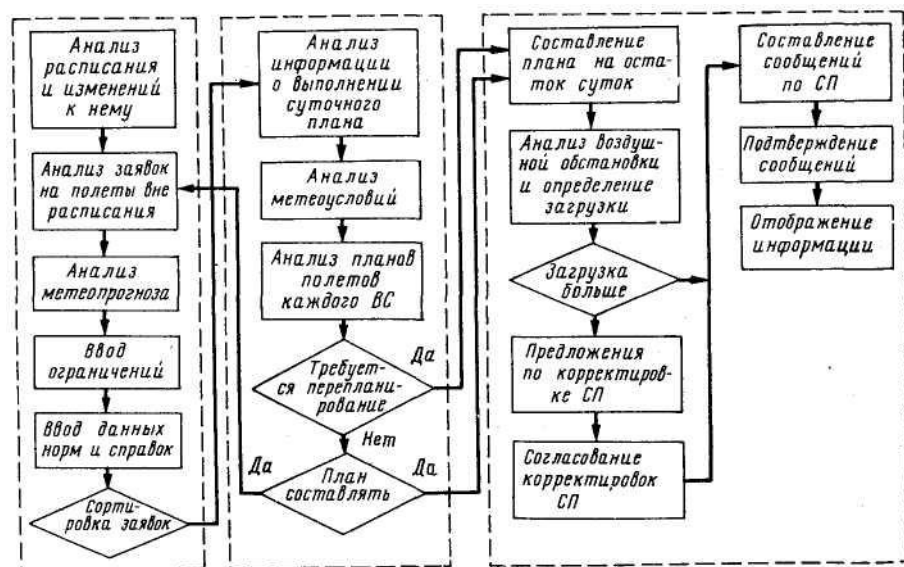


Рис. 1.1. Схема обработки плановой информации в АСУВД

множества действий, связанных с вычислительными процессами. Поэтому для качественного представления объема вычислений при НУ рассмотрим содержание задач, решаемых при УТ.

Рассматриваемое непосредственное управление осуществляется руководителем полетов и диспетчерами на базе модели обстановки УВД, состоящей из модели воздушной обстановки и модели условий УВД, отображаемых на экранах индикаторов воздушной обстановки, таблично знаковых индикаторах (ИВО и ТЗИ) и стрипах. Основная информация для создания модели ВО — динамическая и поступающая автоматически от аппаратуры подсистемы наблюдения, которая выдает в АСУВД радиолокационную информацию (РЛИ) в виде координат обнаруженных ВС и сведений о них, называемых сведениями о их состоянии (бортовой номер или позывной, высоту полета, заданный эшелон, запас топлива и др.). Эта информация используется для создания модели ВО и отображается на экранах индикаторных устройств в виде отметок ВС, линий прогноза их движения, формуляров, сопровождающих отметки, и других формуляров, изображаемых цифрами и знаками. На экранах отображается также модель условий УВД в виде картографической информации, к которой, в частности, относятся: границы районных центров и секторов, запретных зон, естественных образований (берег моря, озера, районы гроз и др.), воздушные коридоры и трассы, навигационные ориентиры, контрольные точки и др. Информация для воспроизведения модели условий УВД вводится в основном не оперативно обслуживающим систему персоналом.

Для воспроизведения этих двух видов моделей на экранах индикаторов требуется большое число операций по обработке информации. В качестве примера приведем краткий перечень основных из них: обнаружение сигналов, очистка их от ложной информации, измерение координат, расшифровка ответных сигналов, представление координат и ответной (полетной) информации в цифровых двоичных кодах, объединение информации, получаемой от первичных и вторичных каналов (ПРК и ВРК) радиолокаторов, хранение цифровой информации; идентификация относящейся к одним и тем же ВС информации, полученной от радиолокационных комплексов (РЛК), находящихся на различных РЛ позициях, и имеющих общие области зоны обнаружения, при этом предварительно должно производиться приведение к единой системе координат ВС, измеренных по сигналам, полученным от различных РЛК; захват и взятие на автосопровождение координатной и полетной информации, полученной от обнаруженных ВС, регенерация информации с частотой 12,5...50 Гц для обеспечения непрерывного изображения и т. д. Следовательно, при непосредственном управлении ВД для воспроизведения модели обстановки УВД необходимо выполнить очень большой объем обработки, которая может быть осуществлена только при ее автоматизации и представлении информации в цифровом виде, т. е. на вычислительных комплексах (ВК) АСУВД.

Решение задач, связанных с созданием необходимых моделей, значительно усложняется в связи с высокой плотностью ВД на большинстве трасс и в районах аэродромов, причем в воздушном пространстве находятся ВС различного типа, принадлежащие разным ведомствам, имеющие различные параметры движения. При значительных скоростях сближения (по горизонтали на трассах до 2000 км/ч, в аэродромных зонах до 1200 км/ч, по вертикали до 40 м/с) в ряде случаев требуются очень быстрые решения по выработке рекомендаций для управления движением ВС. Эти положения подтверждаются современными характеристиками ИВД. В крупных аэропортах ИВД достигает 500...550 ВС в сутки, а на некоторых участках трасс — 350...400 ВС в сутки. В пиковые периоды суток ИВД возрастает до 100 ВС/ч, а под управлением одного диспетчера бывает до 20 и более ВС.

Известно, что более 70% времени диспетчер тратит на сбор, обработку и передачу информации. Так, например, в среднем экипаж и диспетчер обмениваются информацией 1 раз в 15 мин, на что расходуется 30...60 с, т. е. уже при 10 ВС диспетчер имеет свободные от связи интервалы времени 1...1,5 мин. Известно также, что число радиосвязей возрастает в квадратичной зависимости от числа управляемых ВС. Сократить их можно путем увеличения числа секторов ответственности, но при этом также по квадратичному закону в зависимости от числа секторов растет число связей по согласованию планов между диспетчерами. Это приводит к уменьшению времени нахождения ВС под управлением одного диспетчера и при увеличении числа секторов УВД может стать еще более затруднительным, эффективность его упадет, что может привести к снижению заданного уровня безопасности. Кроме того, с увеличением ИВД также пропорционально квадрату числа ВС растет число их вероятных сближений. Это требует совершенствования всех сторон обеспечения полетов, одной из которых является совершенствование технических систем, обеспечивающих УВД.

Сохранение безопасности полетов на заданном уровне при увеличении ИВД требует значительного снижения нагрузки на диспетчеров. Это возможно только при наличии автоматизированных систем УВД различного уровня автоматизации, необходимая степень которого зависит от ИВД. При этом автоматизации в первую очередь подлежат операции сбора, фиксации и отображения информации, поступающей из плановых органов, от средств наблюдения, экипажей, диспетчеров смежных зон.

Системы УВД являются автоматизированными, т.е. работают с участием человека-оператора в замкнутой цепи управления динамическими объектами (ВС) в отличие от автоматических, функционирующих без участия человека. Основной причиной создания автоматизированных систем является то, что диспетчеру часто приходится принимать решения в условиях значительной неопределенности в окружающей обстановке, при не полностью заданных

целях процесса управления, когда для принятия решения в некоторых случаях используется интуитивное представление о прогнозе рассматриваемого процесса. Модель оценки обстановки операторов и принятия решения в формализованном виде полностью пока не создана, поэтому в АСУВД решение этих трудно формализуемых задач анализа и принятия решения возлагается на человека-оператора, т. е. диспетчера и руководителя полетов. Такие системы называют полиэргатическими. Во всех современных АСУВД даже высокого уровня автоматизации оператор является активным, главным, решающим и управляющим звеном.

Современные АСУВД обеспечивают: высокое быстродействие; надежное проведение всех вычислительных процессов; значительное сокращение радиообмена с экипажами и диспетчерами смежных секторов (зон); получение бесконфликтных и оптимальных по экономическим критериям траекторий с учетом всей совокупности ВС; визуальное на экранах и печатное на бланках отображение текущего и прогнозируемого положения наблюдаемых ВС и их состояний; возможность оперативного изменения текущих планов полетов; непрерывный (без потерь) контроль и управление полетами ВС; возможность выработки сигналов предупреждения о конфликтных ситуациях и рекомендации по их устранению.

В гражданской авиации нашей страны с 1977 г. происходит активное, широкое внедрение АСУВД различного типа. Эксплуатация АСУВД значительно повышает показатели эффективности воздушного транспорта. Так, при эксплуатации АСУВД «Старт» и «Теркас» время обслуживания одиночного ВС было сокращено на 15...20 %, число связей диспетчера с экипажами и по каналам взаимодействия было уменьшено на 30 %, что привело к росту пропускной способности зоны на 12... 15 %, повышению возможности устранения потенциальных конфликтных ситуаций на 15...20 %, увеличению пассажирооборота на 17... 19 % и, кроме того, к сокращению удельного расхода топлива на 3...5 %. Внедрение АСУВД требует значительных капитальных затрат, но оно приводит к повышению безопасности полетов и к высокой эффективности использования ВП, сокращению задержек вылетов и прилетов, что вызывает значительное уменьшение эксплуатационных расходов.

1.2. Классификация систем УВД

Под системой УВД (СУВД) понимается совокупность: организованного для полетов воздушного пространства; объектов управления — ВС со средствами обеспечения их навигации и пилотирования; средств, обеспечивающих планирование ВД; средств наблюдения, связи и отображения информации; диспетчерского состава и экипажей ВС, действующих по определенным правилам и процедурам. Нашей задачей является изучение технических вопросов, поэто-

му в дальнейшем под наименованием АС УВД будем иметь в виду состав и структуру систем и средств, обеспечивающих получение, передачу, обработку, отображение информации и управление ВД. Классифицировать АС УВД можно по различным признакам, например: назначению систем и размерам контролируемого ВП, степени автоматизации и уровню решения функциональных задач, способу получения информации о местоположении ВС и используемым для этого средствам и другим важным признакам.

По назначению и размеру контролируемого ВП АСУВД делятся на районные (трассовые), аэродромные, аэроузловые и смешанные (трассово-аэроузловые и трассово-аэродромные). Такое деление вытекает из разбиения ВП на зоны. Для классификации наибольший интерес представляют две из них:

зона А: радиус до 500 км, как правило, с неизменной высотой полета, максимальная высота полета 18 000 м (в перспективе по рекомендации ИКАО до 21 000 м);

зона Б: радиус 100... 170 км с переменным по высоте профилем полета, верхняя граница высоты полета 8000 м.

АСУВД, предназначенные для контроля и управления ВД в зоне А, называются районными. Их зона ответственности — ВП над площадью 400... 1000 км². Такими системами, например, являются АСУВД «Стрела» и «Теркас».

АСУВД, имеющие радиус зоны ответственности, соответствующий зоне Б, называются аэродромными. Примером такой системы является АСУВД «Старт». В том случае, когда на ограниченной площади, соответствующей зоне Б, располагается несколько аэродромов, а контроль и УВД в зоне ведет одна АС, она называется аэродромно-узловой. Примером такой системы является АСУВД «Теркас-аэроузловая», обслуживающая Московскую аэроузловую зону, и АСУВД «Спектр», обслуживающая Ленинградскую зону, которая может иметь комплектацию аэродромной или аэроузловой системы. В состав аэродромных и аэроузловых систем входит также аппаратура, с помощью которой решаются задачи УВД и в других, кроме упомянутых, зонах (зона В — предпосадочного маневрирования радиусом 40 км с переходным эшелонном 1200...1500 м, зона Г — посадочная прямая—18...20 км от ВПП и зона руления).

Характерной особенностью районной АСУВД является наличие обеспечивающей ее сети радиолокационных позиций (РЛП) и приемопередающих центров радиосвязи (ППЦ). Так, например, в АСУВД Московской районной зоны используется семь РЛП, для АСУВД «Стрела» — пять РЛП, которые располагаются таким образом, чтобы в зоне ответственности РЦ существовало непрерывное радиолокационное поле, начиная с некоторой высоты (обычно 3000 м), а также непрерывное поле радиосвязи. Аэродромные АСУВД имеют, как правило, один резервированный источник радиолокационной информации. В аэроузловой АСУВД информацию может давать несколько РЛС.

Средства радиолокационного наблюдения представляют собой радиолокационные комплексы (РЛК), которые имеют в своем составе первичные и вторичные каналы (ПРК и ВРК) и, кроме того, автоматический радиопеленгатор (АРП). Эти средства, а также ППЦ располагаются на одной РЛП. Дальность действия РЛК определяется назначением обслуживаемой АСУВД и составляет для районных АСУВД 400...450 км, а для аэродромных и аэроузловых 100...200 км.

По степени автоматизации решения функциональных задач различают: неавтоматизированные (НСУВД), малой или частичной автоматизации (МАСУВД), автоматизированные 1, 2, 3-го уровня (АСУВД), автоматические (АВСУВД).

НСУВД применяются в зонах с малой ИВД. УВД здесь основывается на процедурном контроле, при котором о местоположении ВС диспетчер судит по докладам с борта. Простейшей НСУВД является система, состоящая из маршрута и текущего плана полета, экипажа ВС, линии связи и диспетчера. Дальнейшим ее развитием является система, включающая в качестве средства наблюдения первичную РЛС или РЛС, имеющую как первичный, так и вторичный каналы (ПРК и ВРК соответственно). На экране индикатора отображаются координатные отметки ВС. При наличии ВРК возможно отображение полетной информации на отдельном электронном (ламповом) устройстве. На рис. 1.2 показана такая система совместно с объектом управления — ВС и его бортовой аппаратурой. В этих системах все операции сбора, обработки, анализа, принятия решения и выдачи указаний экипажу выполняются диспетчером.

Системы МАСУВД обслуживают зоны ВП с малой и средней ИВД. В системе автоматизированы все рутинные (простые) многократно повторяющиеся операции по сбору, обработке и отображению радиолокационной информации. В состав средств наблюдения, обслуживающих эти системы, входят первичные и вторичные РЛС, а также АРП. В системе с помощью аппаратуры первичной обработки информации (АПОИ) автоматизированы процессы обнаружения и измерения координатной и обработки полетной (от ответчиков) информации

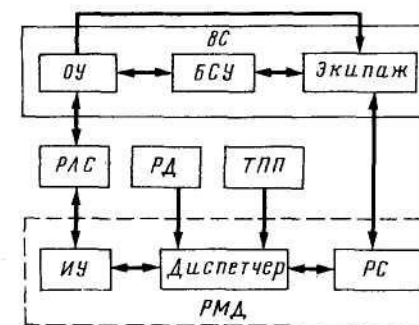


Рис. 1.2. Структурная схема неавтоматизированной системы УВД: ОУ — объект управления; БСУ — бортовая система управления; РД — регламент диспетчера; ТПП — текущий план полета; ИУ — индикаторное устройство; РС — радиостанция; РМД — рабочее место диспетчера

о состоянии ВС. Эти данные передаются на аппаратуру отображения (АО) с помощью аппаратуры передачи данных (АПД). Аппаратура отображения предназначена для создания модели обстановки УВД, состоящей из динамической модели ВО и статической модели условий УВД. В модели ВО, кроме координатной и полетной информации, отображается также дополнительная информация (вводимая диспетчером) и, кроме того, может воспроизводиться ограниченная плановая информация, например списки ожидания о прилетающих и вылетающих ВС. Модель условий УВД содержит ранее указанную информацию. В аппаратуре отображения используют индикаторные устройства, в которых применяются телевизионные (ТВ) или радиолокационные (РЛ) принципы развертывания изображения. Так, в АО «Строка-Б» — «Страница» и в АО «Строка-2» индикаторы ТВ-типа, а в АО «Знак» и «Символ-Д» — радиолокационного.

Характерной особенностью МАСУВД является возможность проведения операций автозахвата и автосопровождения (АС), т. е. запись по результатам очередных обзоров в некоторую область памяти координатной и полетной информации, получаемой через АПОИ от ПРК, и ВРК о каждом ВС, последующее ее запоминание и выдача для воспроизведения символами отметок целей и формулами сопровождения (ФС). Последние размещаются вблизи отметок целей и соединены с отметками векторами-указателями. В ФС указывается также номер канала АС для информации диспетчера о занятости каналов. Объем информации, отображаемой в ФС, может изменяться управлениями, вводимыми диспетчером, от полностью заполненного ФС до номера канала АС. В 80-х годах такие системы широко вводятся в эксплуатацию.

АСУВД являются системами высокого уровня автоматизации процессов получения, обработки, передачи и отображения значительных масс плановой и радиолокационной информации. Кроме того, в АСУВД, предназначенных для УВД в крупных зонах, объединяющих несколько РЦ, решаются задачи предварительного (суточного), а не только текущего планирования. Об уровне загрузки существующих АСУВД автоматическими операциями по обработке координатной и полетной информации дает представление табл. 1.

Таблица 1

АСУВД	Число	
	обрабатываемых целей	каналов автосопровождения
Старт	Без ограничений	36
Спектр	145	50
Трасса	100	25
Стрела	300	200

Системы АСУВД различаются между собой уровнем автоматизации. Принято следующее деление АСУВД на этапы по уровню автоматизации: существующие, первого этапа и второго этапа. Уровень автоматизации характеризуется функциями, автоматически выполняемыми в системах. В существующих системах могут быть автоматизированы следующие функции: предварительное планирование, обработка и отображение плановой информации: обработка и отображение информации (радиолокационной, введенной диспетчерами и рассчитанной ЭВМ), передача данных. Все перечисленные функции обеспечивают создание визуальных моделей обстановки УВД и печатных знаков для непосредственного УВД. Объем выполняемых функций зависит от назначения АСУВД. Так, например, функция предварительного суточного планирования предусмотрена только в АСУВД «Стрела», «Теркас» и «Спектр». При выполнении предварительного планирования решаются следующие задачи: автоматический прием и контроль принятых сообщений, в том числе по ограничениям полетов; автоматизированное составление суточного плана и автоматический контроль суточного плана на соответствие принятым критериям.

Задача обработки и отображения информации — радиолокационный контроль линий пути ВС. При этом автоматически решаются следующие частные задачи:

- прием и запоминание координатной и полетной информации от АПОИ;
- захват координат ВС и ввод координатной и плановой информации в автосопровождение;
- сопровождение ВС по введенным данным;
- отображение на экранах индикаторов модели ВО по принятым радиолокационным, рассчитанным в ЭВМ и введенным диспетчером данным;
- отображение модели условий УВД по неоперативно вводимым данным;
- прогноз на 2...5 мин и отображение места и направления пути ВС;
- отображение информации от АРП по вызову диспетчера.

Кроме того, в модели условий УВД по вызову диспетчера отображается метеоинформация.

При передаче данных автоматически решаются следующие задачи:

- формирование после первичной обработки информации обобщенных сообщений по данным, полученным от средств наблюдения;
 - передача и прием сообщений;
 - ввод плановой и радиолокационной информации в ЭВМ;
 - обмен информацией между смежными центрами УВД;
 - передача и прием ВС на управление между смежными зонами.
- Последние две задачи планировались к реализации только в районных АСУВД.

В соответствии с документами ИКАО в АСУВД должна быть основанная на радиолокационных данных сигнализация о конфликтных ситуациях, выдаваемая с небольшим временем упреждения.

В перспективных АСУВД на первом этапе предусматривается автоматическое выполнение следующих функций:

- анализа СП и его корректировки при неудовлетворении проекта СП принятым критериям;

- организации потоков воздушного движения;

- выявления конфликтных ситуаций и сигнализации о них диспетчеру;

- сравнения радиолокационных данных о полете ВС с планом полета и сообщение о результатах диспетчеру;

- определения очередности захода на посадку.

На втором этапе в перспективных АСУВД предусматривается автоматическое выполнение следующих функций:

- осуществления бесконфликтного планирования;

- выявления конфликтных ситуаций и выдачи диспетчеру консультативных рекомендаций по их разрешению.

Ставятся также задачи автоматизации некоторых операций диспетчера при непосредственном управлении и автоматическая связь «ВС—земля». За диспетчером останутся общая оценка ВО и принятие решений по стандартным ситуациям, т. е. нагрузка на диспетчера значительно уменьшится, что позволит увеличить эффективность его труда. Кроме того, для систем будущего в документе ИКАО ФАНС-4 указывается на задачу об автоматическом осуществлении в АСУВД следующих функций:

- прогнозирования траектории полета для гибкого выбора маршрутов (осуществления зональной навигации);

- прогнозирования траекторий, основанного на фактических характеристиках ВС;

- прогнозирования траектории по трем координатам в пространстве и по времени и создание управляющих алгоритмов;

- оптимизации ВД на основе индивидуального выделения траекторий по трем координатам в пространстве и по времени для ВС, оборудованных системой оптимизации полета;

- расчета оптимальных траекторий для ВС, не оборудованных системой оптимизации режимов полета;

- контроля данных по трем координатам в пространстве и по времени.

Автоматические системы УВД, работающие без участия диспетчеров и руководителей полетов, к разработке в настоящее время не планируются. По-видимому, всегда, даже в АСУВД высокого уровня технического совершенства, для авиации, эксплуатируемой на скоростях дозвуковых или ненамного превышающих их, останется место для человека, обязанностью которого будет контроль решений, выработанных системой. Автоматические системы УВД могут потребоваться тогда, когда временные характеристики инерционно-

сти мышления и действия человека-оператора будут больше времени, необходимого для принятия решения и выдачи управляющих воздействий.

По способу получения информации о местоположении ВС АСУВД делятся на процедурные, радиолокационные, космические и смешанные.

В процедурных системах источником информации о МПВС являются экипажи, в радиолокационных — радиолокаторы и АРП. В космических системах УВД (связи, навигации и наблюдения) информацию о МП можно получать с помощью космических (спутниковых) систем (КС). Они обеспечивают определение МП одним из способов, принятых в навигации (например, дальномерным или псевдодальномерным) при использовании для наблюдения за ВС зависимого или независимого метода наблюдения.

В первом случае МПВС вычисляется на борту ВС и передается в наземный центр УВД непосредственно либо через искусственные спутники Земли — ретрансляторы. Во втором случае МПВС определяется в наземном центре, куда передаются необходимые для этого параметры, полученные на ВС с помощью навигационных спутников. В смешанных системах могут использоваться различные сочетания названных систем в зависимости от оснащения рассматриваемой зоны различными типами источников информации для навигации ВС и наблюдения за ними.

1.3. Обобщенная структура автоматизированной системы УВД

Структура АСУВД (состав, типы оборудования и связи между элементами системы) зависит от их назначения, но все системы имеют общие черты, наличие которых позволяет показать обобщенную структурную схему АСУВД (рис. 1.3). В развитой (по объему и важности решаемых задач) системе решаются две основные группы задач: планирования ВД и непосредственного управления ВД. Наиболее четко наличие структур, обеспечивающих решение той и другой задачи, выражено в АСУВД, обслуживающих трассы и крупные районы. Они состоят из следующих двух основных систем наблюдения за воздушным пространством и собственно АСУВД, включающей: аппаратуру передачи данных (АПД) между подсистемами и связи (телефонной и радио); аппаратуру ввода и обработки плановой информации (АОПЛИ), обработки радиолокационной и радиопеленгационной информации (РЛИ и РПИ), обработки метеоинформации и других ограничений полетов (АОМД), обработки и отображения информации планов полетов и моделей обстановки УВД на индикаторных устройствах пультовой аппаратуры рабочих мест руководителя полетов и диспетчеров; комплекс проверки, контроля и отображения работоспособности составных частей и системы в целом

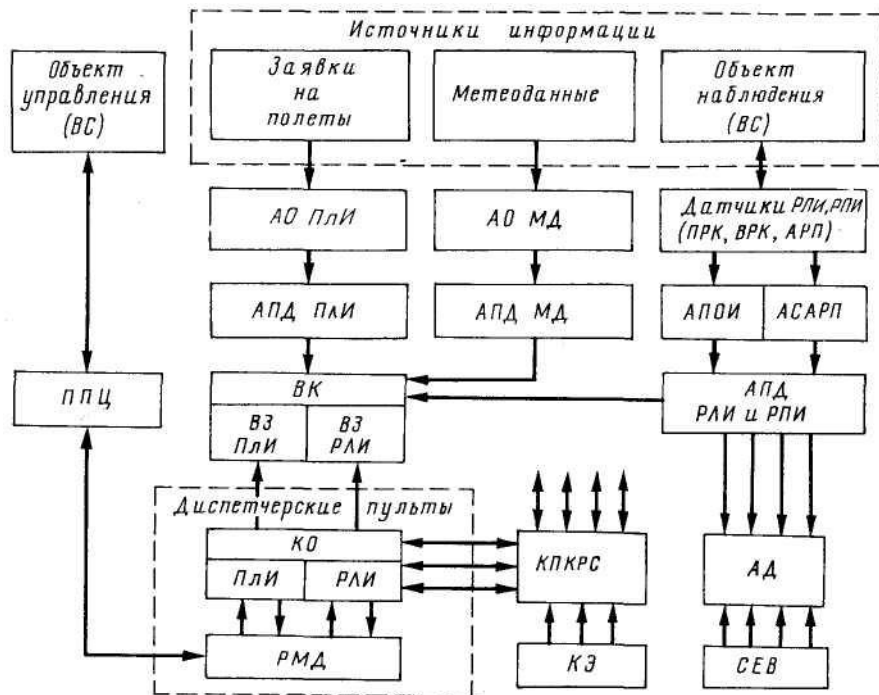


Рис. 1.3. Структурная схема АСУВД

(КПК РС), документирования плановой и радиолокационной информации (АД); системы службы единого времени (СЭВ) и комплекса энергопитания (КЭ).

Часть системы, предназначенная для получения и обработки плановой информации, включает: датчики, преобразующие в двоичные коды вводимую плановыми органами информацию о заявках на полеты и обеспечивающие ввод ее в АПД; части общего для АСУВД вычислительного комплекса (ВК) в виде вычислительного звена (ВЗ) для обработки плановой информации и подсистему отображения плановой информации. Объем задач планирования, решаемых в АСУВД, зависит от ее назначения и уровня автоматизации. Вычислительный комплекс работает по оптимальным алгоритмам и программам обработки информации. Плановая информация предварительно формализуется, устройства ее ввода могут быть печатающие устройства — телетайпы, выходные устройства узкополосных линий передачи данных, устройства ввода данных с рабочих мест диспетчеров (РМД) организации потоков и рабочих мест групп радиолокационного управления, а также выходные устройства фиксированной сети связи АФТН.

Из планового ВЗ информация поступает на аппаратуру отображения плановой информации: таблично-знаковые индикаторы (ТЗИ) и механические стрипопечатающие устройства (СПУ). Эти операции выполняются автоматически в соответствии с программами управления обменом информацией. Кроме того, часть плановой информации поступает на второе ВЗ, решающее задачи обеспечения непосредственного УВД. ТЗИ устанавливают на рабочих местах диспетчеров организации потоков, процедурного контроля и их ассистентов. Они предназначены для отображения плановой и справочной информации, такой как информация о планах полетов, формализованных сообщений по УВД, списков прилета и вылета по аэродрому, пролета пунктов обязательных донесений и др. СПУ установлены на рабочих местах диспетчеров ассистентов, на пультах управления диспетчеров подхода, круга и т. д.

Стрипы имеют общую для всех диспетчерских мест форму, но для каждого их вида имеются свои особенности в объеме и виде печатаемой информации. Они могут содержать: сведения для опознания ВС, тип ВС, направление и скорость полета, признак наличия ответчика; информацию о пунктах обязательных донесений; признак правил, по которым выполняется полет (например, ПВП или ППП); аэродром вылета и назначения, запрошенный эшелон, эшелон из плана, номер рейса, символ диспетчера и др. Стрипы используются при процедурном контроле УВД. Располагая стрипы по секциям панели на пульте, диспетчер создает модель планируемой и текущей воздушной обстановки, поэтому информация на стрипах некоторое (небольшое) время позволяет осуществить УВД в случае отказа средств наблюдения.

Планирование связано с необходимостью согласования планов со значительным числом органов УВД как находящихся недалеко от РЦ, так и разнесенных порой на сотни и тысячи километров. Процесс планирования требует автоматического обмена большим количеством информации. Для дальней связи используются междугородные телеграфные и телефонные линии связи по проводам, тропосферные радиопередачи, радиорелейные линии. Для связи с внутрисистемными датчиками и потребителями применяют узкополосные линии АПД.

Система, предназначенная для получения радиолокационной и радиопеленгационной информации, включает: датчики РЛИ и РПИ в виде радиолокационных комплексов (РЛК) и автоматических радиопеленгаторов (АРП). РЛК имеют первичные и вторичные каналы. АРП и РЛК размещаются вместе на одной позиции, называемой радиолокационной (РЛП). Здесь же обычно расположен и метеорологический радиолокатор (МРЛ). АРП является дополнительным средством наблюдения, которое используется при наличии на экране индикатора сложных условий обнаружения целей, т. е. значительного

числа отметок ВС, особенно при отсутствии на некоторых ВС бортовых ответчиков вторичной радиолокационной системы (СВРЛ).

ВРК дают более надежную информацию обнаружения ВС, чем ПРК. Это происходит из-за того, что ВРК работает по прямому ответному сигналу, а не по отраженному, как ПРК. ВРК имеет преимущества перед ПРК в том, что с его помощью, кроме координатной, получается полетная информация о состоянии ВС, содержащаяся в ответном сигнале. Однако ПРК в составе РЛК необходим, так как пока не все ВС оборудованы ответчиками и, кроме того, очень важно то, что с помощью ПРК получают оперативную информацию о грозовой обстановке.

Информация от всех находящихся на РЛП средств передается с помощью узкополосных линий АПД кодированными сообщениями. Эти сообщения подготавливаются: от РЛК — в аппаратуре первичной обработки информации (АПОИ), от АРП—в аппаратуре сопряжения (АС АРП).

Метеообеспечение полетов в аэропортах в зависимости от их класса осуществляют: главный и зональные метеорологические центры, аэродромные метеостанции I...IV разрядов, оперативные метеогруппы и аэрометеорологические посты. При разработке текущих планов (ТП) учитываются фактическая погода в аэропортах вылета, прогнозы погоды, опасные явления на маршрутах полетов, в аэропорту посадки и на запасных аэродромах. Для этого АСУВД обеспечивается оперативной информацией от МРЛ, расположенных на всех РЛП, сведениями аэрологического зондирования, информацией от средств метеонаблюдения, расположенных у ВПП.

Метеоинформация передается по стандартным телеграфным каналам на устройства ввода ЭВМ. Обработка, обобщение и учет в планах полетов метеоинформации производится по специальной программе, которая обеспечивает также и представление информации потребителям в составе и форме, удобной для работы операторов-синоптиков и диспетчеров.

От АПОИ и АС АРП радиолокационная информация поступает на АСУВД и ВЗ. Здесь производятся построение и прогнозирование траекторий всех обнаруженных ВС *да* базе сглаженных в ВЗ координат и параметров движения ВС. Полученные результаты являются исходными для текущего планирования, заключающегося в разработке четырехмерных бесконфликтных траекторий полетов (пассивных планов) и их активизации. Для этого рассчитывают новый ТП после получения сведений из введенного флайт-плана. ВЗ решает задачи в соответствии с выполняемыми при непосредственном управлении функциями, которые изложены в предыдущем разделе, и для этого создает на рабочих местах руководителя полетов и диспетчеров модель обстановки УВД. Информация отображается на диспетчерских индикаторах, которые называют координатно-знаковыми (КЗИ). На экранах КЗИ воспроизводится модель обстановки УВД (модель ВО и модель условий УВД). Воз-

можный общий объем отображаемой информации определяется конкретной АСУВД. Содержанием и местом расположения информации на экране управляют диспетчеры. На экране КЗИ в модели ВО отображаются также дополнительные сведения о состоянии конкретных ВС, рассчитанные в ВЗ, а также введенные диспетчером с пульта управления, размещенного на рабочем месте диспетчера (РМД).

Диспетчерские индикаторы являются индивидуальными, т. е. с каждым из них работает один диспетчер. Они могут быть радиолокационного или телевизионного типа. На радиолокационных и электронно-лучевых трубках модели ВО и условий УВД могут отображаться различным цветом. Индикаторные устройства обеспечивают непрерывное изображение на экране. Для этого в телевизионном индикаторе осуществляется повторение кадров, а в радиолокационном — регенерация изображения с частотой 12,5...50 Гц, для чего информация, подлежащая воспроизведению, предварительно запоминается на цифровых элементах, а затем учитывается с необходимой частотой.

Диспетчеры УВД работают за пультами управления, на которых установлены устройства отображения, платы с функциональными клавишами для ввода в систему необходимых данных, платы с органами регулировки для управления качеством изображения, микрофоны, громкоговорящие устройства, устройства управления радиотелефонной связью с диспетчерами смежных секторов (зон) и экипажами ВС, а также другие необходимые для работы диспетчера органы управления.

Связь с ВС, диспетчерскими пунктами смежных зон УВД и другими удаленными объектами обеспечивается радиостанциями приемопередающего центра (ППЦ).

Аппаратуру на пультах устанавливают так, чтобы обеспечить диспетчеру наилучшие условия работы. Пульты диспетчеров непосредственного управления ВД имеют до трех рабочих мест: диспетчера радиолокационного управления, диспетчера процедурного контроля (оператора) и ассистента. Последние два расположены рядом, каждое в своей секции общего пульта. С одного пульта обеспечивается УВД в одном секторе ВП. Общее число пультов диспетчеров в системе определяется организацией воздушного движения, т. е. числом зон управления в воздухе и на земле.

Зоны управления и пульты диспетчеров, их обеспечивающих, показаны на рис. 1.4.

В АСУВД используются ВК с сосредоточенной, распределенной или со смешанной структурой. В ВК с сосредоточенной структурой для выполнения большого объема работ суточного и текущего планирования и непосредственного управления используются одна-две ЭВМ. Так, например, районная РАС УВД «Стрела», где нужно обрабатывать громадный объем плановой и радиолокационной информации ВК, имеет два звена, обеспечивающих отдельную обработку плановой и радиолокационной информации. Аналогично и в аэро-

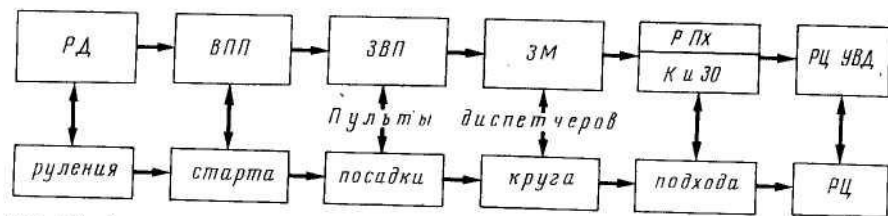


Рис. 1.4. Зоны управления и диспетчерские пульты, их обеспечивающие:
 РД — рулевая дорожка; ВПП — взлетно-посадочная полоса; ЗВП — зона взлета и посадки; ЗМ — зона маневра (круг); РПХ — район подхода; К и ЗО — коридоры и зона ожидания; РЦ УВД — районный центр УВД

дромной АСУВД «Спектр» также два ВК. В АСУВД «Старт» решаются только задачи непосредственного управления, поэтому в ней один ВК-

ВК с распределенной вычислительной структурой являются многомашинными. Каждая ЭВМ (процессор) выполняет отдельную задачу. Такой ВК имеется в АСУВД «Трасса». При смешанной структуре ВК, кроме основной ЭВМ, имеются другие, которые решают задачи меньшего объема, такие как ввод и вывод информации, управление отображением и т. д. Распределенные структуры более перспективны, как по надежности, так и по технической эффективности. У них время реакции лучше в 1,5...3 раза, чем в смешанной и сосредоточенной структурах соответственно, значительно меньше нагрузка центрального процессора: по радиолокационной информации в 1,7...2,7 раза, а по плановой в 1,6...1,8 раза. Кроме того, не все процессоры размещаются в КДП. Часть их располагается на вынесенных РЛП.

ВК обязательно резервируются, а в двухзвенном ВК звенья взаимозаменяемы, что позволяет в крайнем случае работать с одним звеном, обрабатывая только радиолокационную информацию. ЭВМ решают все задачи на базе логических и арифметических операций по введенным в память ЭВМ программам, которые могут корректироваться и заменяться. Программы увязаны друг с другом в единую систему программ и управляются специальной программой, которая управляет приоритетностью программ, распределяет память и производит реконфигурацию ВК в случае выхода из строя его частей. Оба звена ВК имеют устройства ввода и вывода, которые осуществляют связь с источниками информации и комплексом аппаратуры отображения РЛИ. ВК имеет программное обеспечение, которое определяет и оптимизирует процессы автоматического сбора, обработки и отображения информации, а также и других процессов, обеспечивающих решение задач управления комплексом технических средств. Диспетчерскому составу информация представляется в объеме, форме и последовательности, соответствующих технологии работы диспетчеров. Программное обеспечение построено

по модульному принципу с иерархической организацией отдельных модулей.

Приемопередающий радиоканал обеспечивает диспетчерскую двустороннюю связь с экипажами ВС в метровом и дециметровом диапазонах волн, а в других диапазонах связь с взаимодействующими органами УВД. К ним относятся зональный центр, соседние РЦ, аэродромы, аэропорты, метеоцентры, иные ППП. Могут использоваться также радиорелейные и тропосферные радиолнии. С перечисленными потребителями имеется также междугородная, а если надо, то и международная телеграфная и телефонная связь.

Комплекс аппаратуры передачи данных (АПД) осуществляет прием, обработку и двусторонний обмен информацией с периферийными и взаимодействующими объектами системы. Этими средствами являются аппаратура для передачи плановой информации (АПД ПЛИ), аппаратура передачи радиолокационной и радиопеленгационной информации (АПД РЛИ и АПД РПИ) соответственно. Сообщения передаются в двоичных кодах по узкополосным кабельным линиям со скоростью 2400 бит/с. При близком расстоянии от КДП до РЛП (5...10 км) передача РЛИ может идти по широкополосному кабелю в аналоговом виде. В этом случае диспетчерские индикаторные устройства имеют возможность воспроизводить аналоговую координатную информацию.

На КДП размещается также комплекс отображения технического состояния системы, который автоматически получает информацию от встроенных датчиков контроля параметров, характеризующих работоспособность аппаратуры и различных устройств АСУВД. В больших АСУВД этот комплекс средств распределен по подсистемам.

Аппаратура документирования (АД) в АСУВД обеспечивает непрерывную регистрацию на магнитных носителях всей входной информации, команд, вводимых диспетчером, информации, получаемой от РЛК и АРП, информации, отображаемой на различных индикаторах системы, внутренних и внешних телефонных и радиопереговоров. В состав этой аппаратуры могут входить устройства печати итоговых отчетно-статистических документов.

АСУВД имеет также аппаратуру сигналов единого времени, которые поступают на ВК и средства АД.

Все АСУВД имеют автономную систему гарантированного электропитания, в которой используются мощные дизель-генераторные агрегаты, обеспечивающие подачу энергии в случае отключения промышленной сети.

2.1. Основные сведения

Радиолокация — область радиотехники, содержанием которой являются методы и средства наблюдения объектов, отражающих или излучающих электромагнитные волны (ЭМВ). Объекты наблюдения называются радиолокационными целями. Результатом наблюдения является обнаружение целей, измерение их координат, а в необходимых случаях и скорости. Устройства, решающие эти задачи, называются радиолокационными станциями (РЛС). Совокупность сведений, получаемых с помощью РЛС, называется радиолокационной информацией. Информацию несут радиолокационные сигналы. Для РЛС ГА это сигналы, отраженные целью (ВС) или излученные ответчиком, расположенным на ВС.

Радиолокационные методы наблюдения основаны на использовании следующих физических явлений: отражения радиоволн; постоянства скорости распространения радиоволн в однородной среде; возможности создания направленного излучения радиоволн.

В службе УВД применяются два вида радиолокации:

с пассивным ответом, при котором сигналы формируются в результате отражения объектами наблюдения зондирующих сигналов. РЛС, использующие этот вид радиолокации, называются первичными (ПРЛС);

с активным ответом, при котором сигналы формируются как ответы с ВС на запросы, излучаемые наземной РЛС. Ответный сигнал несет не только координатную, но и дополнительную (полетную) информацию о состоянии ВС: о бортовом номере, высоте полета, а также остатке топлива, векторе скорости ВС, об аварии на борту, потере радиосвязи и несанкционированном вмешательстве в действия экипажа. РЛС, использующие этот вид радиолокации, называются вторичными (ВРЛС).

РЛС УВД измеряют две координаты: наклонную дальность R_n и азимут α . Наблюдение по углу места ведется только в посадочных РЛС. Высота полета с помощью РЛС не измеряется, так как она определяется на ВС баровысотомером и передается ответчиком.

Отраженные сигналы образуются в результате взаимодействия ЭМВ зондирующего импульса с объектами, физические свойства ко-

торых отличаются от свойств среды распространения. Параметрами, характеризующими физические свойства среды, являются электрическая и магнитная проводимости, диэлектрическая и магнитная проницаемости. Отраженная ЭМВ возникает из-за того, что электромагнитное поле волны вызывает на поверхности объекта вынужденные колебания свободных и связанных зарядов, синхронные с колебаниями падающей ЭМВ. В результате на всей поверхности объекта образуются токи, создающие вне объекта вторичное электромагнитное поле, т. е. ЭМВ, рассеивающиеся во всех направлениях. Эта волна и является радиолокационным сигналом. Интенсивность отражений в различных направлениях зависит от размеров и конфигураций цели, электрических и магнитных параметров цели, состояния ее поверхности, а также от длины волны и ее поляризации. Объекты отражения, называемые радиолокационными целями, могут быть поверхностно- или объемно-распределенными и точечными. Поверхностно-распределенные объекты имеют большое число элементов, случайным образом расположенных на поверхности. К ним относятся земная и неспокойная водная поверхности. Объемно-распределенные объекты отражения состоят из большого числа однородных и малых по размерам элементов, случайно расположенных в некотором объеме пространства. Это — облака, дождь, снег, град, туман. Оба указанных вида объектов отражения являются источниками помех, затрудняющими обнаружение целей.

ВС относятся к малоразмерным (точечным) целям, так как их геометрические размеры много меньше разрешаемого импульсного объема РЛС. Разрешаемый объем — это часть пространства (рис. 2.1) диаграммы направленности антенны (ДНА), определяемая ее угловыми параметрами в вертикальной θ_v и горизонтальной плоскостях θ_g и расстоянием ΔR , зависящим от длительности импульса τ и скорости распространения радиоволн c . Разрешение — это решение задачи наблюдения, т. е. обнаружение цели и измерение ее координат при наличии вблизи других целей.

Точечные цели имеют сложные конфигурации и состоят из комбинаций отражателей различных типов и размеров. Падающая на объекты отражения ЭМВ своим фронтом подходит к отражающим участкам не одновременно и под различными углами. Кроме того, из-за колебаний ВС вокруг центра масс по углам тангажа, крена и рыскания положение ВС относительно линии наблюдения непредсказуемо, случайно. Вследствие этого отраженные сигналы от различных участков цели имеют различные фазы и амплитуды. Отраженный сигнал является результатом сложения многих составляющих, полученных от различных участков цели, причем некоторые из них («блестящие точки») дают сигналы большой интенсивности. Вследствие этого мощность отраженного сигнала различна по разным направлениям, т. е. флюктуирует (изменяется случайным образом) по амплитуде. Отражения от ВС характеризуются диаграммой обратного рассеивания (рис. 2.2), которая сильно изрезана. От-

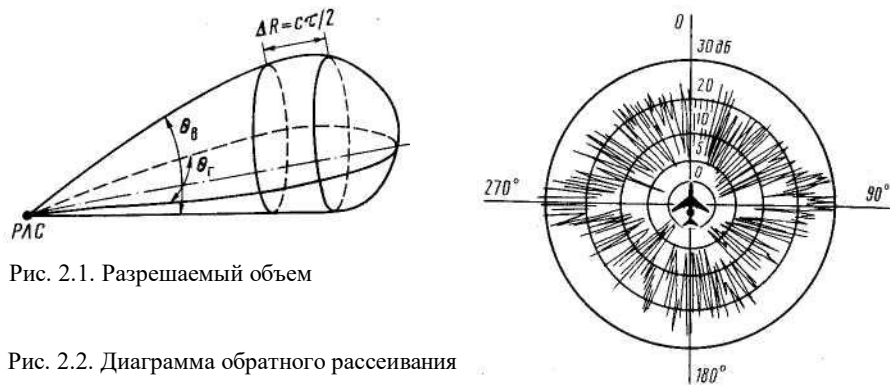


Рис. 2.1. Разрешаемый объем

Рис. 2.2. Диаграмма обратного рассеивания

дельные лепестки могут отличаться друг от друга по интенсивности на 20...30 дБ (в 100...1000 раз) и более. Наличие флюктуации отраженного сигнала снижает вероятность его обнаружения. Характер флюктуации, т. е. интенсивность и частота выбросов, зависит от частоты облучающего сигнала.

Отражающие свойства цели характеризуются эффективной площадью рассеивания (отражения), обозначаемой ЭПР или ЭОП (σ). ЭПР — это площадь фиктивной плоской поверхности, нормально расположенной к направлению падающей волны и являющейся идеальным (не имеющим потерь) переизлучателем, создающим в месте приема ту же плотность потока мощности $P_{пр}$, что и фактическая цель. ЭПР характеризует способность цели отражать ЭМВ, связь между плотностью принимаемой $P_{пр}$ и отраженной $P_{отр}$ от цели мощности сигнала:

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{P_{пр}}{P_{пад}}$$

где $P_{пад} = P_{отр}$ при идеальной цели.

Из этого выражения видно, что ЭПР выражается в единицах площади, не зависит от мощности излучаемого сигнала в связи с тем, что отношение $P_{пр}/P_{пад}$ безразмерно, не зависит от расстояния до РЛС (R), так как $P_{пр} = f(1/R^4)$, а $P_{пад} = f(1/R^2)$. Таким образом, σ является только характеристикой цели.

Для проведения расчетов, связанных с использованием значений ЭПР, введено понятие средней ЭПР. Она получается путем усреднения реальных значений ЭПР во всем диапазоне углов, под которыми возможно наблюдение цели. Средняя ЭПР ВС средних размеров со стороны носовой и хвостовой части 10... 15 м, а со стороны борта 100 м² и более.

2.2. Технические параметры радиолокационных станций

Виды изучаемых колебаний. В РЛС ГА используется импульсное излучение, при котором длительность импульсов, излучающих колебания, много меньше периода их повторения ($\tau \ll T_{п}$). Зондирующие и отраженные высокочастотные (ВЧ) импульсные сигналы $u_c(t)$ называются радиоимпульсами (рис. 2.3, а). Их огибающая отображается функцией $u(t)$, ее амплитуда U_{max} . В приемном устройстве РЛС радиоимпульсы превращаются в импульсы постоянного тока и напряжения. Эти импульсы называются видеоимпульсами (рис. 2.3, б).

В РЛС используются радиоимпульсы простой и сложной формы. Простые радиоимпульсы образуются путем амплитудной импульсной модуляции незатухающих гармонических колебаний (см. рис. 2.3, а). Сложными называются радиоимпульсы с внутриимпульсной модуляцией несущего колебания по частоте или фазе. Линейная частотная модуляция (ЛЧМ) показана на рис. 2.3, в. Сложный сигнал с фазовой модуляцией (рис. 2.3, г) состоит из нескольких простых. Наиболее часто используется закон изменения фазы на 180° и 0. Сложные сигналы могут иметь длительность импульсов в десятки раз больше длительности обычных простых сигналов, что позволяет снизить мощность излучения. Необходимая разрешающая способность РЛС по дальности достигается сжатием длительности

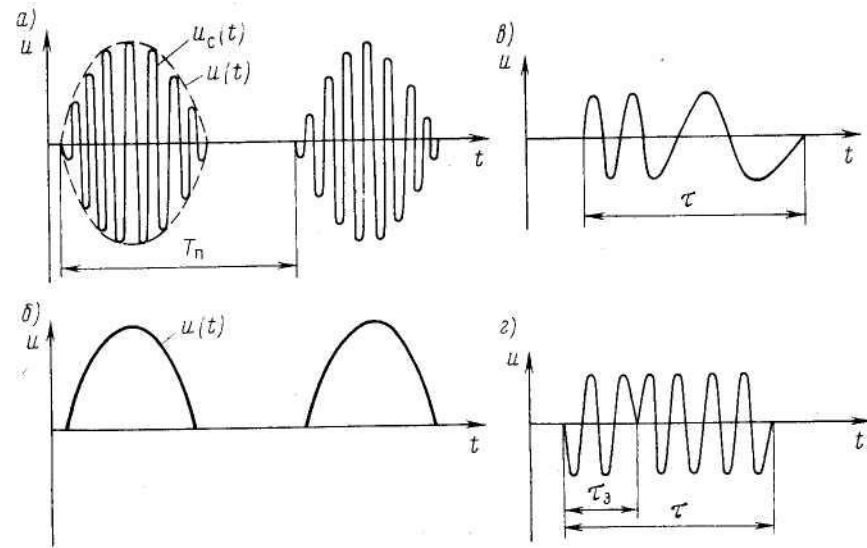


Рис. 2.3. Радио- и видеоимпульсы

импульса при приеме. Большинство РЛС, используемых в ГА, использует незатухающие импульсные колебания. Сигналы ЛЧМ применяются в аэродромных РЛС «Экран-85» и «Онега» («Дружба»).

В радиолокации могут использоваться когерентные и некогерентные колебания. Физический смысл понятия когерентности (coherencia (лат) — находящийся в связи) заключается в согласовании во времени колебательных процессов. Два колебания когерентны, если их разность фаз $\Delta\varphi$ за время наблюдения t_n постоянна (рис. 2.4) или изменяется по известному закону. Некогерентные колебания — это колебания, у которых фаза изменяется беспорядочно и быстро по сравнению с периодом колебания t_k . Когерентность колебаний импульсов пачки отраженных сигналов обеспечивает более эффективную их обработку, например накопление для обнаружения сигналов цели и возможность использования их для селекции движущихся целей (СДЦ).

В радиолокации обычно применяют некогерентные сигналы в связи с тем, что создание РЛС, использующих когерентные сигналы, представляют серьезные технические трудности, а при обработке сигналов используют квазикогерентные (почти) когерентные методы.

Длина волны. Она зависит от назначения РЛС и влияет на ее характеристики. Так, обзорные РЛС УВД (трассовые и аэродромные), имеющие основной задачей дальнейшее обнаружение целей, работают в дециметровом диапазоне радиоволн ($\lambda = 10 \dots 35$ см). Одна из причин использования этого диапазона — значительно меньшее, чем в сантиметровом диапазоне, затухание электромагнитного диапазона для обзорных РЛС объясняется еще тем, что в этом диапазоне при приемлемых размерах раскрыва антенн могут быть получены удовлетворительные, с точки зрения организации воздушного движения, разрешающие способности РЛС по углу и дальности, хотя и хуже, чем в сантиметровом диапазоне. Эти РЛС предназначены для дальнего обнаружения целей, поэтому нет обязательной необходимости иметь очень узкие диаграммы направленности, что связано со значительными техническими трудностями. Например, современные обзорные РЛС имеют ширину ДНА в горизонтальной плоскости $\theta = 1,5 \dots 9^\circ$ и размеры антенн в горизонтальной плоскости до $10 \dots 18$ м.

Из зависимости $\theta = 60\lambda/d$, где d — это раскрыв антенны, видно, что для улучшения разрешающей способности по углу необходимо увеличивать габаритные размеры антенны. Оптимальной для трассовых РЛ является $\lambda = 23$ см, а для аэродромных $10 \dots 23$ см.

Для посадочных РЛС (РЛС-П) или ПРЛ используется сантиметровый диапазон. Назначение этих РЛС требует, чтобы отметка от цели на экране была возможно меньшей и имела бы малоразмытые края. В этом случае оператор точнее определит отклонение от линии курса и глиссады и с большей точностью установит удаление ВС от точки приземления. Для получения небольшой отметки цели РЛС-П должны иметь высокую разрешающую способность по углам и дальности. Поэтому ДН курсовой (азимутальной) и глиссадной (угломестной) антенн имеют ширину лепестка менее 1° , а длительность импульса менее 1 мкс. Эти требования легче выполнять в сантиметровом диапазоне. Влияние гидрометеоров в этом диапазоне сильнее, чем при большей длине волны, однако необходимая дальность действия РЛС-П невелика ($20 \dots 40$ км) и при этом сигналы от ВС имеют значительную интенсивность. Использование сантиметрового диапазона необходимо и для выполнения требования «прижатия» ДН антенны к земле. В этом диапазоне «провалы» в ДН из-за влияния отражения от земли расположены так часто, что не оказывают влияния на форму ДН.

Период и частота повторения импульсов. Период повторения T_n — это временной интервал между импульсами в последовательности зондирующих посылок РЛС. Частота повторения $F_n = 1/T_n$. Очередной зондирующий импульс может быть излучен РЛС только после приема сигнала, отраженного от цели, расположенной на максимальной дальности R_{max} действия. Время задержки t_3 принятого отраженного сигнала относительно зондирующего $t_3 = t_2 - t_1$, где t_1 и t_2 — моменты излучения зондирующего и приема зондирующего отраженного импульсов, т. е. $t_{3,max} = \frac{2R_{max}}{c}$, где c — скорость распространения ЭМВ ($3 \cdot 10^8$ м/с). Таким образом необходимо, чтобы $T_n \geq t_3$. Если период повторения $T_n < t_3$ (рис. 2.5), то будет определена не истинная дальность $R_{ист}$, соответствующая истинному времени задержки $t_{3,ист}$, а ложная $R_{изм}$, соответствующая измеренному ложному времени задержки $t_{3,л}$, причем $R_{изм} \ll R_{ист}$.

Мощность, форма и длительность импульсов. Генерируемая передатчиком РЛС мощность импульсных колебаний — это количество излучаемой импульсной энергии E_n в единицу времени, т. е. скорость передачи энергии $P_n = E_n/\tau$. При импульсном методе излучения различают максимальную (пиковую) P_{max} мощность (рис. 2.6) и импульсную P_n , которая есть средняя мощность за время действия импульса

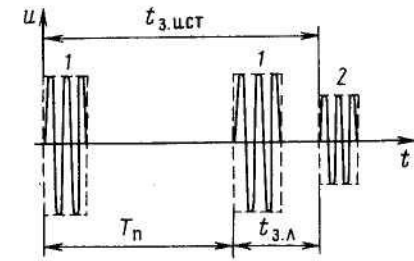


Рис. 2.5. К определению периода повторения:
1 — зондирующие импульсы; 2 — отраженный сигнал

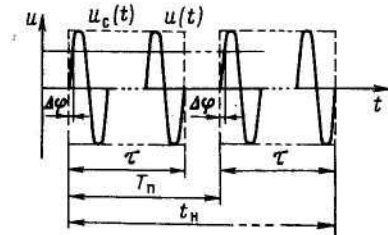


Рис. 2.4. Когерентные импульсы

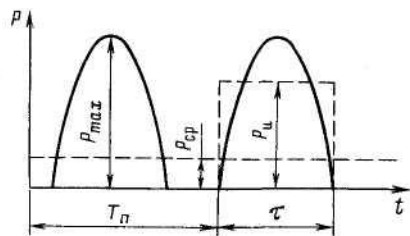


Рис. 2.6. Диаграмма мощностей радиоимпульсов

непрямоугольной формы. Средняя мощность излучения за время периода повторения $P_{cp} = P_u/T$. Эти характеристики связаны между собой соотношениями

$$E = P_u \tau = P_{cp} T_p.$$

Излучаемая мощность $P_{изл}$ меньше генерируемой передатчиком $P_{пер}$ на значение потерь в антенне и волноводах. Потери учитываются коэффициентом полезного действия $\eta < 1$, т. е. $P_{изл} = \eta P_{пер}$. Форма радиоимпульса определяется огибающей радиоимпульса $u(t)$ (см. рис. 2.3, а). Она задается в передатчике и может быть прямоугольной, колоколообразной, трапецеидальной. Предпочитают формировать прямоугольные импульсы.

Диаграмма направленности антенны. Область пространства, в которой антенна концентрирует энергию радиоволн, называется диаграммой направленности. Формирование ее происходит в результате интерференции ЭМВ, излучаемых различными частями антенны. Графически объемная ДНА изображается ее сечениями в вертикальной и горизонтальной плоскостях и представляет собой зависимость излучаемой или принимаемой мощности P или напряженности электрического поля E от направлений относительно оси антенны β и φ в ортогональных плоскостях. ДНА записывается функциями: $\Phi_P(\beta, \varphi) = P(\beta, \varphi)$ или $\Phi_E(\beta, \varphi) = E(\beta, \varphi)$ и изображается в полярных (рис. 2.7, а) или прямоугольных (рис. 2.7, б) координатах отдельно для углов β и φ . Для удобства построения ДН эти функции представляются в нормированном виде, P_{max} и E_{max} принимаются за единицу, а все текущие величины $P(\beta)$ и $P(\varphi)$ или $E(\beta)$ и $E(\varphi)$ выражаются в долях от P_{max} или E_{max} :

$$F_P(\beta) = P(\beta)/P_{max}; \quad F_P(\varphi) = P(\varphi)/P_{max} \quad (2.1)$$

или

$$F_E(\beta) = E(\beta)/E_{max}; \quad F_E(\varphi) = E(\varphi)/E_{max}. \quad (2.2)$$

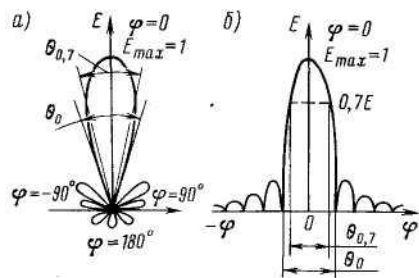


Рис. 2.7. Диаграмма направленности антенны в полярной (а) и прямоугольной (б) системах координат

Эти функции соотносятся между собой следующим образом:

$$F_P(\beta) = F_E(\beta); \quad F_P(\varphi) = F_E^2(\varphi).$$

ДН характеризуется ее шириной в горизонтальной θ_r и вертикальной плоскостях. Ширина ДН измеряется углом между векторами мощности или напряженности на уровне $0,5P_{max}$ или $0,707E_{max}$ соответственно. ДН типа $F(\beta)$ и $F(\varphi)$ задаются в табличной форме или графически. Данные для этого получают расчетным путем или измерением P или E в зависимости от β и φ при постоянном R между источником излучения и измерительным приемником и последующим их нормированием, делением полученных текущих значений P или E на их максимальные значения.

ДН характеризуется коэффициентами направленного действия (КНД) или коэффициентом усиления антенны (КУ), обозначаемых соответственно D и G . КНД — это отношение плотности мощности, излучаемой направленной антенной P_n в направлении, определяемом углами β, φ к плотности мощности $P_{вн}$, которая излучалась бы всенаправленным излучателем при условии равенства излучаемых мощностей $P_{изл}$:

$$D(\beta, \varphi) = P_n(\beta, \varphi)/P_{вн}, \quad \text{где } P_{вн} = P_{изл}/4\pi.$$

КУ учитывает потери в антенне, поэтому $G(\beta, \varphi) = \eta D(\beta, \varphi)$, где η — КПД антенны ($0,9 \geq \eta < 1$).

Максимальный КНД будет в направлении фокальной оси антенны. КНД зависит от значений β и φ , т. е. изменяется в соответствии с формой ДН:

$$\begin{aligned} D(\beta, \varphi) &= D_{max} F_P(\beta, \varphi) = D_{max} F_E^2(\beta, \varphi); \\ G(\beta, \varphi) &= G_{max} F_P(\beta, \varphi) = G_{max} F_E^2(\beta, \varphi). \end{aligned} \quad (2.3)$$

Следующей характеристикой ДН антенны является ее ширина по точкам половинной мощности $\theta = k\lambda/d$, где k — коэффициент, равный 60...80 для зеркальных антенн; d — раскрыв антенны.

Антенны излучают энергию не только в пределах ДН, но и в других направлениях. Область излучения энергии в пределах ДН называется ее основным лепестком. За пределами этой области образуются боковые и задний лепестки, уровень излучения по некоторым из них меньше излучения в направлении максимума всего на 17...20 дБ (в 50...100 раз). Эта энергия теряется и может создавать помехи другим РТС. Основной причиной появления боковых и заднего лепестков является неполный перехват поверхности антенны энергии, излучаемой излучателем, а также протекание энергии сквозь антенну, если она имеет решетчатую структуру.

При вращении антенны контур ДН определяет конфигурацию пространства наблюдения РЛС, называемого зоной обзора. Типич-

ной формой ДН для обзорных РЛС являются так называемые косекансные ДН, имеющие угол обзора в вертикальной плоскости $0,3...45^\circ$. Это вызвано необходимостью продолжительного наблюдения за ВС, летящими горизонтально. В горизонтальной плоскости ДН имеет угол раскрытия $1,2...9^\circ$ и симметричную форму. Для выполнения задач обнаружения целесообразно распределить энергию излучения в зоне обзора таким образом, чтобы вероятность обнаружения целей была постоянной и не зависела от изменения расстояния РЛС—цель $R(\epsilon)$. Из рис. 2.8 следует, что при горизонтальном полете ВС

$$R(\epsilon) = H / \sin \epsilon = H \operatorname{cosec} \epsilon, \quad (2.4)$$

где ϵ — угол места ВС; H — высота полета ВС.

Далее будет получено выражение (2.9), которое может быть записано в виде

$$\frac{R}{R_{\max}} = F(\epsilon) = \frac{E(\epsilon)}{E_{R_{\max}}}. \quad (2.5)$$

С учетом (2.4) из (2.5) получим

$$F_E(\epsilon) = \frac{R}{R_{\max}} = \frac{\operatorname{cosec} \epsilon}{\operatorname{cosec} \epsilon_{R_{\max}}} \text{ или } F_P(\epsilon) = \frac{\operatorname{cosec}^2 \epsilon}{\operatorname{cosec}^2 \epsilon_{R_{\max}}}. \quad (2.6)$$

ДН, имеющие такие нормированные функции направленности, называются косекансными $F_E(\epsilon)$ или косеканс-квадратными $F_P(\epsilon)$.

Конструктивно косекансную ДН получают с помощью зеркала двойной кривизны (рис. 2.9). Обе части зеркала 1 и 2 отражают энергию, полученную от облучателя в направлениях, определяемых кривизной отражателя. Такая ДН может быть сформирована также зеркалом с постоянной кривизной, но в этом случае необходимо иметь несколько облучателей, различно смещенных относительно фокуса. Каждый облучатель получает питание от своего передатчика и совместно с зеркалом образует свою ДН. В совокупности все ДН образуют суммарную ДН косекансной формы. Такая ДН называется парциальной (РЛС П-37).

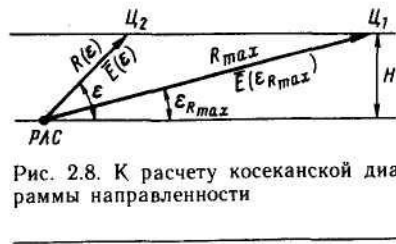


Рис. 2.8. К расчету косеканской диаграммы направленности

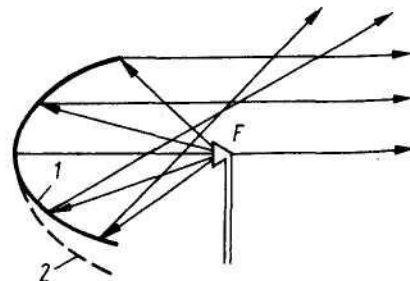


Рис. 2.9. Зеркало двойной кривизны

Методы обзора и измерения координат. Обзор по дальности производится при распространении электромагнитной энергии до цели и обратно в пространстве, ограниченном ДН. Методы обзора пространства по угловым координатам зависят от формы ДН, назначения РЛС и конфигурации пространства, подлежащего обзору. Основным является метод кругового обзора. Если поиск целей осуществляется в ограниченном по азимуту пространстве, то такой метод обзора называется секторным.

В РЛС УВД используется временной импульсный метод измерения дальности до цели, который основан на измерении времени запаздывания t_3 между моментами излучения зондирующего и обнаружения отраженного импульсного сигнала. Это время $t_3 = t_{\text{зонад}} + t_{\text{отр}}$ (рис. 2.10). Так как время запаздывания пропорционально расстоянию до цели, которое проходит прямой и отраженный сигнал, то $t_3 = 2R/c$, т. е. $R = \frac{1}{2} ct_3$. Если принять $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, то $R = 150t_3$, где R — выражается в метрах, а t_3 — в микросекундах.

Импульсный метод измерения дальности имеет ограничение по минимальному времени запаздывания $t_{3 \min}$, а следовательно, и по минимальной дальности R_{\min} работы РЛС. Эта дальность определяется временем записывания приемника t_3 , в течение которого РЛС не может принимать отраженные сигналы, т. е. $R_{\min} = \frac{1}{2} ct_3$.

Приемник запирается на время излучения импульса τ , иначе энергия передатчика может вывести из строя его входные элементы. Отключает приемник антенный переключатель. После прекращения излучения переключатель за время t_b восстанавливает состояние, при котором отраженные сигналы могут пройти в приемник. Таким образом, $t_3 = \tau + t_b$.

Ограничение по дальности R_{\max} накладывается энергетическим потенциалом РЛС и чувствительностью к приему слабых сигналов. При обнаружении целей дальность определяется по расстоянию от центра экрана индикатора до переднего края отметки цели, которое пропорционально t_3 , с помощью колец дальности на экране. При автоматическом измерении дальность определяется счетом малых временных дискретов t_d от момента запуска передатчика до момента прихода отраженных сигналов, так как каждый дискрет t_d соответствует определенному дискрету ΔR .

В обзорных РЛС определяется только одна угловая координата — азимут $\alpha_{ц}$. Угол места ϵ , по которому, зная наклонную дальность R_n , можно определить высоту цели H радиолокационным способом, в РЛС ГА не измеряется. Сведения о высоте полета для УВД получают с ВС по ответному каналу вторичной РЛС автоматически или по докладам экипажа.

В посадочных РЛС отметки цели отображаются как на азимутальном, так и на угломестном индикаторах для определения отклонения ВС от линий курса и глissады. Визуальное измерение

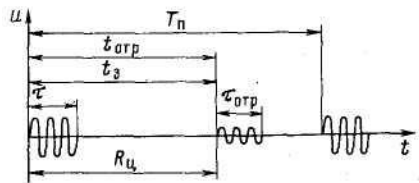


Рис. 2.10. Измерение дальности импульсно-временным методом

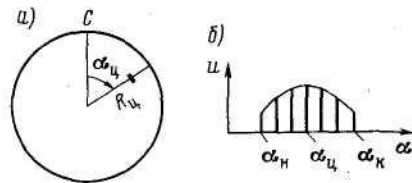


Рис. 2.11. Определение направления на цель:
а — визуально по экрану индикатора;
б — автоматически по пачке импульсов

азимута производится по середине отметки целей. При автоматическом измерении азимута середина пачки отраженных сигналов определяется по середине между направлениями прихода первого α_n и последнего α_k импульсов пачки (рис. 2.11), а затем путем вычисления направления на цель по формуле $\alpha_c = \frac{1}{2}(\alpha_n + \alpha_k)$. Величины α_n и α_k определяют с помощью датчиков, связанных с приводом антенны и выдающих через определенные угловые интервалы импульсы, счет которым ведется в аппаратуре обработки.

Скорость обзора по азимуту, число импульсов в пачке, время обновления информации. Скорость обзора по углу измеряется числом обзоров антенны в минуту или угловой скоростью $\Omega = 360^\circ/60$ с, или 6π об/мин. Величина Ω задается исходя из необходимого числа импульсов M , которое должно быть получено от цели за один проход ДН для обеспечения требуемой вероятности обнаружения цели. Значение M зависит от частоты повторения F_n и времени наблюдения (облучения) цели t_n , т. е. $M = F_n t_n$.

Время облучения связано с шириной ДНА θ зависимостью $t_n = \theta/\Omega$. При круговом обзоре $t_n = \theta/6\pi$. Частота вращения антенн обзорных РЛС дальнего обнаружения — один оборот за 10...20 с, а аэродромных за 5...10 с. Время обновления информации $t_{обн}$ — промежуток времени между двумя очередными обнаружениями целей. Оно равно периоду обзора РЛС.

Реальная чувствительность радиоприемного устройства. К радиоприемным устройствам (РПУ) относятся цепи, расположенные между антенным переключателем и выходным устройством, в котором принимается решение об обнаружении сигнала.

Реальной или пороговой чувствительностью РПУ $P_{пор}$ называется его способность принимать сигнал наименьшей мощности $P_{с мин}$, при котором обеспечивается нормальная работа выходного устройства, например, обнаружение сигнала визуально или автоматически с заданной вероятностью обнаружения и допустимым уровнем ложных тревог.

Значение порогового сигнала $P_{с мин} = P_{пор}$ зависит от мощности шумовых сигналов $P_{ш}$, которые возникают главным образом из-за

теплового движения электронов во входных цепях РПУ, а в высокочувствительных РПУ — в антенне и атмосфере, а также вследствие изменения плотности потока эмиссии электронов в полупроводниковых приборах РПУ. Случайные по плотности потоки электронов создают во входных цепях РПУ флуктуирующие по интенсивности шумовые токи $i_{ш}(t)$ и напряжения $u_{ш}(t)$. Поэтому для обнаружения сигнала $u_c(t)$ необходимо, чтобы $u_c(t) > u_{ш}(t)$. Это превышение называется коэффициентом различимости s_p должно быть тем больше, чем выше критерий качества обнаружения $P_{п.о}$. При определении чувствительности приемников РЛС обычно пользуются единицами мощности, поэтому

$$s_p = P_{с мин} / P_{ш},$$

где $P_{ш} = kT_0 \Delta f$; T_0 — абсолютная температура, К; k — постоянная Больцмана; Δf — полоса пропускания РПУ.

Приблизительно ширина полосы РПУ принимается равной полосе фильтров усилителя промежуточной частоты (УПЧ) приемника, так как УПЧ имеет наиболее узкую полосу из всех каскадов РПУ до детектора. Постоянная Больцмана связывает температуру в градусах T_0 с температурой T , выраженной в энергетических единицах следующей зависимостью: $T = (3/2)kT_0$, где $kT_0 = 1,37 \cdot 10^{-23}$ Дж/°, а $T_0 = 300$ К. Произведение $kT_0 = N_0$ есть мощность шума, приходящаяся на 1 Гц ширины полосы УПЧ: $kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц. Поэтому N_0 называется спектральной плотностью шума на входе РПУ. Учитывая это, запишем $P_{ш вх} = N_0 \Delta f$.

Все каскады РПУ до амплитудного детектора являются линейными, т. е. при мощности сигнала на входе РПУ $P_{с вх}$, на выходе детектора будем иметь сигнал мощностью $P_{с вых} = qP_{с вх}$, где q — коэффициент усиления линейной части РПУ. Для шума эта зависимость не выполняется, так как каждый каскад РПУ создает дополнительную составляющую шума, которая суммируется с мощностями шумов предыдущих каскадов и умножается на соответствующий коэффициент усиления каскада. Наибольшему усилению подвергаются шумы, создаваемые в первых каскадах РПУ, поэтому они считаются основными источниками шума. Эта особенность создания шума в РПУ приводит к тому, что отношение мощностей сигнала и шумов на выходе линейной части приемника ($P_{с вх}/P_{ш вх} = s_{р вх}$) будет меньше отношения мощностей сигнала и шума на входе ($P_{с вх}/P_{ш вх} = s_{р вх}$). Изменение отношений мощностей сигнала и шума оценивается коэффициентом шума (шум-фактор)

$$K_{ш} = \frac{P_{с вх} / P_{ш вх}}{P_{с вых} / P_{ш вых}}$$

Приемный тракт ухудшает коэффициент s_p , поэтому для достижения требуемого на выходе РПУ превышения $P_{с вх}/P_{ш вх}$

необходимо, чтобы отношение сигнала к шуму на входе было не s_p , а больше в $K_{ш}$ раз. Эта операция умножения называется приведением выходной мощности шума к входу РПУ. С учетом сказанного реальная или пороговая чувствительность РПУ $P_{с.мин} = P_{пор} = K_{ш} s_p P_{ш} = K_{ш} s_p N_0 \Delta f$.

Выходные устройства и вид выходной информации. В неавтоматизированных РЛС выходным устройством является индикатор, располагающийся на расстоянии десятков и сотен метров от РЛС. Выходными сигналами РЛС являются широкополосные видеосигналы и сигналы синхронизации, передаваемые по ВЧ-кабелям, а также угловая информация — синусные и косинусные напряжения, являющиеся функциями текущего положения антенны, сигнал «Север» и метки азимутов.

В автоматизированных РЛС сигналы после РПУ подаются АПОИ, где происходят цифровое обнаружение сигналов цели, очистка их от импульсных помех и измерение координат. В АПОИ сигналы формируются в двоичные сообщения для передачи по узкополосным линиям.

2.3. Эксплуатационные характеристики радиолокационных станций

Эксплуатационные характеристики (ЭХ) показывают возможности выполнения РЛС функциональных задач, определяемых ее назначением. Рассмотрим наиболее важные.

Зона обзора и дальность обнаружения целей ПРЛС. Зона обзора (рис. 2.12) — это пространство, в котором РЛС обнаруживает цель с заданной ЭПР при необходимой вероятности обнаружения.

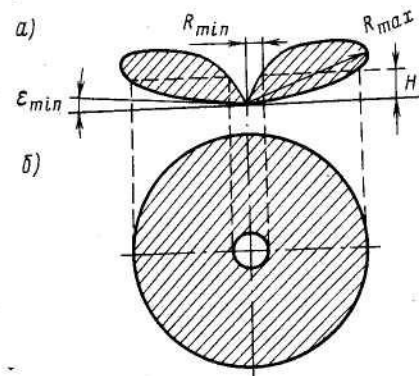


Рис. 2.12. Сечения зоны обзора РЛС в вертикальной (а) и горизонтальной (б) плоскостях

Размеры и конфигурация зоны обзора зависят от формы ДНА, максимальной и минимальной дальности обнаружения цели, закона сканирования антенны, а также от угла отстояния ДН от земной поверхности ϵ_{min} .

Вертикальное сечение зоны обзора имеет форму ДН и называется диаграммой видимости или обнаружения в вертикальной плоскости. Горизонтальное сечение зоны обзора при круговом обзоре имеет вид кольца шириной $R_{max} - R_{min}$. Площадь кольца зависит от высоты, на которой произведено сечение.

Если РЛС излучает импульсы мощностью $P_{и}$ антенной, имеющей в направлении цели коэффициент усиления G , то плотность мощности сигнала у цели, находящейся от РЛС на расстоянии R ,

$$P_{ц} = \frac{P_{и}}{4\pi R^2} G.$$

Так как мощность сигнала, отраженного от цели с ЭПР σ , $P_{ц} = P_{ц}\sigma$, то на входе антенны плотность мощности

$$P_{а} = \frac{P_{ц}}{4\pi R^2} = \frac{P_{и} G \sigma}{(4\pi)^2 R^4}.$$

При эффективной площади рассеивания A антенны мощность сигнала, подводимая к РПУ, $P_{пр} = P_{а} A$.

Из теории антенн известно, что

$$A = \frac{1}{4\pi} G \lambda^2, \quad (2.7)$$

поэтому

$$P_{пр} = \frac{P_{и} G \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}.$$

Цель будет обнаружена на удалении R_{max} , если антенна направлена на цель таким образом, что коэффициент усиления максимален (G_{max}), а сигнал на входе приемника достиг пороговой мощности $P_{пор} = P_{с.мин}$. Поэтому

$$R_{max}^4 = \frac{P_{и} G_{max}^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 P_{с.мин}}. \quad (2.8)$$

Это выражение называется основным уравнением радиолокации. Дальность в значительной степени зависит от величины G и в меньшей — от величин $P_{и}$, $P_{с.мин}$ и σ , так как для увеличения дальности вдвое каждый из этих параметров должен измениться в 16 раз, а G только в 4 раза. Излучаемая мощность ограничивается техническими характеристиками генераторов передатчиков. Чувствительность приемника ограничивается значениями $P_{ш}$ и s_p , которые зависят от конструкции приемного устройства и методов обработки сигнала.

Установить влияние длины волны λ на дальность R_{max} возможно при учете связи между G и A . Записав (2.7) относительно $G = 4\pi(A/\lambda^2)$, видим, что при неизменном значении A увеличение λ вызывает уменьшение G , т. е. уменьшение R_{max} (см. 2.8).

Покажем зависимость между R и направленными свойствами антенны. Приняв все параметры РЛС, кроме КУ антенны G , неизменяемыми, из (2.8) получим $R_{i}^4 = kG$. Так как при G_{max} имеем R_{max} , то $k = R_{max}^4 / G_{max}$. Таким образом, $R = R_{max} \sqrt[4]{G/G_{max}}$.

Учитывая выражение (2.3), в последнем равенстве для направления, определяемого в ДН углами β и φ , получим:

$$R(\beta, \varphi) = R_{\max} \sqrt{F_p(\beta, \varphi)} = R_{\max} F_E(\beta, \varphi). \quad (2.9)$$

Это выражение используется при построении зоны обзора РЛС. В результате расчетов по формуле (2.8) получим детерминированное, т. е. некоторое конечное значение R_{\max} . Если этой дальности дать вероятностную оценку, то необходимо считать, что в зоне обзора, ограниченной пространством, определяемым выражением (2.9), цель обнаруживается с вероятностью обнаружения, равной единице, а в остальном пространстве за пределами зоны обзора следует считать, что обнаружение цели невозможно, т. е. вероятность ее обнаружения равна нулю, что, конечно, неверно. Так как процесс обнаружения имеет статистический характер, то из приведенного ясно, что полученное уравнение (2.8) может дать только весьма приближенную оценку дальности РЛС. Учет вероятностного процесса обнаружения производится введением в это уравнение величины s_p , которая имеет статистический физический смысл. Для этого используем выражение пороговой чувствительности РПУ: $P_{c, \min} = K_{\text{ш}} s_p \kappa T_0 \Delta f$.

При прямоугольном зондирующем импульсе и колоколообразной по форме амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) фильтров УПЧ приемника приближенно можно считать, что АЧХ согласована со спектром сигнала и в идеале энергетические потери при приеме отсутствуют. В этом случае длительность импульса τ связана с полосой пропускания приемника выражением $\Delta f = 1/\tau$. Поэтому $P_{c, \min} = K_{\text{ш}} s_p N_0 \cdot 1/\tau$, и основное уравнение радиолокации имеет вид

$$R^4 = \frac{P_n \tau G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 N_0 K_{\text{ш}} s_p}. \quad (2.10)$$

Так как $P_n \tau = E_n$, то из этого следует, что R_{\max} определяется не мощностью, а энергией импульса E_n , точнее отношением энергии к спектральной плотности мощности шума, приведенной к входу приемника РЛС, $N_0 K_{\text{ш}}$. Уравнение (2.6) получено для случая, когда обнаружение производится по одному импульсу $M=1$ мощностью P_n . В процессе обзора РЛС за один проход ДН по цели принимает пачку из M импульсов, и обнаружение цели происходит по накопленному сигналу. При визуальном обнаружении накопление энергии пачки производится на веществе, покрывающем внутреннюю сторону дна трубки, т. е. на экране индикатора, а при автоматическом — цифровыми устройствами. Если принять, что импульсы в пачке когерентны, то накопление будет идеальным, поэтому соотношение $P_c/P_{\text{ш}}$ увеличивается в M раз, а значение коэффициента различимости s_p для каждого из импульсов пачки может быть в M раз меньше. В связи с этим уравнение (2.10) запишется так:

$$R_{\max}^4 = \frac{P_n G_{\max}^2 \lambda^2 \sigma \tau}{64\pi^3 N_0 K_{\text{ш}} s_p / M}. \quad (2.11)$$

В характеристиках обнаружения значение s_p приведено для одиночного когерентного сигнала, при котором накопление M импульсов происходит идеально, без потерь, т. е. по линейной зависимости. Реально в радиолокации используются некогерентные сигналы, поэтому выигрыш в дальности за счет накопления M импульсов меньше, чем будет получено по выражению (2.11).

Разрешающая способность РЛС по дальности и углу. Разрешающей способностью по дальности называется минимальный интервал ΔR между двумя целями, находящимися на одном азимуте, при котором они могут наблюдаться отдельно (рис. 2.13, где $v_{\text{зонд}}$ и $v_{\text{отр}}$ — направления перемещения зондирующего и отраженного импульсов). Для этого сигналы, отраженные от этих целей, должны формироваться отдельно во времени, т. е. отражение от C_2 должно начаться после того, как закончится отражение от C_1 . При длительности импульса τ это расстояние $\Delta R_{\min} = R_2 - R_1$ (рис. 2.13, а), или

$$\Delta R = \frac{ct_{32}}{2} - \frac{ct_{31}}{2} = \frac{c(t_{32} - t_{31})}{2} = \frac{c\tau}{2}.$$

На индикаторе РЛС разрешающая способность хуже, чем $\Delta R_{\min} = c\tau/2$ вследствие того, что светлое пятно луча ЭЛТ расширяет часть отметки от цели l_τ (рис. 2.13, б) на величину, равную диаметру пятна d_n , поэтому общий размер отметки $l = l_\tau + d_n$. Пространственную величину ΔR_d , соответствующую d_n , найдем из соотношения: длина развертки на индикаторе L_R соответствует R_{\max} , а d_n — величине, которую обозначим ΔR_d , поэтому $R_d = d_n(R_{\max}/L_R)$.

Таким образом, разрешающая способность по дальности

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2} + d_n \frac{R_{\max}}{L_R}.$$

Для индикатора кругового обзора длина развертки равна половине диаметра экрана: $L_R = D_s/2$, поэтому

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2} + 2d_n \frac{M}{K_s D_s},$$

где K_s — коэффициент использования экрана ($K_s \approx 0.8$); M — масштаб дальности (максимальная дальность, отображаемая на развертке).

Из формулы видно, что индикатор с большим диаметром экрана увеличивает точность определения дальности. Кроме того, чем меньше d_n , тем большая часть энергии луча, зависящей от интенсивности поступающих видеосигналов, приходится на ту часть отметки, которая создается за счет длительности импульсов в пачке

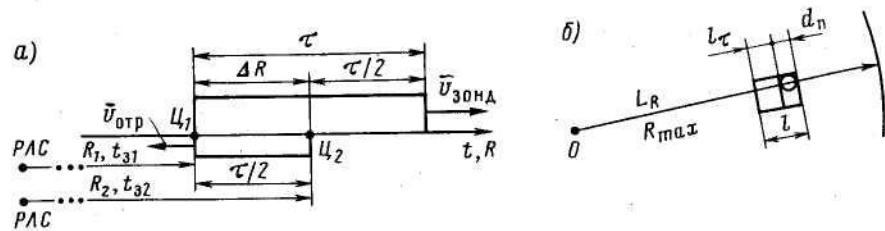


Рис. 2.13. Разрешающая способность РЛС по дальности:
а — в пространстве; б — на экране с учетом диаметра пятна луча

видеосигналов. Поэтому яркость отметки, а значит, и вероятность ее обнаружения на фоне засветки экрана будет больше.

Разрешающая способность по углу определяется минимальным углом между направлениями на две равноудаленные от РЛС цели, при котором отметки целей могут наблюдаться на экране раздельно.

Отметка от цели на экране получается за время прохождения ДН цели, поэтому угловая величина отметки цели $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ будет не менее, чем ширина ДН, т. е. $\Delta\alpha = \theta$ (рис. 2.14, а). Если цель C_2 располагается в пределах угла $\Delta\alpha$, то цели C_1 и C_2 не будут разрешаться. При нахождении цели C_2 за пределами угла $\Delta\alpha$, цели C_1 и C_2 разрешаются, т. е. неравенство $\alpha_2 - \alpha_1 > \Delta\alpha$ есть условие разрешения.

Так как луч трубки индикатора имеет диаметр d_n , то линейный размер отметки в азимутальном направлении больше на величину d_n (рис. 2.14, б). С учетом этого при расстоянии на экране от цели до отметки l_R (в радианах) $\Delta\alpha = \theta + d_n/l_R$.

Из выражения видно, что чем меньше дальность до цели, т. е. и величина l_R , тем больше влияние размера светового пятна луча ЭЛТ, т. е. хуже разрешающая способность. Найдем величину d_n/l_R .

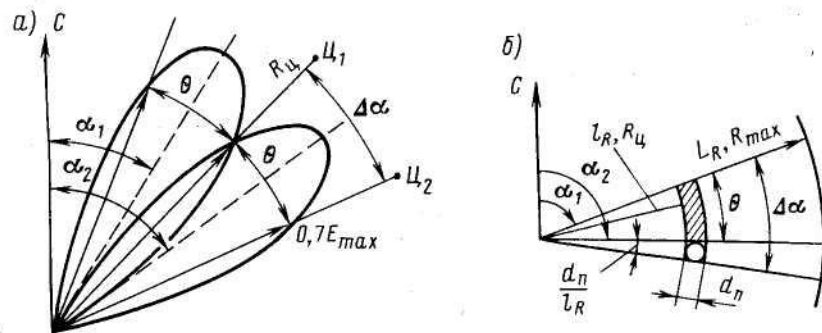


Рис. 2.14. Разрешающая способность по углу:
а — в пространстве; б — на экране с учетом диаметра пятна луча

Длина развертки l_R соответствует масштабу трубки $M = R_{\max}$, а величина l_R — дальности до цели R_u , поэтому $l_R = R_u l_R / R_{\max} = R_u l_R / M$, т. е. $\Delta\alpha = \theta + d_n \frac{M}{L_R R_u} = \theta + d_n \frac{2M}{K_s D_s R_u}$.

Таким образом, видим, что разрешающая способность по углу зависит от ширины ДН, параметров ЭЛТ и расстояния до цели.

Точность измерения координат. Погрешности измерений бывают грубыми, систематическими и случайными. Грубые возникают из-за промахов персонала. Они не подлежат учету, так как РЛС должны обслуживать высококвалифицированные специалисты. Систематические погрешности образуются вследствие постоянно действующих причин, поэтому они повторяются. Их вычисляют по формуле $\delta =$

$$= X - \bar{X}, \text{ где } X \text{ — истинное значение величины, а } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \text{ — ма-}$$

тематическое ожидание $M(X)$ случайной величины (СВ) $X_i (i=1 \dots n)$ или ее среднее значение в результате n измерений.

Суммарная систематическая погрешность измерений, вызванная различными $j=1 \dots n$ причинами, $\delta_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n \delta_j$.

Погрешности измерения координат также являются СВ и характеризуются плотностью распределения их вероятностей (дифференциальный закон), которая подчиняется нормальному закону (рис. 2.15):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}}$$

Основными числовыми характеристиками $f(X)$ являются $M(X_i)$, т. е. \bar{X} и характеристика рассеивания СВ X около \bar{X} , называемая дисперсией случайной величины:

$$D[X] = M \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2.$$

Рассеивание часто характеризуется средней квадратической погрешностью измерений (СКП), обозначаемой $\sigma_x = \sqrt{D[X]}$.

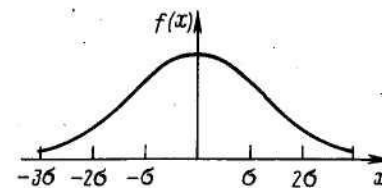


Рис. 2.15. Дифференциальная функция нормального закона распределения

Появление положительных и отрицательных погрешностей равновероятно. Вероятность получения погрешности в пределах

$\pm X$ будет $P(X) = \int_0^X f(X) dX$. Если принять $X = 0,67\sigma$, то вероятность $P(0,67\sigma) = 0,5$; при $X = \sigma$ будем иметь $P(\sigma) = 0,68$; при $X = 2\sigma P(2\sigma) = 0,95$; при $X = 3\sigma P(3\sigma) = 0,997$. Погрешность $X_k = 3\sigma$ в статистике называют предельной, так как далее при увеличении погрешности вероятность $P(\sigma)$ изменяется незначительно. Так, например, погрешность более 5σ может быть только 1 раз за 10^7 измерений.

При равномерном законе распределения случайной величины в некотором интервале ΔX принимается, что $\sigma_{\Delta X} = \Delta X / (2\sqrt{3})$.

Суммарная СКП измерения, зависящего от нескольких j — причин,

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sigma_j^2}$$

При определении дальности систематические погрешности могут быть вызваны отличием реальных условий распространения от идеальных, например нестабильностью скорости распространения радиоволн, наличием атмосферной рефракции; несовершенством РЛС как измерительного устройства, т. е. постоянными погрешностями в работе некоторых устройств и др.

Нестабильность скорости распространения радиоволн по временам года и времени суток вызывается колебаниями параметров среды (температуры, давления и влажности, вызывающих изменения магнитных и электрических характеристик среды). Вследствие атмосферной рефракции, вызываемой уменьшением плотности с высотой, а следовательно, и коэффициента преломления, радиоволны не идут по прямой РЛС-цель, а искривляются (выпуклостью вверх) в вертикальной плоскости, в связи с чем дальность хода сигнала до цели увеличивается. В нижних слоях атмосферы искривление луча может быть вызвано водяными парами. Луч искривляется выпуклостью вниз, из-за чего дальность наблюдения уменьшается.

Погрешности, вызванные несовершенством РЛС как измерителя, называются инструментальными. Так, на индикаторных устройствах дальность определяется с помощью масштабных меток. Кольца меток воспроизводятся с погрешностями, из-за которых дальность определяется с погрешностями, повторяющимися при каждом измерении. Систематические погрешности могут быть также вызваны неточной регулировкой устройств РЛС, используемых при измерении времени задержки отраженного импульса.

Случайные погрешности в определении дальности могут возникать в связи с ошибками в работе оператора при съеме ее значения из-за так называемой погрешности цели, влияния шумовых напряжений на сигнал, а также из-за несовершенства РЛС как измерителя.

Погрешность цели возникает из-за флюктуации интенсивности отраженного сигнала и блуждания по цели центров отражения. Расположение этих точек по дальности зависит от ракурса ВС относительно РЛС, который случайно изменяется во время полета и приводит к случайным погрешностям дальности.

Шумы (шумовые напряжения), возникающие в приемнике, влияют на точность определения дальности, изменяя момент фиксации сигнала цели. Это вызывается случайными изменениями огибающей переднего фронта отраженного импульса вследствие наложения шумовых напряжений на принимаемый импульс.

Визуальное измерение дальности производится путем счета кольцевых меток дальности и визуальной оценки интервала между последним кольцом и отметкой цели. Эта оценка приводит к случайной погрешности интерполяции дальности. Она зависит от расстояния между соседними метками и масштаба изображения. Экспериментально установлено, что СКП интерполяции дальности будет не более $\sigma_{mR} = (0,05 \dots 0,1) \Delta R_m$, где ΔR_m — расстояния между метками.

При автоматическом измерении координат дальность определяется дискретным счетом интервалов времени Δt_d от зондирующей посылки до прихода отраженного импульса, который может быть обнаружен в любом месте интервала счета, т. е. подчиняется закону равномерной плотности распределения, поэтому $\sigma_d = \Delta t_d / 2\sqrt{3}$. Существует много других причин, влияющих на точность измерения дальности. Суммарная СКП измерений дальности может достигать 500 м.

Погрешности измерения азимута в общем вызываются теми же причинами, что и погрешности дальности. Так, например, систематические погрешности в основном определяются инструментальными погрешностями, возникающими вследствие: неточности градуировки шкал визуального измерения азимута, неточной привязки направления «Север» к местности, неточной регулировки устройств РЛС, неточности согласования оптической и электрической осей антенны, погрешностей датчиков углового положения антенны и др.

Случайные погрешности могут быть вызваны флюктуациями фронта волны отраженного сигнала, влиянием внутренних шумов приемника, особенно при больших дальностях, когда соотношение сигнал/шум мало, погрешностями передачи углового положения антенны, ошибками оператора при интерполяции положения середины отметки цели между метками азимута, пропаданием отдельных импульсов пачки, погрешностями дискретного метода измерения азимута при автоматической обработке сигналов и т. д.

Суммарная СКП измерения азимута может достигать $0,5^\circ$.

Характеристики помехозащищенности РЛС УВД. Помехозащищенность (ПЗ) определяет способность РЛС выполнять возложенные на нее задачи в условиях воздействия помех.

Источниками помех являются: отражения от местных предметов и облачности; внутренние шумы приемника и антенны; шум от внешних источников, например от атмосферы и космического излучения; излучения РТС различных назначений.

Из-за влияния шумовых помех дальность обнаружения цели уменьшается, так как снижается соотношение мощности полезного сигнала и помехи. Кроме того, выбросы шумовых напряжений могут образовать многочисленные ложные засветки, в результате чего на индикаторах РЛС создается яркостный фон, уменьшающий контрастность отметок цели. Внешние источники помех также могут образовывать ложные отметки целей, затрудняющие работу оператора. Их наличие приводит к снижению дальности обнаружения, поскольку оператор тратит лишнее время на анализ обстановки, что эквивалентно повышению порогового уровня обнаружения сигнала. При автоматическом съеме координат в результате воздействия помех может оказаться необходимым повышение порогового уровня для снижения количества ложных тревог, что также вызывает снижение максимальной дальности обнаружения.

Количественно ПЗ оценивают техническими и эксплуатационными критериями. С помощью технических критериев ПЗ оценивают качество приема полезного сигнала. Для этих критериев используют различные соотношения энергетических параметров (мощности или напряжения) помех и полезного сигнала на входе и после обработки на выходе РПУ. Так, критерий, называемый коэффициентом подавления помехи K_p , оценивает качество подавления, заключающееся в уменьшении мощности помехи и оценивается отношением мощностей помехи на входе и выходе РПУ: $K_p = P_{п.вх} / P_{п.вых}$. Критерий, называемый коэффициентом подпомеховой видимости $K_{п.в}$, оценивает соотношение мощностей помехи и сигнала на входе РПУ, при котором начинает обнаруживаться цель: $K_{п.в} = P_{п.вх} / P_{с.вх}$. Для каждого вида помех существуют свои K_p и $K_{п.в}$, для импульсных помех указывается также средняя частота повторения. Эксплуатационным критерием ПЗ для обзорных РЛ может являться дальность обнаружения цели с заданной вероятностью правильного обнаружения при известной ЭПР в условиях помех определенного вида и параметров при допустимом уровне ложных тревог.

Защита от помех ведется путем улучшения энергетических параметров РЛС, оптимальной фильтрации сигналов в приемных устройствах, создания специальных устройств для защиты приемников РЛС от импульсных помех, применения поляризационной селекции для защиты от сигналов, отраженных от метеорообразований, и устройств СДЦ для защиты от отражений от местных предметов и земной поверхности.

Надежность РЛС. Надежность — это свойство РЛС выполнять установленные для нее задачи в необходимом объеме в заданных условиях эксплуатации при сохранении значений технических параметров РЛС в пределах допусков на их изменения. Основными ха-

рактеристиками надежности являются наработка на один отказ, вероятность безотказной работы в течение установленного срока, ремонтнопригодность, коэффициент готовности и т. д.

Отказом называется событие, заключающееся в переходе РЛС в неработоспособное состояние, когда хотя бы один параметр, характеризующий способность РЛС выполнять заданные функции, не соответствует значениям, установленным нормативными техническими документами. Постепенный отказ проявляется в виде постепенного выхода параметров системы за пределы допусков. Внезапный отказ проявляется в виде резкого изменения параметров, определяющих качество системы. Интенсивность отказов λ — вероятность отказа за единицу времени после некоторого времени эксплуатации при условии, что отказ до этого времени не возникал.

Нарботка на отказ T_0 — среднее время между отказами:

$$T_0 \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Нарботка на отказ обратно интенсивности отказов: $T_0 = 1/\lambda$. Нарботка на отказ РЛС, в схемах которых используются электронные лампы, составляет 400...500 ч, а современных РЛС на новой элементной базе 1500...3000 ч и более. Зависимость вероятности безотказной работы от времени работы определяется экспоненциальным законом: $P(t) = e^{-\lambda t}$, где t — текущее время работы аппаратуры.

Ремонтнопригодность — свойство системы, характеризующее возможность обнаружения и устранения отказов. Количественно ремонтнопригодность оценивается затратами времени и средств на обнаружение, устранение и предупреждение отказов с учетом необходимой квалификации обслуживающего персонала. Кроме того, ремонтнопригодность характеризуется таким экономическим показателем, как средняя стоимость ремонта.

Среднее время восстановления $T_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{vi}$, где t_{vi} — время восстановления i -го отказа; n — число восстановлений отказов.

Современные РЛС имеют аппаратуру встроенного контроля параметров и отыскания неисправностей, что обеспечивает среднее время восстановления около 30 мин.

Коэффициент готовности K_T — вероятность нахождения РЛС в исправном состоянии в любой момент времени. Установившееся значение коэффициента определяется выражением $K_T = T_0 / (T_0 + T_v)$. Для обеспечения требующихся показателей безопасности полетов коэффициент готовности должен быть 0,999 и более.

Долговечность РЛС определяется ее техническим ресурсом, который характеризуется наработкой объекта от начала эксплуатации до наступления предельного состояния, когда эксплуатация объекта должна быть прекращена из-за значительных трудностей ремонта или невозможности сохранения РЛС ее технических параметров.

Срок службы РЛС определяется продолжительностью эксплуатации (календарной) от момента ее начала до наступления предельного состояния. Технический ресурс для РЛС разработки 1960... ..1970 гг. обычно 4000...6000 ч, для современных РЛС, создающихся на новой элементной базе, 60 000...80 000 ч и более.

Эксплуатационные возможности РЛС. Эти качества характеризуются: размерами и массой РЛС; возможным местом их установки; видом первичного питания и потребляемой мощностью; временем готовности (временем, затрачиваемым на приведение РЛС в работоспособное состояние), продолжительностью непрерывной работы; надежностью; численностью обслуживающего персонала и его квалификацией; климатическими условиями, в которых может работать РЛС (температура внешней среды, влажность, давление, скорость ветра); стоимость РЛС и ее годовой эксплуатации.

Конкретные эксплуатационные требования зависят от условий, в которых должна эксплуатироваться аппаратура. По видам этих условий РЛС делятся на устанавливаемые в стационарных (отапливаемых) помещениях, в отапливаемых кузовах или контейнерах на открытой местности. Соответствие разработанной аппаратуры климатическим и механическим эксплуатационным требованиям проверяют при испытаниях в условиях, имитирующих реальные в соответствии с предъявляемыми требованиями. Размеры и масса аппаратуры требованиями не регламентируются. Однако всегда к новой аппаратуре предъявляется требование минимальной массы и размеров аппаратуры с удовлетворением требования удобного доступа к устройствам аппаратуры для ее ремонта.

3.1. Учет случайных закономерностей процесса обнаружения и энергетических потерь в сигнале в уравнении радиолокации

Одна из основных задач РЛС — дальнейшее обнаружение ВС, т. е. обнаружение при малых уровнях полезных сигналов $u_c(t)$, когда влияние шумов $u_{ш}(t)$ существенно. Эти напряжения при смешивании алгебраически суммируются и образуют $u_{ш+c}(t)$. Амплитуды ВЧ-последовательности импульсов $u_{ш+c}(t)$ во входных цепях РПУ могут изменяться от нуля до значений, ограничиваемых только усиленным трактом приемника. Физически появление случайного колебания $u_{ш}(t)$ (рис. 3.1) объясняется реакцией колебательной системы (фильтров) УПЧ на воздействие входного шумового напряжения. Огибающая этих колебаний $U_{ш}(t)$, а также и их фазы изменяются со сравнительно низкими частотами от 0 до Δf — ширины полосы фильтров УПЧ.

Распределение амплитуд огибающей $U_{ш}(t)$ напряжений шума $u_{ш}(t)$ на выходе УПЧ подчиняется нормальному (Гауссову) закону:

$$p(U_{ш}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ш}^2}} \exp\left(-\frac{U_{ш}^2}{2\sigma_{ш}^2}\right),$$

где $\sigma_{ш}^2 = (U_{ш} - \bar{U}_{ш})^2$ — дисперсия шумового напряжения $U_{ш}$.

Распределение амплитуд огибающей напряжений шума приведено на рис. 3.2, а. Положительные и отрицательные значения $U_{ш}(t)$ равновозможны, поэтому функция $p(U_{ш})$ симметрична и среднее значение $U_{ш}(t) = 0$.

Закон распределения амплитуд $U_{ш}$ после детектирования изменяется на простой закон Релея:

$$p(U_{ш}) = \frac{U_{ш}}{\sigma_{ш}^2} \exp\left(-\frac{U_{ш}^2}{2\sigma_{ш}^2}\right).$$

Вид этого распределения показан на рис. 3.2, б.

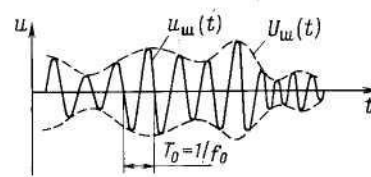


Рис. 3.1. Вид шумового напряжения на выходе УПЧ

Распределение амплитуд огибающей смеси $U_{c+ш}(t)$ после прохождения УПЧ, т. е. на входе детектора, описывается обобщенным законом Релея (он же закон Рейса):

$$p(U_{c+ш}) = \frac{1}{2\sigma_w^2} \exp\left(-\frac{U_w - U_c}{2\sigma_w^2}\right).$$

После детектирования это распределение изменится на следующее:

$$p(U_{c+ш}) = \frac{U_w}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{U_w^2 + U_c^2}{2\sigma_w^2}\right) I_0\left(\frac{U_w U_c}{\sigma^2}\right),$$

где $I_0(U_w U_c / \sigma^2)$ — функция Бесселя первого рода нулевого порядка от мнимого аргумента.

Эта зависимость представлена на рис. 3.2, в. Отличия рассматриваемых распределений используются для обнаружения полезных сигналов. Распределения U_w и U_{w+c} частично накладываются друг на друга, поэтому возможно лишь с некоторыми вероятностями высказать альтернативные гипотезы о наличии (Γ_1) или отсутствии (Γ_2) сигнала. Для этого применяется критерий $U_{пор}$, по которому можно принимать решение в пользу той или другой гипотезы. Физически этот критерий представляется реальной чувствительностью РПУ, т. е. порогом напряжения, при превышении которого напряжениями $U_w(t)$ или $U_{w+c}(t)$ принимается решение о наличии сигнала.

Справа от $U_{пор}$ (рис. 3.2, кривая 3) лежит область принятия гипотезы Γ_1 , а слева — гипотезы Γ_2 (рис. 3.2, кривая 2).

При принятии гипотезы Γ_1 возможно:
 правильное обнаружение сигнала с вероятностью $P_{п.о} = \int_{U_{пор}}^{\infty} p(U_{w+c}) dU$;

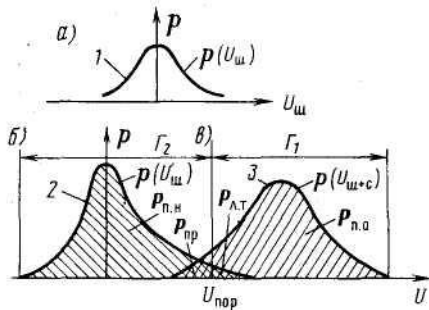


Рис. 3.2. Распределение амплитуд огибающей шумовых напряжений на выходе УПЧ (1), на выходе детектора (2) и суммы напряжений сигнала и шума на выходе детектора (3)

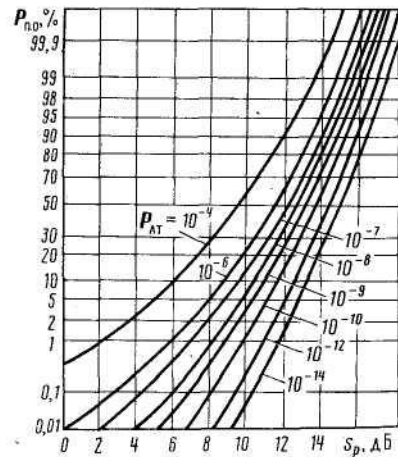


Рис. 3.3. Характеристики обнаружения

ложное обнаружение сигнала (тревога) с вероятностью $P_{л.т} = \int_{U_{пор}}^{\infty} p(U_w) dU$.

При принятии гипотезы Γ_2 возможны:

пропуск сигнала, его вероятность $P_{п.р} = \int_{-\infty}^{U_{пор}} p(U_{w+c}) dU$;

правильное необнаружение сигнала с вероятностью $P_{п.н} = \int_{-\infty}^{U_{пор}} p(U_w) dU$.

Правильное обнаружение и пропуск сигнала являются событиями несовместимыми и образуют полную группу событий, т. е. $P_{п.о} + P_{п.р} = 1$. По той же причине $P_{п.н} + P_{л.т} = 1$. При увеличении значения $U_{пор}$ уменьшается вероятность $P_{л.т}$, но при этом одновременно уменьшается $P_{п.о}$. Следовательно, оценка факта обнаружения может быть только вероятностной.

Для проведения расчетов дальности РЛС используют зависимости вида $P_{п.о} = f(P_c/P_w)$ для ряда фиксированных значений $P_{л.т}$. Эти кривые приведены на рис. 3.3 для когерентного одноимпульсного сигнала при нефлюктуирующей цели и детектировании без потерь (линейное). Они называются характеристиками обнаружения, так как с их помощью определяют минимальное, т. е. пороговое соотношение $P_{с.мин}/P_w$, при котором может быть получена максимальная дальность обнаружения при заданной вероятности правильного обнаружения при принятом допустимом уровне ложных тревог. Для основного уравнения радиолокации (2.11) это соотношение, называемое коэффициентом различимости s_p , снимается с помощью кривых (см. рис. 3.3). Данная процедура обнаружения называется обнаружением по критерию Неймана—Пирсона, т. е. с пороговой схемой на выходе РПУ.

Причины энергетических потерь, сопровождающих работу РЛС, можно подразделить на два вида. К первому следует отнести потери L , связанные с работой устройств РЛС при излучении, приеме и обработке сигналов. Второй вид потерь имеет место в среде распространения из-за затухания, отражения радиоволн от земли и флуктуаций ЭПР цели. Первые из указанных причин учитываются в уравнении (2.11) увеличением необходимого коэффициента различимости s_p в L раз. Потери $L = P_{oi}/P_{yi}$, где P_{oi} — мощность принимаемого сигнала без учета i -й причины потерь, а P_{yi} — мощность сигнала с учетом этих потерь. Общие потери по различным i -м причинам $L = \prod L_i$. С учетом потерь уравнение радиолокации имеет вид

$$R_{max}^4 = \frac{P_n G_{max}^2 \lambda^2 \sigma_t}{64\pi^3 N_0 K_w \frac{1}{M} s_p L} \quad (3.1)$$

Потери второго вида учитываются в дальности РЛС введением множителя $K_{осл}$, т. е. $R_{max} = K_{осл} R_{max св}$, где $R_{max св}$ — максимальная дальность РЛС в свободном пространстве.

Рассмотрим некоторые причины потерь первого типа. Конструктивные особенности РЛС и принятые методы приема и обработки сигналов влияют на интенсивность принимаемого сигнала. Так, потери в антенне возникают вследствие неполного перехвата антенной энергии от облучателя, из-за чего часть энергии за счет дифракции радиоволн «переливается» за края антенны, образуя боковые и задние лепестки. Потери могут быть до 3 дБ. Если при передаче и приеме используются различные виды поляризации ЭМВ, то потери увеличиваются еще на 3 дБ.

Огибающая пачки импульсов радиосигналов имеет форму ДНА, т. е. они неодинаковы по интенсивности, а в уравнении радиолокации все M импульсов считаются одинаковыми. Потери вследствие неучета реальной формы ДНА достигают 1,5...2 дБ.

Потери при прохождении энергии по антенно-волноводному тракту зависят от вида линии передачи, ее конструкции, числа неоднородностей, т. е. переходов, изгибов, сочленений, фильтров, делителей. Общие потери по указанным причинам учитываются КПД тракта приема-передачи и могут составлять 1...3 дБ.

Амплитудно-частотная характеристика приемника согласована со спектром сигнала. Это согласование осуществляется путем выбора полосы пропускания УПЧ Δf в соответствии с длительностью импульса τ по формуле $\Delta f = 1/\tau$. Реально согласование не идеально, поэтому потери по причине рассогласованности Δf и τ могут достигать 1...2 дБ.

РЛС излучают некогерентные сигналы. При обработке некогерентной пачки из M импульсов потери приближенно могут учитываться величиной \sqrt{M} . В режиме СДЦ принимаемую пачку импульсов делают когерентной в тракте УПЧ путем фазирования гетеродина приемника каждым зондирующим импульсом. В этом случае теоретически потерь при накоплении пачки из M импульсов нет. Однако практически при обработке могут быть потери, оцениваемые примерно 1...0,5 дБ.

При автоматической обработке принимаемых сигналов весь период повторения T_p разбивается на временные дискреты t_d , в которых и обнаруживается сигнал. Если $t_d > \tau$, то из-за приема шумов во всем дискрете t_d возникают потери, которые могут быть оценены соотношением t_d/τ .

Сигнал, отраженный от цели, флуктуирует по интенсивности, поэтому его обнаружение среди шумовых выбросов становится более затруднительным, чем нефлуктуирующего сигнала, и приводит к возрастанию необходимого для обнаружения цели коэффициента s_p . Потери в этом случае могут достигать 0,5...1,5 дБ.

Для обнаружения цели оператор должен наблюдать за всем полем экрана индикатора, однако он осматривает экран последова-

тельно. Вследствие этого возможно запаздывание обнаружения целей, т. е. его обнаружение на меньших дальностях при большем s_p , чем это субъективно возможно. Реальные потери оператора определить трудно. Из опытных данных следует, что потери оператора при необходимости иметь значение $R_{по} = 0,7...0,9$ могут составлять 2...7 дБ.

Ухудшение технических характеристик РЛС в процессе их старения, неточность регулировки и другие эксплуатационные причины приводят к энергетическим потерям, которые могут быть оценены на базе статистических исследований, проводимых в процессе эксплуатации.

3.2. Методика расчета дальности действия РЛС с учетом рефракции радиоволн и кривизны Земли

При проведении расчетов дальности видимости целей для обеспечения минимума объема вычислений целесообразно пользоваться следующими единицами физических величин, входящих в уравнение радиолокации: P_n , Вт; λ , см; σ , м²; R , км; τ , с; N_0 , Дж. Параметры G , K_w , M , s_p , L — безразмерные величины. При этом уравнение радиолокации будет иметь вид

$$R_{max}^4 = 12,6 \frac{P_n \tau c^2 \lambda^2 \sigma}{K_w \frac{1}{M} s_p L}$$

Коэффициент 12,6 объединяет постоянные члены управления: $(4\pi)^3$, $N_0 = \kappa T_0$, а также различные масштабы преобразования величин в связи с использованием указанных единиц физических величин. Полученное выражение можно прологарифмировать и умножить на 10, т. е. представить все величины в децибеллах, что значительно упростит расчеты:

$$40 \lg R_{max} = 10 \lg 12,6 + 10 \lg P_n + 10 \lg \tau + 20 \lg G + 20 \lg \lambda + 10 \lg \sigma - 10 \lg K_w - 10 \lg s_p + 10 \lg M - 10 \lg L. \quad (3.2)$$

Так как R (дБ·км) = $10 \lg R$ (км), то, используя правую часть выражения, по таблицам десятичных логарифмов получим R в километрах.

Дальность прямой видимости и учет рефракции радиоволн. При высоте расположения антенны над землей h_a (рис. 3.4) и полете ВС на высоте радиогоризонта H_c геометрическая дальность прямой видимости $R_{пр} = O'C + PO'$. Используя обозначения, указанные на рисунке, получим

$$R_{пр} = \sqrt{(r_3 + H_c)^2 - r_3^2} + \sqrt{(r_3 + h_a)^2 - r_3^2} = \\ = \sqrt{2r_3} (\sqrt{H_c + H_c^2/2r_3} + \sqrt{h_a + h_a^2/2r_3}).$$

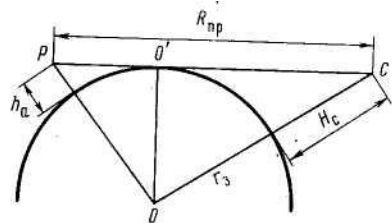


Рис. 3.4. Дальность прямой радиовидимости

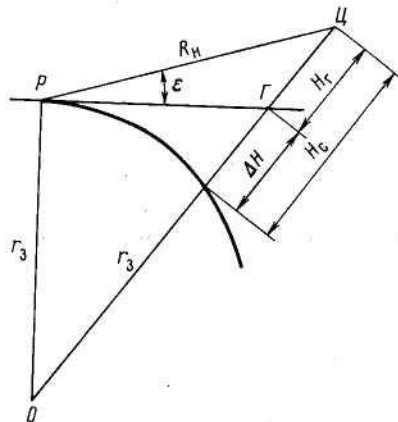


Рис. 3.5. Учет кривизны Земли

Так как H_c и h_a много меньше r_3 , а $h_a \ll H_c$, то

$$R_{пр} \approx \sqrt{2r_3 H_c} \quad (3.3)$$

Принимая радиус Земли $r_3 = 6370$ км, получим $R_{пр} = 113\sqrt{H_c}$, где $R_{пр}$ и H_c выражены в километрах.

В тропосфере давление, температура и влажность убывают с ростом высоты, что вызывает уменьшение коэффициента преломления атмосферы и искривление радиоволн — приближение их к горизонту, а следовательно, увеличение дальности действия РЛС. Распространение радиоволн с коэффициентом преломления, убывающим с высотой, сводят к случаю прямолинейного распространения с постоянным коэффициентом преломления (рефракции) $K_{рф} = 1,33$ над сферической поверхностью с эквивалентным радиусом Земли $r_3 = 8500$ км. В соответствии с (3.3) $R_{пр} \approx 135\sqrt{H_c}$, где H_c — в километрах, или $R_{пр} = 4,15\sqrt{H_c}$, где H_c — в метрах.

Учет кривизны Земли. При высоте антенны $h_a = 0$ (рис. 3.5) и полете ВС на высоте H_r , т. е. на высоте H_c над поверхностью Земли, поправка к высоте на кривизну Земли будет $\Delta H = H_c - H_r$. Эта поправка находится из треугольника OPC :

$$r_3 + H_c^2 = r_3^2 + R_n^2 - 2r_3 R_n \cos(90 + \epsilon).$$

Из левой и правой частей равенства вычтем r_3^2 и, так как $H_c \ll r_3$, будем считать, что $H_c^2 = 0$. Поэтому

$$2r_3 H_c = R_n^2 + 2r_3 R_n \sin \epsilon, \text{ или } H_c = R^2/2r_3 + R_n \sin \epsilon.$$

Из треугольника $PЦГ$ следует, что $\sin \epsilon = H_r/R_n$, поэтому $\Delta H = H_c - H_r = R_n^2/2r_3$. При $r_3 = 8500$ км $\Delta H_m = R_n^2/17$, где R_n — дальность, км.

3.3. Уменьшение дальности вследствие затухания радиоволн

Основным источником ослабления и рассеивания радиоволн в атмосфере для РЛС ГА являются гидрометеорологические образования (водяные частицы, снег, град). Интенсивность поглощения радиоволн гидрометеорами зависит от длины волны λ . Поглощение следует учитывать при $\lambda < 20$ см. Оно наиболее велико при $\lambda = 1...3$ см.

Количественно ослабление радиоволн учитывается коэффициентом затухания α_r , выраженным в децибеллах на километр. Коэффициент зависит от уровня гидрометеорообразований и относительного коэффициента затухания α_0 , оценивающего затухание энергии при прохождении радиоволновой расстояния в 1 км, при эталонном уровне осадков, т. е. $\alpha_r = \alpha_0 I$. Пусть мощность отраженного сигнала при отсутствии осадков (в свободном пространстве) будет $P_{с.св}$, а при наличии гидрометеорообразований $P_{с.г}$. При этом мощность принимаемого сигнала изменится на величину $\Delta P = P_{с.св} - P_{с.г}$, которая в децибеллах выражается зависимостью

$$\Delta P = 10 \lg \frac{P_{с.св}}{P_{с.г}}$$

Если радиолокационное зондирование при наличии осадков производится на расстояние R_r , то коэффициент затухания

$$\alpha_r = \frac{1}{2R_r} \left(10 \lg \frac{P_{с.св}}{P_{с.г}} \right),$$

откуда

$$P_{с.г} = P_{с.св} \cdot 10^{-0,2\alpha_r R_r} \quad (3.4)$$

Так как $\ln(P_{с.св}/P_{с.г}) = 2,3 \lg(P_{с.св}/P_{с.г})$, то при использовании неположенных логарифмов уравнение (3.4) представляется в следующем виде:

$$P_{с.г} = P_{с.св} e^{-0,46\alpha_r R_r}.$$

Используем полученное выражение для вывода зависимости, необходимой при расчете дальности работы РЛС в условиях наличия гидрометеоров. Вначале представим основное уравнение радиолокации в виде:

$$P_{с.св} = K/R_{св}^4,$$

где K — все остальные члены уравнения.

Подставив это уравнение в выражение (3.4), получим

$$P_{с.г} = \frac{K}{R_{св}^4} 10^{-0,2\alpha_r R_r}$$

Если при наличии осадков $P_{с.г} = P_{с.мин}$, то полученное уравнение будет соответствовать максимальной дальности РЛС в условиях затухания радиоволн из-за наличия осадков:

$$P_{с.мин} = \frac{K}{R_{г.макс}^4} 10^{-0,2\alpha_r R_{г.макс}}$$

Так как для свободного пространства $P_{с.мин} = K/R_{св}^4$, то последнее уравнение можно записать в виде

$$\frac{1}{R_{св.макс}^4} = \frac{1}{R_{г.макс}^4} 10^{-0,2\alpha_r R_{г.макс}}$$

или

$$R_{г.макс}^4 = R_{св.макс}^4 \cdot 10^{0,2\alpha_r R_{г.макс}}$$

Таким образом, искомая дальность РЛС при наличии гидрометеоров

$$R_{г.макс} = R_{св.макс} \cdot 10^{-0,05\alpha_r R_{г.макс}}$$

Это уравнение правильно и в случае снятия индексов «макс».

Рассуждая аналогично, можем написать искомую зависимость также и в виде экспоненциальной зависимости

$$R_r = R_{св} = e^{-0,115\alpha_r R_r}$$

Оба вида уравнений трансцендентные и решаются с помощью графиков, имеющих в специальных пособиях. Приближенное решение уравнений можно получить заменой в показателе степени R_r на $R_{св}$. Методика решения задачи при наличии дождя на части трассы зондирования излагается в специальных пособиях.

3.4. Влияние отражений радиоволн от Земли на зону обзора в вертикальной плоскости

Высота размещения антенн обзорных РЛС $h_a < 10...20$ м, оси их ДН для обеспечения дальнего обнаружения располагаются возможно ближе к плоскости горизонта, поэтому часть излучаемой энергии направляется в сторону Земли. Векторы электрических напряженностей (рис. 3.6, а) падающей $\vec{E}_{пад}$ и отраженной $\vec{E}_{отр}$ волн связаны соотношением $\vec{E}_{отр} = \rho \vec{E}_{пад}$, где ρ — коэффициент отражения.

Для диапазона дециметровых волн, в котором работают обзорные РЛС, земная поверхность является гладкой — зеркальной, так как высота ее неровностей меньше длины волны. Поэтому при отражении фаза колебаний изменяется на величину, близкую к 180° , а $\rho \approx 1$. У цели произойдет векторное сложение напряженностей прямого и отраженного сигналов $\vec{E}_{пр}$ и $\vec{E}_{отр}$, имеющих одинаковые периоды колебаний, и будет получена результирующая напряженность поля $\vec{E}_ц$. Значение $E_ц$ зависит от значений $E_{пр}$ и $E_{отр}$, а также от сдвига фаз $\Delta\varphi$ между ними (рис. 3.6, б), из которого следует, что $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_1$.

Из векторной диаграммы рис. 3.6, б следует, что

$$E_ц = \sqrt{E_{пр}^2 + E_{отр}^2 - 2E_{пр}E_{отр} \cos \Delta\varphi},$$

$$E_ц = E_{пр} \sqrt{1 + (E_{отр}^2/E_{пр}^2) - 2(E_{отр}/E_{пр}) \cos \Delta\varphi}.$$

Величины $E_{пр}$ и $E_{отр}$ можно представить следующим образом:

$$E_{пр} = E_0 \sqrt{DF(\beta_1)}; E_{отр} = E_0 DF(\beta_2),$$

где E_0 — напряженность поля ЭМЭ, создаваемая ненаправленной антенной; D — коэффициент направленного действия (КНД) антенны; $F(\beta_1)$ и $F(\beta_2)$ — нормированные функции ДНА.

Так как максимум КНД антенны направлен почти горизонтально, а углы β_1 и β_2 очень малы, то их можно считать равными. Поэтому КНД антенны для этих углов практически одинаковы.

Из этого следует, что,

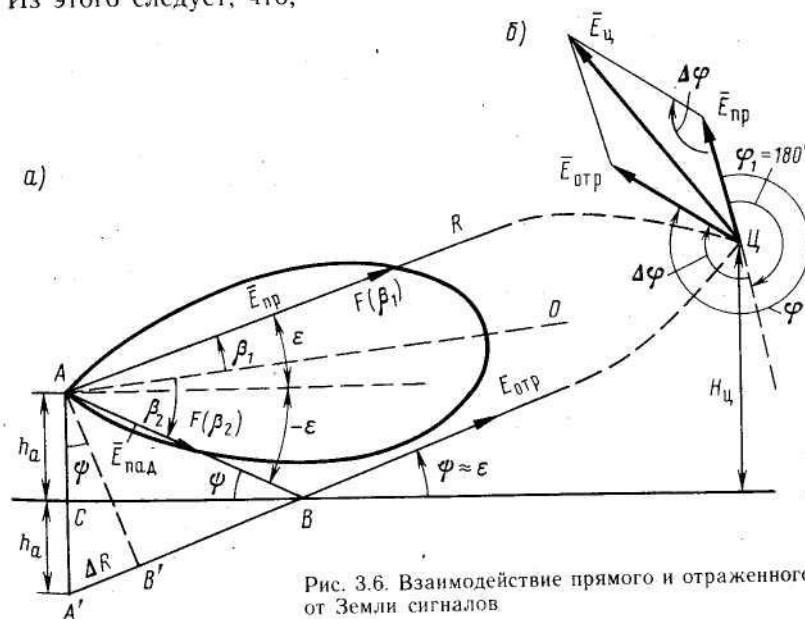


Рис. 3.6. Взаимодействие прямого и отраженного от Земли сигналов

$$\frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{отр}}} = \rho \frac{F(\beta_1)}{F(\beta_2)}$$

Сдвиг фаз $\Delta\varphi$ вызван разностью хода ΔR прямого и отраженного сигналов в направлении цели по путям АЦ и АВЦ, т. е. $\Delta R = \text{АВЦ} - \text{АЦ}$.

Обозначим

$$\sqrt{1 + \rho^2 - 2\rho \cos \Delta\varphi} = \Phi(\beta). \quad (3.5)$$

Максимум ДН антенны направлен по линии горизонта. Приняв ДН симметричной, получим, что углы $\beta_1 = \beta_2 = \varepsilon$, т. е. $\Phi(\beta) = \Phi(\varepsilon)$. Эта функция называется интерференционным множителем Земли, который показывает изменение сигнала от цели в зависимости от значения и знака функции $\cos \Delta\varphi$. Так как $\Delta\varphi$ изменяется от 0 до 2π , то $\cos \Delta\varphi$ принимает значения $+1 \dots -1$, поэтому $\Phi(\varepsilon) = 1 \pm \rho$. Примем $\rho = 1$, тогда $0 < \Phi(\varepsilon) \leq 2$, т. е. и $0 \leq E_n \leq 2E_{\text{пр}}$. В соответствии с (2.9) дальность обнаружения цели в направлении угла ε :

$$R = R_{\text{max}} F(\varepsilon).$$

Для учета отражений от Земли введем функции $\Phi(\varepsilon)$. Тогда

$$R_3 = R_{\text{св. max}} F(\varepsilon) \Phi(\varepsilon), \quad (3.6)$$

где R_3 — дальность обнаружения цели с учетом отражения от Земли; $R_{\text{св. max}}$ — максимальная дальность обнаружения цели в свободном пространстве.

Если ДН в вертикальной плоскости не направлена, то $F(\varepsilon) = 1$, поэтому $0 \leq R_3 \leq 2R_{\text{св. max}}$.

О характере изменения $\Phi(\varepsilon)$ можно судить по (3.5), учитывая, что $\rho = 1$:

$$\Phi(\varepsilon) = \sqrt{2 - 2\cos \Delta\varphi} = \sqrt{2(1 - \cos \Delta\varphi)} = \sqrt{4\sin^2 \Delta\varphi / 2},$$

$$\text{или } \Phi(\varepsilon) = \sqrt{2\sin(\Delta\varphi/2)}. \quad (3.7)$$

Рассмотрим влияние сдвига фаз $\Delta\varphi$ на форму вертикального сечения зоны обзора РЛС. Найдем зависимость для определения величины $\Delta\varphi$. Так как на протяжении длины волны λ фаза колебания изменяется на 2π , а на некотором интервале (дальности) ΔR на величину $\Delta\varphi$, то

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R. \quad (3.8)$$

Так как $R \gg h_a$, то реально направления хода прямого и отраженного лучей почти параллельны, т. е. $\psi \approx \varepsilon$, а точка A' является зеркальным отражением точки A и разность хода $\Delta R = A'B'$. Величина $AA' = 2h_a$, поэтому $\Delta R = 2h_a \sin \psi$. Подставив это выражение в (3.8), получим

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi h_a}{\lambda} \sin \varepsilon. \quad (3.9)$$

Аргумент выражения (3.7) $\Delta\varphi/2 = (2\pi h_a \sin \varepsilon)/\lambda$, поэтому углы ε , при которых значения $\Delta\varphi$ обеспечивают экстремальные значения $\Phi(\varepsilon)$, могут быть найдены из условия $\Delta\varphi/2 = n\pi/2$, т. е.

$$\frac{\Delta\varphi}{2} = \frac{2\pi h_a}{\lambda} \sin \varepsilon_{\text{н экстр}} = n \frac{\pi}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.10)$$

Из (3.7) и (3.10) видим, что нечетные значения n дадут углы расположения максимумов, так как при $n = 1, 3, 5 \dots$ имеем $\sin \frac{\pi}{2} = 1$, а при четных $n = 0, 2, 4 \dots$ получим углы расположения минимумов, так как в этих случаях $\sin \pi/2 = 0$.

Зависимость для расчета углов ε , соответствующих максимумам и минимумам дальности обнаружения, получим из (3.10):

$$\sin \varepsilon_n = n\lambda/4h_a.$$

Для малых углов $\sin \varepsilon \approx \varepsilon$, поэтому максимум первого лепестка $n = 1$ имеет направление $\varepsilon_{\text{max1}} \approx \lambda/4h_a$ (в радианах), или $\varepsilon_{\text{max1}} \approx 60\lambda/4h_a$ (в градусах).

Следовательно, для обнаружения целей, появляющихся из-за горизонта, следует увеличить высоту антенны, так как в этом случае первый лепесток будет «прижиматься» к земле.

Так как $0 \leq \sin \varepsilon_n \leq 1$, $\sin \varepsilon_n = n\lambda/4h_a \leq 1$, т. е. $n \leq 4h_a/\lambda$.

Число лепестков N равно числу максимумов, поэтому $N_n = n/2$, или $N_n = 2h_a/\lambda$. Результаты округляют до ближайшего меньшего целого числа. Из приведенных зависимостей следует, что с уменьшением λ и увеличением h_a число лепестков увеличивается. Это уменьшает «провалы» в диаграмме видимости и расстояние между лепестками.

3.5. Методика расчета и построения диаграммы обнаружения в вертикальной плоскости с учетом отражений от Земли

В предыдущем разделе получена зависимость $\Phi(\varepsilon) = 1 \pm \rho$, где $\rho = E_{\text{отр}}/E_{\text{пр}}$.

Учитывая, что

$$E_{\text{пр}} = E_{\text{max}} F_E(\beta_1); \quad E_{\text{отр}} = E_{\text{max}} F_E(\beta_2), \quad (3.11)$$

а их отношение

$$E_{\text{отр}}/E_{\text{пр}} = F_E(\beta_2)/F_E(\beta_1), \quad (3.12)$$

получим

$$\Phi(\varepsilon) = 1 \pm \frac{F_E(\beta_2)}{F_E(\beta_1)}$$

Обозначим интерференционные множители для углов с экстремальными значениями дальностей $\Phi(\epsilon_{n \max})$ и $\Phi(\epsilon_{n \min})$. Тогда с учетом $\beta_1 \approx \beta_2 \approx \epsilon$ имеем:

$$\Phi(\epsilon_{n \max}) = 1 + \frac{F_E(-\epsilon_{n \max})}{F_E(\epsilon_{n \max})}; \quad (3.13)$$

$$\Phi(\epsilon_{n \min}) = 1 - \frac{F_E(-\epsilon_{n \min})}{F_E(\epsilon_{n \min})}. \quad (3.14)$$

Умножив левую и правую части равенств (3.13) и (3.14) на $F_E(\epsilon_{n \max})$ и $F_E(\epsilon_{n \min})$ соответственно и обозначив полученные в левых частях результирующие произведения функциями $F_{\text{рез}}(\epsilon_{n \max})$ и $F_{\text{рез}}(\epsilon_{n \min})$, получим зависимости:

$$F_{\text{рез}}(\epsilon_{n \max}) = F_E(\epsilon_{n \max}) + F_E(-\epsilon_{n \max});$$

$$F_{\text{рез}}(\epsilon_{n \min}) = F_E(\epsilon_{n \min}) - F_E(-\epsilon_{n \min}).$$

В соответствии с (3.6) находим выражение для расчета дальностей видимости в направлениях углов места, на которых располагаются экстремальные дальности обнаружения целей с учетом отражений от Земли:

$$R_{z(\epsilon_{n \text{ экстр}})} = R_{\text{св. макс}} F_{\text{рез}}(\epsilon_{n \text{ экстр}}).$$

В реальных случаях $\varphi_i \neq 180^\circ$, а $\rho < 1$, поэтому $R_{z, \max} < 2R_{\max}$. Кроме того, ДН несимметрична. Поэтому в диаграмме видимости нет нулевых минимумов, а $R(\epsilon_n)$ при n нечетных разные. На рис. 3.7 показана возможная диаграмма видимости в вертикальной плоскости обзорной РЛС с косекансной ДН антенны без учета и с учетом отражений от земной поверхности.

Земля значительно влияет на диаграмму видимости в дециметровом диапазоне. При сантиметровых волнах влияние отражений мало заметно, так как земная поверхность для этих волн шероховатая,

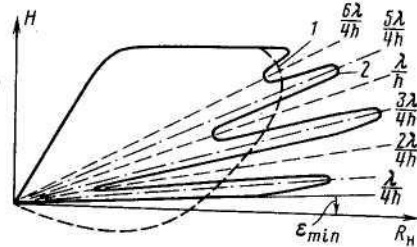


Рис. 3.7. Диаграмма зоны видимости РЛС с учетом (2) и без учета отражений (1) от земли

а не гладкая, поэтому большая часть отраженной энергии рассеивается, лепестков много, они малы по глубине и ширине и поэтому отражения не оказывают большого влияния на работу РЛС.

Основные способы борьбы с отражениями от Земли следующие: конструирование антенны с крутой ДН на малых углах места; использование двухлучевой ДН (верхний луч несколько на $2...4^\circ$ приподнят над нижним); разме-

щение антенны на возвышенности и специальная обработка сигналов, для чего все РЛС ГА, кроме метеорологических и РЛС обзора летного поля используют устройства СДЦ, в которых сигналы, отраженные от Земли, подавляются.

3.6. Методы построения зоны обнаружения целей

Зона обнаружения (зона обзора) — это пространство, в котором РЛС ведет наблюдение и может обнаружить цель, имеющую известную ЭПР с установленными для РЛС эксплуатационными характеристиками обнаружения $P_{\text{п.о}}$ и $P_{\text{л.т}}$.

Контуры пространства зоны обнаружения (рис. 3.8) определяются: формой ДН антенны РЛС; максимальной дальностью обнаружения; пределами сканирования ДН по азимуту и углу места и ее расположением относительно горизонта (минимальный угол места ϵ_{\min}).

Сечения зоны обзора в вертикальной и горизонтальной плоскостях называются диаграммой обнаружения или видимости в соответствующей плоскости. Для обзорных РЛС строятся как вертикальные, так и горизонтальные сечения. Вертикальное сечение строится в прямоугольной системе координат (наклонная дальность R_n — высота H).

Для характеристики зоны обнаружения в горизонтальной плоскости необходимо построение ее горизонтальных сечений как бы послойно на различных высотах. Диаграммы обнаружения в горизонтальной плоскости для обзорных РЛС являются основными. Для построения этих диаграмм используют R_n , снятые с диаграмм видимости, построенных в вертикальной плоскости. При снятии R_n учитывается угол закрытия зоны обнаружения из-за наличия препятствий на местности на некоторых азимутах зоны обзора.

Построение зоны обзора состоит из следующих этапов:

расчета максимальной дальности обнаружения; расчета дальностей обнаружения для различных углов места; создания координатной сетки; построения диаграммы обнаружения в вертикальной плоскости; расчета углов закрытия; построения графика углов закрытия в секторе наблюдения; построения диаграммы обнаружения в горизонтальной плоскости.

Построение диаграммы обнаружения в вертикальной плоскости. На оси абсцисс откладывается наклонная дальность R_n , а на оси

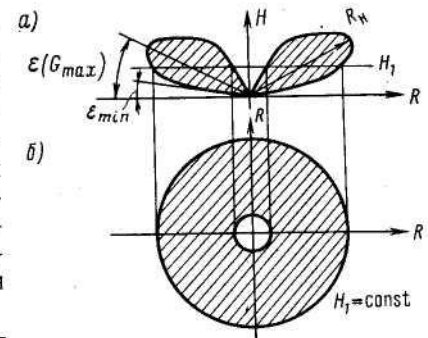


Рис. 3.8. Сечение зоны обзора в вертикальной (а) и горизонтальной (б) плоскостях

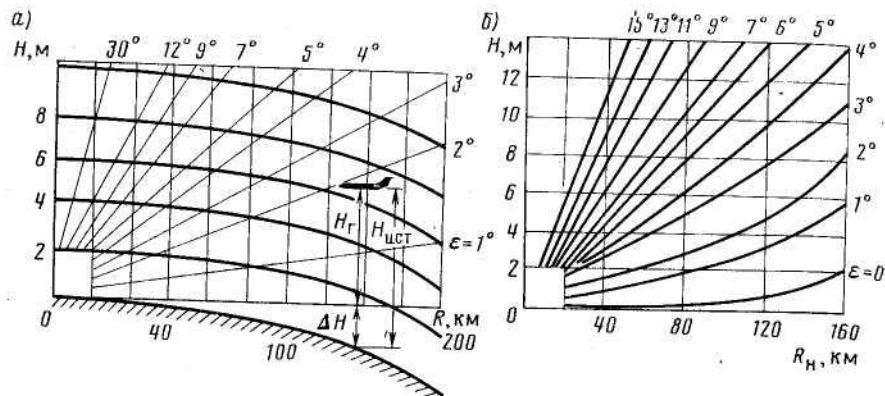


Рис. 3.9. Сетки координат, используемые для построения диаграммы видимости РЛС в вертикальной плоскости

координат — высота полета H . При построении диаграммы (рис. 3.9, а) учитывается искривление линий равных высот в соответствии с профилем Земли. Поправка (в метрах) на кривизну Земли рассчитывается по формуле $\Delta H = R_n/17$, где R_n — наклонная дальность, км, и откладывается вниз по оси абсцисс. Истинная высота $H_{\text{ист}}$, приведенная на сетке, есть сумма $H_{\text{ист}} = H_r + \Delta H$. Во втором типе сеток профиль земной поверхности учитывается искривлением углов места (рис. 3.9, б).

Линии равных дальностей в обоих типах координатных сеток наносятся на сетки параллельно оси координат дальностей. Масштаб высоты при построении выбирается в 10 или более раз крупнее масштаба дальности. Обычно по оси абсцисс R_n откладывается в километрах, а по оси ординат H в метрах. Отсчет на оси абсцисс наклонной, а не горизонтальной дальности объясняется требованием удобства как нанесения, так и снятия с диаграммы видимости данных, которые фактически наблюдаются и необходимы оператору УВД для работы. Линии одинаковой дальности наносят на сетку координат параллельно оси ординат.

Сетку углов места рассчитывают по формуле $H_r = R_n \sin \epsilon$, где H_r — высота цели над горизонтом. Так как функция синуса мало изменяется в пределах углов от минимальных до приблизительно 15° , то расстояние между линиями равных углов при возрастании угла места ϵ на 1° увеличивается примерно на одно и то же значение. Это позволяет, рассчитав высоты H_{r1} и H_{r2} , получить промежуточные линии углов пропорциональным делением разности высот $H_{r2} - H_{r1}$. С увеличением угла наблюдается сгущение линий углов места. Это объясняется тем, что масштаб высоты крупнее, чем масштаб наклонной дальности.

При необходимости нанести на одни и те же оси координат более крупный масштаб высоты или дальности необходимо помнить, что зависимость между R и ϵ приблизительно линейная, а между R и H квадратическая.

Для построения диаграммы используется полученная экспериментально или расчетными методами максимальная дальность обнаружения в свободном пространстве $R_{n \text{ max}}$ по цели с известной ЭПР, а также нормированная ДН $F(\beta)$ по напряженности поля E , задаваемая обычно в виде таблицы ее значений в зависимости от β , т. е. $F(\beta) = E(\beta)/E_{\text{max}}$, где β — текущий угол в ДН, отсчитываемый от ее оси или линии горизонта.

По этим данным рассчитывают дальность обнаружения $R_n(\epsilon) = R_{n \text{ max}} F(\epsilon)$ для различных углов места $\epsilon = \epsilon_r \pm \beta$, где ϵ_r — угол места, т. е. наклона оси антенны относительно горизонта. Углы ϵ_r и β , а также суммарный угол ϵ могут иметь не только положительные, но и отрицательные значения. Результаты расчета для удобства дальнейшего использования целесообразно представить в виде таблицы. Данные из таблицы наносят на координатную сетку и соединяют плавной кривой. Полученная диаграмма характеризует зону обзора в свободном пространстве в вертикальной плоскости.

Учет отражений от Земли производится введением в уравнение дальности РЛС функции $F_p(\epsilon_{\text{л exstr}}) = \Phi(\epsilon_{\text{л exstr}}) F(\epsilon_{\text{л exstr}})$, которая рассчитывается для углов места, соответствующих минимумам и максимумам дальности обнаружения по методике, изложенной в предыдущем разделе.

Построение диаграммы обнаружения в горизонтальной плоскости. Конфигурация и размеры диаграммы обнаружения в горизонтальной плоскости зависят от размеров сектора обзора РЛС и высоты наблюдения ВС, для которой строится диаграмма обзора. Кроме того, на диаграмму обнаружения влияют рельеф местности, форма и высота предметов, расположенных на ней (холмов, гор, строений), которые являются причиной экранирования электромагнитной энергии, излучаемой РЛС, из-за чего в зоне обзора возникают необлучаемые области, в которых цели не могут быть обнаружены. Для РЛС с круговым обзором, не имеющих в наблюдаемом пространстве препятствий, диаграмма обнаружения в горизонтальной плоскости представляется в виде концентрических кругов, радиус которых зависит от дальности обнаружения определенной (т. е. с известной ЭПР) цели при заданных условиях обнаружения ($P_{\text{п.о.}}$, $P_{\text{л.т}}$).

Для учета в диаграмме обнаружения необлучаемых (экранированных) участков необходимо предварительно рассчитать углы закрытия ϵ_{zi} (рис. 3.10) по расстояниям до закрывающих (экранирующих) объектов R_{zi} и их высоты над горизонтом h_{zi} , где $i = 1, 2, \dots$ — индекс номера препятствия. Углом закрытия называется угол, который образуется горизонтальной осью и прямой, проходящей через электрический центр антенны РЛС и касающейся вершины экранирующего объекта. Угол закрытия может быть рассчитан, оп-

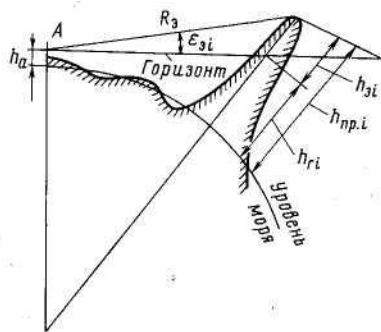


Рис. 3.10. К расчету необлучаемых участков диаграммы видимости РЛС в вертикальной плоскости

мерений или расчетов углов закрытия наносится на график (рис. 3.11). По горизонтальной оси откладываются азимуты во всем секторе обзора обычно от 0 до 360°, а по вертикальной оси — углы закрытия. На графике на некоторых азимутах могут быть также указаны наименования объектов закрытия. Этот график потребуется при изображении диаграммы обнаружения в горизонтальной плоскости с учетом явлений экранирования части зоны обнаружения. В горных условиях экранирующие препятствия (предгорья и горы) могут находиться на значительном расстоянии от РЛС, при котором следует учитывать кривизну земной поверхности. В этом случае превышение экранирующего объекта над горизонтальной плоскостью, проходящей через электрический центр антенны, вычисляют по следующей формуле: $h_3 = h_{пр.i} - h_r - h_a$, где $h_{пр.i}$ — высота i -го препятствия (горы) над уровнем моря, м; h_a — высота антенны над уровнем моря; $h_{r.i}$ — высота линии горизонта.

Результат наличия экранирования учитывается в диаграмме обнаружения, построенной в горизонтальной плоскости, но предварительно должна быть построена диаграмма (зона) обнаружения

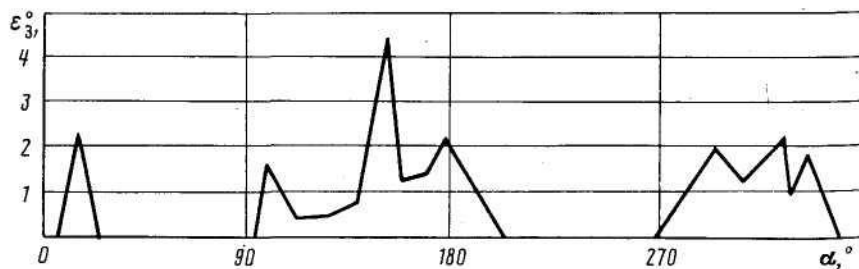


Рис. 3.11. Углы закрытия для круговой зоны обзора

ределен графически или с помощью теодолита. Углы закрытия измеряются с места установки РЛС оптическими приборами, которыми располагает служба УВД с точностью ± 2 мин по углу места и $\pm 1^\circ$ по азимуту. Высоты естественных препятствий снимаются с карт, имеющих изовысотные линии.

Так как углы закрытия обычно имеют небольшое значение (единицы градусов), для их расчета используется приближенная формула $\epsilon = 60h_{3i}/R_{3i}$, где h_{3i} и R_{3i} — высота и дальность до i -го закрывающего препятствия. Результаты из-

мерений в вертикальной плоскости. На диаграмме обнаружения, представляющей собой сечение обзора в вертикальной плоскости, через начало координат проводится линия, соответствующая углу закрытия ϵ_3 (рис. 3.12). Участок диаграммы, который находится ниже линии угла закрытия ϵ_3 на расстоянии от начала координат больше, чем дальность экранирующего препятствия R_3 , считается ненаблюдаемым и должен быть исключен из зоны обзора.

При наличии экранирующего препятствия, характеризующегося определенным углом закрытия для каждой высоты полета самолета, имеется своя наибольшая дальность видимости. Так, для угла закрытия ϵ_3 и высот полета h_1, h_2, h_3, h_4 эти дальности будут соответственно R_3, R_1, R_2, R_3 .

Размеры экранированного участка диаграммы обнаружения в горизонтальной плоскости на некоторой высоте определяются протяженностью препятствия по азимуту.

Диаграмма обнаружения, которая в документах ГА называется также графиком дальности действия РЛС, строится на географической карте контролируемого района. Для этого на карте из точки размещения РЛС как центра наносится азимутальная сетка (шкала) от 0 до 360° через 10° и строятся трассы полетов ВС. На карте из точки расположения РЛС проводят профильные линии в тех направлениях, в которых имеются препятствия, экранирующие излучение РЛС. Для каждого из этих направлений строят графики разреза местности вертикальной плоскостью, по которым определяют углы закрытия, так как это было указано ранее.

Максимальные дальности наблюдения необходимо определить для всех углов закрытия и высот полета. Эти дальности откладывают на профильных линиях, проходящих через различные высотные препятствия, находящиеся в зоне обзора. Точки максимальных дальностей на различных азимутах, определенные для одной и той

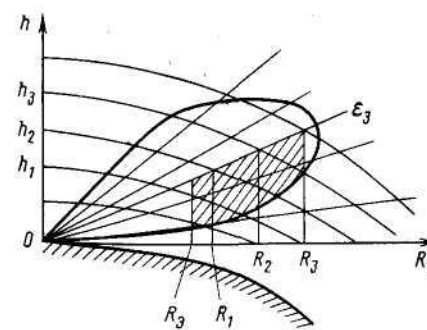


Рис. 3.12. Построение частично экранированной диаграммы видимости в вертикальной плоскости

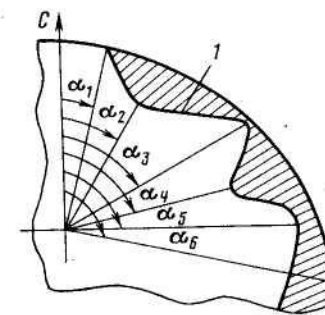


Рис. 3.13. Часть зоны обзора РЛС (диаграмма видимости) для некоторой высоты полета H при наличии экранирующих препятствий

же высоты полета, соединяются между собой плавной кривой 1 (рис. 3.13). Эта кривая представляет собой диаграмму обнаружения в горизонтальной плоскости на некоторой высоте полета с, учетом экранирующего действия наземных препятствий.

Если РЛС расположена выше уровня моря, то при определении зоны обнаружения в горизонтальной плоскости превышение места РЛС над уровнем моря следует учесть в обозначениях изолиний высоты. Так, если РЛС имеет превышение 300 м, то изолиния высоты полета 1200 м относительно РЛС должна быть обозначена высотой 1500 м. Округление превышения РЛС следует проводить до целых сотен метров. Таким образом будет составлена кривая диаграммы обнаружения для одной высоты полета. Указанным выше способом наносятся линии (диаграммы) дальностей обнаружения для всех высот через 300 м.

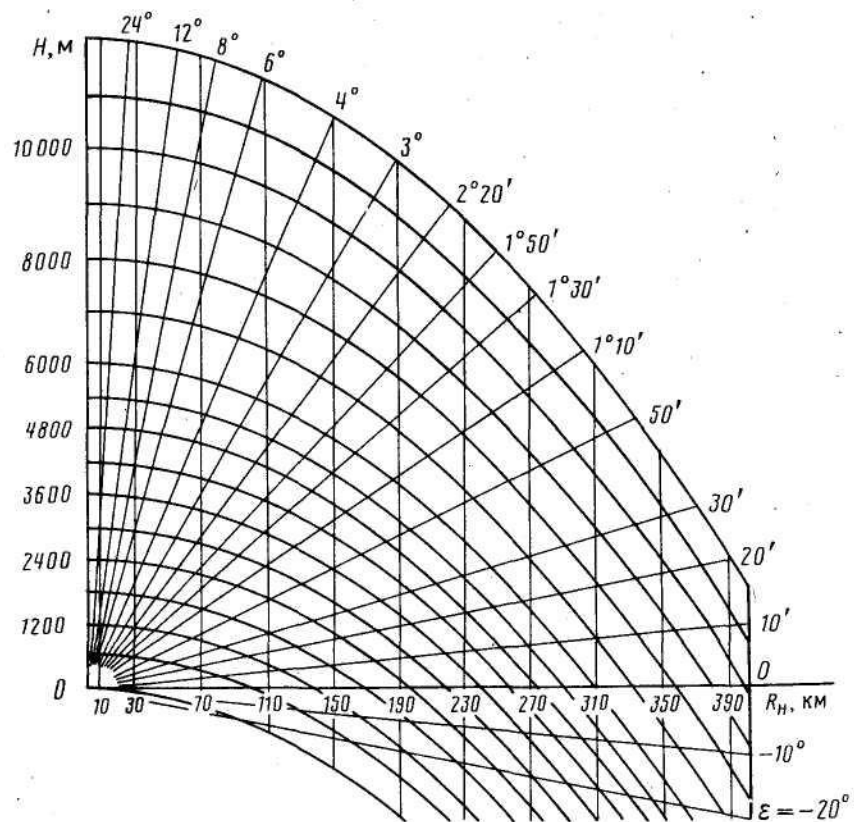


Рис. 3.14. Номограмма определения дальности видимости РЛС для различных высот и углов закрытия

Для упрощения процесса расчета дальности видимости в зависимости от угла закрытия для различных высот полета используется приведенная на рис. 3.14 номограмма. Она не требует особых пояснений по своей структуре и правилам пользования. Входами в нее являются высота полета и угол закрытия. Из номограммы видно, что одинаковые по размерам интервалы между углами закрытия распределены неравномерно: уменьшаются по мере увеличения угла от оси абсцисс к оси ординат. Это объясняется большим отличием масштабов значений по оси абсцисс (км) и по оси ординат (м).

4.1. Передатчики, линии передачи и антенны

Функциональная схема работы РЛС в процессе обнаружения объекта по отраженным сигналам приведена на рис. 4.1. Задачи, необходимость решения которых указана в блоках схемы, выполняются отдельными устройствами РЛС. Обобщенная структурная схема импульсной первичной РЛС приведена на рис. 4.2.

Передатчики. В РЛС ГА используются мощные импульсные колебания высокой частоты. Для их генерации в РЛС малых (20...30 км) и средних (100...200 км) дальностей применяют посадочные и аэродромные однокаскадные передатчики средней мощности (100...300 кВт) с автогенераторами-магнетронами (рис. 4.3, а). Для трассовых РЛС, имеющих большие дальности действия (300...450 км), применяют многокаскадные *клизотронные передатчики* (рис. 4.3, б) в виде генераторно-умножительных цепочек, обеспечивающих значительные мощности (1...3 МВт) стабильного по частоте излучения. Они состоят из генератора задающей частоты, умножителя частоты и усилителя мощности. Синхронизатор вырабатывает последовательность прямоугольных импульсов с периодом повторения T_n и напряжением в несколько десятков вольт. Синхроимпульсы образуются из синусоидальных колебаний частотой $f = 1/T_n$ путем их усиления, ликвидации отрицательной части колебаний и ограничения сверху.

Магнетроны используют для генерирования колебаний в сантиметровом и дециметровом (3...10 см) диапазонах волн. Принцип действия этого прибора был разработан в 1932 г. В. М. Мухиным, а

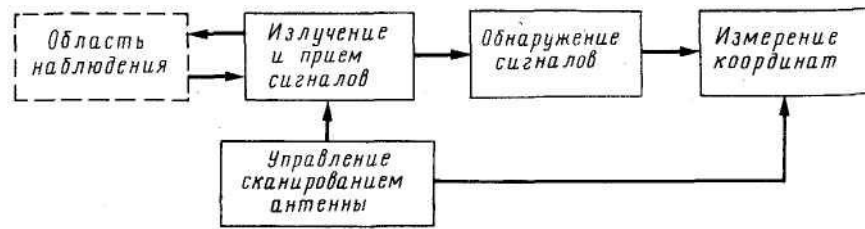


Рис. 4.1. Схема процесса обнаружения цели

в 1940 г. Д. Е. Маляровым и П. Ф. Алексеевым был создан генератор, названный магнетроном. Этот электровакуумный прибор является диодом (рис. 4.4). Лампа представляет собой анод в виде медного цилиндра 3 с внутренней полостью для цилиндрического катода 4 и цилиндрическими камерами-резонаторами 2 в теле анода, которые щелями соединены с внутренней полостью. Камера и щели эквивалентны резонансным контурам (камера имеет индуктивность L , щель — емкость C) с резонансной частотой $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$. Магнитное поле создается постоянным магнитом (на рисунке не показан), между полюсами которого размещен магнетрон. Поле магнита параллельно оси катода. Анод магнетрона заземлен.

Импульсные ВЧ-колебания возбуждаются непосредственно в камерах магнетрона после подачи на его катод отрицательного напряжения от модулятора, поэтому магнетрон называется автогенератором. В импульсном режиме магнетроны могут генерировать сигналы мощностью в десятки, сотни и более киловатт. Эмитируемые катодом электроны под воздействием электрического и магнитного полей совершают в межэлектродном пространстве сложные циклоидные движения (в виде следов точек обода катящегося колеса). Электроны, проходя мимо щелей, возбуждают в камерах ВЧ-колебания. Фазы колебаний в соседних резонаторах отличаются, так как полярности мгновенных значений колебаний у анодов между камерами противоположны, поэтому часть электронов увеличивает скорость, а часть тормозится и образуются сгустки с увеличенной плотностью. Число сгустков электронов равно половине числа резонато-

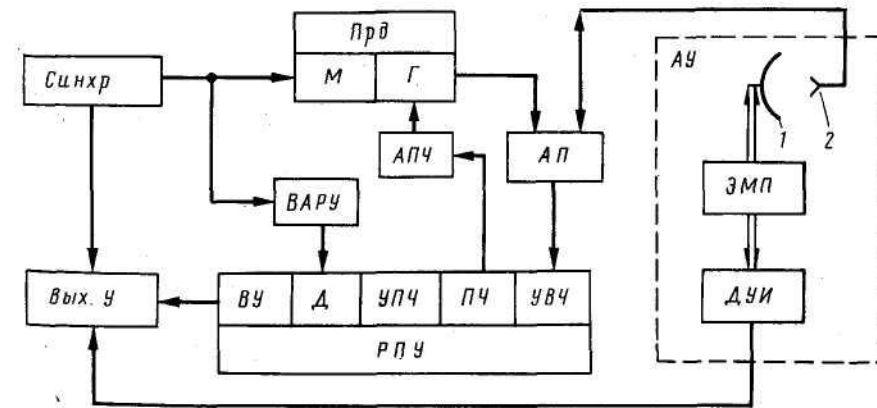


Рис. 4.2. Структурная схема импульсной РЛС:

Синхр — синхронизатор; Вых. У — выходное устройство; М — модулятор; Г — генератор; АПЧ — автоматическая подстройка частоты; ВАРУ — временная автоматическая регулировка усиления; АП — антенный переключатель; АУ — антенное устройство; ЗМП — электро-механический привод; ДУИ — датчик угловой информации; ВУ — видеоусилитель; Д — детектор; УПЧ — усилитель промежуточной частоты; УВЧ — усилитель высокой частоты; РПУ — радиоприемное устройство

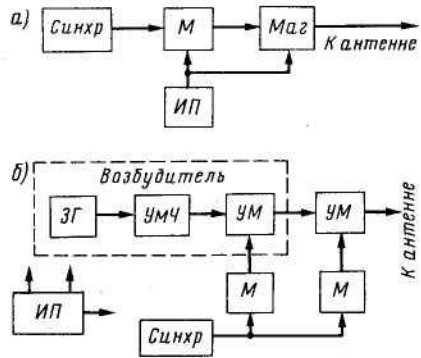


Рис. 4.3. Схемы передатчиков с автогенератором-магнетроном (а) и на клистронах (б): Синхр — синхронизатор; М — модулятор; Маг — магнетрон; ИП — источник питания; ЗГ — задающий генератор; УмЧ — умножитель частоты; УМ — усилитель мощности

ров (оно четное). При торможении электроны отдают энергию камерам. Энергия отводится петлей связи 1, расположенной в одной из камер, но так как между камерами сильная электромагнитная связь через промежуток катод—анод, то энергия отводится из всех камер. Петля связи своим штырем введена в волновод и возбуждает в нем колебания, идущие затем к антенне.

В клистронных генераторах (в умножителях частоты и усилителях мощности) используются электровакуумные приборы — *пролетные клистроны* (рис. 4.5). Электроны, эмитированные прожектором, состоящим из цепи накала 1 и катода 2, ускоряются анодом 3. Их поток фокусируется электромагнитом 4 и устремляется к коллектору 6, проходя при этом мимо резонаторных камер 5, имеющих окно. В первую камеру введена петля связи 8, на которую подаются колебания задающего генератора $f_{з.г.}$. Положительный полупериод этих колебаний ускоряет электронный поток прожектора клистрона, а отрицательный полупериод замедляет. В связи с этим поток электронов образует сгустки, т. е. модулируется по плотности в соответствии с частотой $f_{з.г.}$

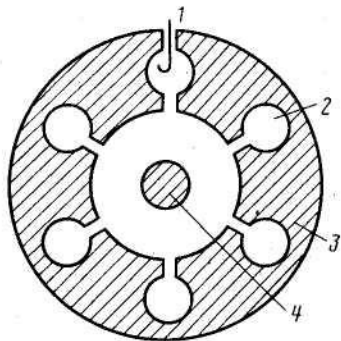


Рис. 4.4. Схема магнетрона

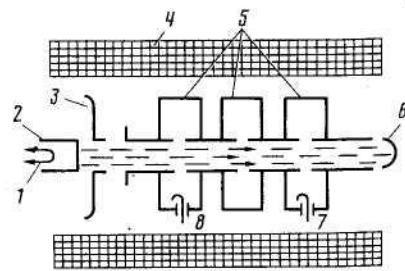


Рис. 4.5. Схема клистрона

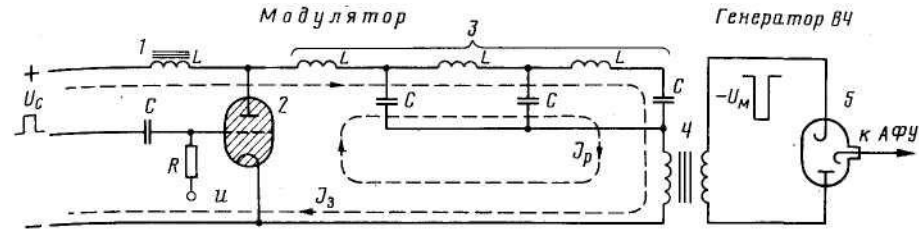


Рис. 4.6. Схема модулятора

В усилительном клистроне резонаторы настроены на частоту $f_{з.г.}$, поэтому, проходя мимо окна каждого следующего резонатора, модулированный электронный поток возбуждает в них ВЧ-колебания той же частоты, но большей мощности, так как поток получает дополнительную модуляцию по скорости, более плотное группирование сгустков электронов. Отвод ВЧ-энергии осуществляется из последнего резонатора петлей связи и штырем 7, а электроны потока поступают на коллектор 6. Коэффициент усиления клистрона 15...90 дБ. Передатчики на клистронных генераторах имеют высокую стабильность частоты, которая обеспечивается кварцеванием резонансного контура ЗГ.

В умножительных клистронах эффект умножения достигается выбором геометрических размеров резонаторов, обеспечивающих выделение необходимых гармоник из колебаний, поступающих к резонатору. Коэффициент умножения лежит в пределах 2...10.

Модуляторы предназначены для значительного увеличения напряжения импульсов постоянного тока, поступающих от синхронизатора с длительностью τ и периодом T_n . В магнетроне при их приходе возбуждаются импульсные автоколебания высокой частоты. В усилительном клистроне они модулируют ВЧ-колебания по амплитуде, образуя последовательность импульсов с параметрами τ и T_n . Модулятор (рис. 4.6) представляет собой устройство, в котором энергия накапливается за время T_n , за время τ разряжается на нагрузку. Управление режимами накопления и разряда осуществляется с помощью тиратрона (электронного ключа). Накопительным элементом является длинная линия 3, состоящая из конденсаторов C и катушек индуктивностей L . Заряд линии происходит за время T_n при закрытом ключе — обычном состоянии газоразрядной лампы 2. Синхроимпульсы U_c вызывают ионизацию газа, заполняющего лампу, вследствие чего ее внутреннее сопротивление резко снижается, создавая условия для разряда накопленной энергии через первичную обмотку высоковольтного трансформатора 4. Отрицательный импульс высокого напряжения U_m (несколько тысяч вольт) с выхода модулятора подается на катод ВЧ-генератора 5. Дроссель 1 уменьшает скорость поступления энергии питания в накопитель.

Линии передачи электромагнитной энергии. Для передачи электромагнитной энергии малых мощностей используются коаксиальные фидеры (двухпроводные длинные линии), а при большой мощности — волноводы. В фидере (рис. 4.7, а) один из проводов 2 расположен в центре, вторым проводом является экран 1, между ними — эластичный диэлектрик 3. Волноводы (рис. 4.7, б) — медные, посеребренные внутри трубы, обычно прямоугольного сечения. Круглые волноводы (рис. 4.7, в) применяют во вращающихся сочленениях. Процесс передачи электромагнитной энергии в линиях и волноводах имеет волновой характер. Провода линии не переносят энергию, а как бы направляют ЭМВ вдоль оси.

Антенна РЛС преобразует ВЧ-токи, возникающие на поверхности зеркала антенны при его облучении ВЧ-колебаниями, в энергию электромагнитного поля.

При приеме ЭМВ этот процесс происходит в обратном порядке, так как все типы антенн обладают свойством обратимости (суперпозиции). Антенное устройство состоит из собственно антенны, фидеров или волноводов, облучателя, антенного переключателя, электромеханического привода вращения антенной системы, датчиков текущего углового положения антенны и датчика азимутальных меток (см. рис. 4.2). Антенна концентрирует энергию в узкий луч, что обеспечивает получение большой дальности действия РЛС.

Основными параметрами антенны являются параметры ее ДН, определяемые геометрическими размерами (раскрывом) антенны, а также вид поляризации излучаемых или принимаемых волн. В первичных РЛС используются зеркальные антенны, во вторичных РЛС — рупорные линии. В качестве облучателей используют рупоры, дипольные вибраторы или щели.

Зеркальные антенны представляют собой металлические или решетчатые поверхности. В РЛС применяются зеркальные антенны в виде усеченного параболоида (рис. 4.8, а). Зеркало 1 этой антенны имеет меньшие размеры по высоте, чем по ширине, поэтому угловые размеры ДН в вертикальной плоскости значительно больше, чем в горизонтальной, следовательно, ДН имеет веерообразную форму. Облучатель 2 располагается в фокусе антенны, отраженная ЭМВ распространяется в идеальном случае лучами, параллельными оси зеркала (рис. 4.8, б). В параболической антенне сумма путей, пройденных ЭМВ от облучателя O до поверхности зеркала и от зеркала

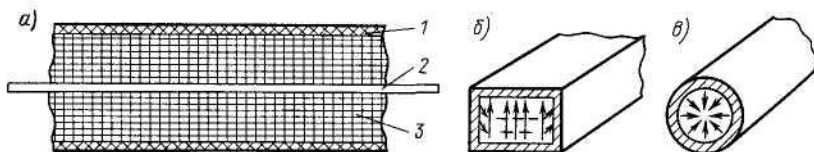


Рис. 4.7. Схема линий передачи

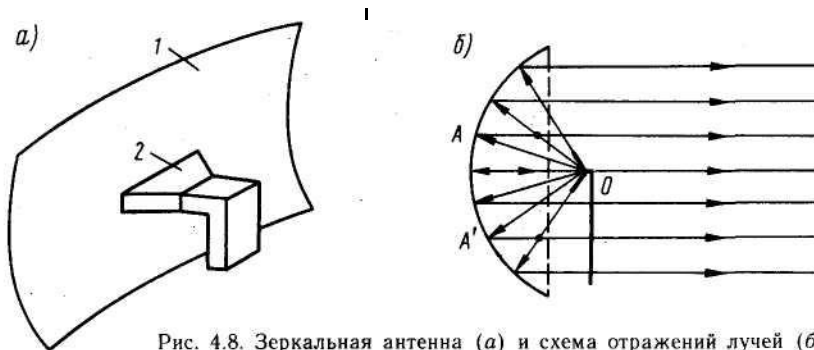


Рис. 4.8. Зеркальная антенна (а) и схема отражений лучей (б)

до плоскости раскрыва антенны, равна для всех точек этой плоскости $OA + AB = OA' + A'B'$ и т. д. Поэтому в плоскости раскрыва ЭМВ синфазны, т. е. имеют одну и ту же фазу, что обеспечивает получение максимума излучения в направлении, перпендикулярном фронту волны вследствие сложения отраженных волн в фазе. В других направлениях источниками результирующих колебаний являются различные точки раскрыва, поэтому колебания не будут синфазны и имеют меньшую интенсивность.

Перспективным видом антенн являются *антенные, или фазированные решетки*, которые позволяют осуществлять электрическое управление движением и параметрами луча. Эти антенны состоят из большого числа отдельных излучающих и принимающих элементов или только принимающих. Минимальное число приемопередающих элементов в решетке 2, а максимальное определяется конструктивными соображениями и может быть равно даже сотням и тысячам. Элементы антенны расположены в одну или несколько линий. В случае использования одной линии антенна называется *линейной, или одномерной решеткой*. При нескольких линиях элементы решетки располагаются, как элементы матрицы, т. е. по столбцам и строкам. ДН линейной решетки рассчитывают по формуле

$$F(\theta) = \sin x/x, \quad x = (\pi dn/\lambda)\sin\theta,$$

где n — число элементов решетки в одной линии; d — расстояние между элементами антенны.

В антенной решетке фазой питающих излучатели напряжений управляют таким образом, чтобы фронт волны был плоским. Такие решетки называются *синфазными* (рис. 4.9). В направлении OA , перпендикулярном плоскости фронта волны, ДН имеет максимум, так как фазы колебаний, приходящих от излучателей слева и справа от OA , будут одинаковыми. Во всех других направлениях, например в направлении OB , суммарная напряженность поля сигналов от различных излучателей будет меньше, так как из-за разности хода волн $\Delta r = d \sin \theta$ фазы колебаний от различных излучателей будут раз-

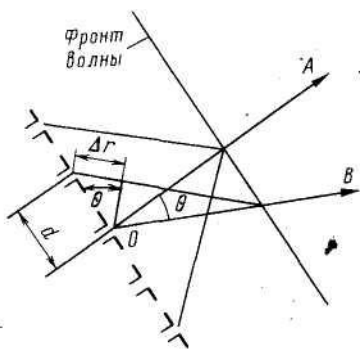


Рис. 4.9. Схема образования синфазного излучения линейной фазированной решеткой

ными. Управляя фазой колебаний, подаваемых на отдельные излучатели, можно электрически изменить положения фронта волны, т. е. положение ДН в пространстве. Антенная решетка позволяет формировать сразу несколько различных по своим характеристикам ДН и управлять ими независимо. Для этого необходимо отдельно запитывать некоторые объединенные массы излучателей и управлять фазами питающих их напряжений.

Электрическое управление лучом имеет большое преимущество по сравнению с механическим. Нет необходимости иметь громоздкие поворотные системы и приводы для вращения антенн. Возможно мгновенное направление луча или нескольких лучей по адресу. Фазированные решетки с программным обзором будут применяться в ныне проектируемых дискретно-адресных системах ВРЛ, а линейная решетка применяется и в ОРЛ-А «Экран-85». Обзорные РЛС УВД имеют одну антенну, работающую как при передаче, так и при приеме, поэтому между антенной, передатчиком и приемником в волноводное или фидерное устройство встраивается *антенный переключатель* (АП) высокочастотной энергии (переключатель «Прием-Передача»). Переключатель во время излучения зондирующего импульса автоматически запирает приемник для того, чтобы мощный импульс ВЧ-энергии не сжег кристаллический смеситель на входе преобразователя частоты (ПЧ) радиоприемного устройства, а во время приема отраженных сигналов отключает цепи передатчика, чтобы часть приемного сигнала не уходила в передатчик. Открытие и закрытие путей распространения ЭМВ по фидеру (волноводу) производятся по законам ее движения в четвертьволновых короткозамкнутых или разомкнутых линиях, в которых срабатывание разрядника АП в момент запуска передатчика РЛС вызывает в определенных местах линии изменение сопротивления (от 0 до ∞ или от ∞ до 0). Благодаря этому ЭМВ проходит только в нужных направлениях.

4.2. Радиоприемные устройства

Радиоприемные устройства (РПУ) предназначены для приема сигналов, отраженных от целей, и выделения их из помех, принимаемых вместе с полезными сигналами. В состав РПУ входят блоки,

преобразующие, усиливающие и выделяющие одиночные импульсные сигналы и передающие их на оконечные устройства. Кроме того, в состав РПУ входят устройства, обеспечивающие его работу (различного типа схемы регулировки усиления, подстройки частоты гетеродина и выходные устройства).

В РЛС применяются супергетеродинные приемники (см. рис. 4.2), в которых принятые ВЧ-сигналы преобразуются в ВЧ-сигналы более низкой промежуточной частоты (ПЧ), на которой производится обработка принятых отраженных сигналов. Необходимость преобразования ВЧ-сигналов в сигналы ПЧ-частоты вызвана тем, что на высокой частоте нельзя достичь больших коэффициентов усиления сигналов малого уровня из-за значительных уровней внутренних шумов, а также в связи с тем, что при высокой частоте на усиление существенно влияют межэлектродные емкости и индуктивности в полупроводниковых элементах и в монтаже, которые шунтируют циркулирующие напряжения, ограничивая возможное усиление.

Для обеспечения дальнего обнаружения РПУ должно иметь высокую чувствительность, поэтому первым блоком РПУ является усилитель высокой частоты (УВЧ). Его назначение — первичное усиление принятых сигналов в 5...15 раз. Так как чувствительность РПУ ограничивается мощностью шумовых напряжений, возникающих в его входных цепях, то УВЧ должен иметь малый уровень шумов. В настоящее время используются параметрические (с нелинейными L и C в контуре) и парамагнитные (на квантовой основе) усилители, а также усилители на лампах бегущей и обратной волны, на малощумящих транзисторах и т. д.

В приемниках РЛС средней и малой дальности действия УВЧ может отсутствовать. В них входным элементом РПУ является смеситель преобразователя частоты, в котором принятый на частоте f_c сигнал преобразуется в сигнал промежуточной частоты $f_{п.ч}$. Смеситель (рис. 4.10) представляет собой объемный резонатор 4, в который подаются сигналы от антенны на частоте f_c и от гетеродина 1 на частоте f_r . Гетеродином является отражательный клистрон, установленный на резонаторе и сообщаемый с полем резонатора с помощью зонда 5. В клистроне генерируются незатухающие колебания, которые смешиваются (интерferируют) с радиоимпульсами f_c на кристаллическом смесителе (детекторе) 2.

Промежуточная частота $f_{п.ч}$ образуется на выходе детектора 2 как результат биений (интерференции) двух близких частот, отличающихся на величину $f_{п.ч}$. Так, например, в посадочных РЛС $f_c \approx 10\,000$ МГц; $f_r \approx 9970$ МГц, а $f_{п.ч} = 30$ МГц. Настройка резонатора смесителя на резонансную частоту, соответствующую частоте входящего сигнала f_c , производится изменением его объема с помощью плунжера 3, настройка f_r — изменением объема резонаторной камеры клистрона или напряжения, подаваемого на его управляющие электроды.

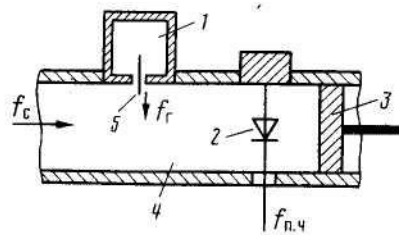


Рис. 4.10. Смеситель преобразователя частоты

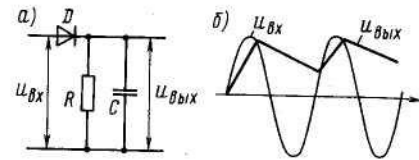


Рис. 4.11. Схема амплитудного детектора (а) диаграммы входного $u_{вх}$ и выходного $u_{вых}$ напряжений (б)

Усилитель промежуточной частоты предназначен для усиления напряжений импульсов ПЧ, пришедших от смесителя УПЧ. УПЧ производит оптимальную фильтрацию полезных сигналов на частоте $f_{п.ч}$, т. е. обеспечивает получение на его выходе максимального соотношения напряжений мощностей сигнала и шума (P_c/P_n).

Амплитудный детектор (рис. 4.11, а) преобразует радиоимпульсы промежуточной частоты в видеоимпульсы постоянного тока, повторяющие по своей форме огибающую радиоимпульсов. Принцип детектирования основан на односторонней проводимости диода. При положительном напряжении диод открыт (его омическое сопротивление мало), при отрицательном практически заперт (сопротивление велико), поэтому положительные полуволны $u_{вх}$ (рис. 4.11, б) импульсных колебаний ПЧ пройдут через диод, а отрицательные — нет. На выходе диода появляется пульсирующий ток, который, периодически заряжая конденсатор C , создает на резисторе R напряжение $u_{вых}$. Параметры R и C выбирают таким образом, чтобы время разряда было больше времени заряда в десятки тысяч раз. В результате образуются однополярные электрические импульсы со сглаженной огибающей, называемые видеоимпульсами.

Видеосуилитель (ВУ) предназначен для усиления полученных от детектора видеосигналов до уровня, необходимого для срабатывания выходных устройств.

Устройство автоматической подстройки частоты (АПЧ) (рис. 4.12) вырабатывает сигналы управления частотой генератора передатчика или гетеродина для поддержания стабильной ПЧ в РПУ. Необходимость в подстройке частоты вызывается уходом частоты

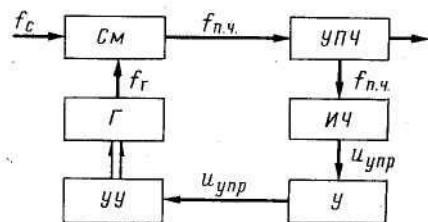


Рис. 4.12. Схема автоматической подстройки частоты: См — смеситель; Г — гетеродин; УУ — управляющее устройство; УПЧ — усилитель промежуточной частоты; ИЧ — измеритель частоты; У — усилитель

передатчика и гетеродина в основном из-за того, что при изменении температуры изменяются геометрические размеры их элементов (параметры L и C колебательных систем). Уходы частоты f_c и f_r приводят к несоответствию вырабатываемой смесителем промежуточной частоты $f_{п.ч}$ и резонансной частоты f_p колебательных контуров УПЧ на величину $\Delta f = f_{п.ч} - f_p$. В результате уменьшается коэффициент усиления каскадов УПЧ, из-за чего чувствительность РПУ уменьшается. Это вызывает необходимость отслеживания частотой сигналов гетеродина частоты сигналов передатчика (либо частотой передатчика частоты гетеродина) таким образом, чтобы разность между текущими частотами передатчика и гетеродина всегда была близкой $f_{п.ч}$. В системе АПЧ текущее значение $f_{п.ч}$ из УПЧ подается на измеритель частоты, где $f_{п.ч}$ сравнивается с помощью фазового детектора с эталонной частотой $f_s = f_p$, хранящейся в измерителе. Вырабатываемый измерителем сигнал $u_{упр}$, пропорциональный $\Delta f = f_{п.ч} - f_s$, посылается через усилитель на электромеханическое управляющее устройство, изменяющее электромеханическим путем объем резонаторной камеры клистрона, а значит и частоту гетеродина до тех пор, пока $f_{п.ч}$ не станет близкой f_p .

Схемы автоматической регулировки усиления (АРУ) регулируют коэффициенты усиления различных устройств РПУ (УПЧ, ВУ) таким образом, чтобы элементы РПУ не насыщались по току, идущему через них, т. е. не прекращали работы из-за перегрузки при действии сильных сигналов. Перегрузка возможна из-за того, что сигналы, отраженные от целей, при сближении с РЛС и флюктуациях в связи со случайными изменениями ЭПР, могут значительно (в диапазоне 80...100 дБ и более) флюктуировать.

В основе действия АРУ лежит сдвиг рабочей точки характеристики транзисторов регулируемых каскадов РПУ, для чего используется выпрямленное напряжение сигналов с выхода УПЧ или ВУ. На рис. 4.13, а показана схема АРУ, называемого обратным, так как управляющее воздействие передается в направлении, обратном прохождению сигнала. Схема прямого АРУ показана на рис. 4.13, б. Используется и смешанное АРУ, т. е. оба упомянутых вида в одной схеме. Для защиты РПУ от воздействия импульсных помех большой длительности применяются схемы быстродействующей АРУ (БАРУ).

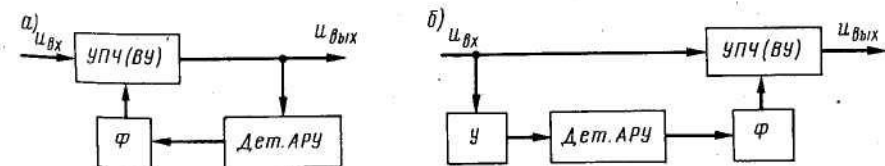


Рис. 4.13. Структурные схемы автоматической регулировки усиления: УПЧ (ВУ) — усилитель промежуточной частоты (видеосуилитель); Ф — фильтр; Дет. АРУ — детектор АРУ; У — усилитель

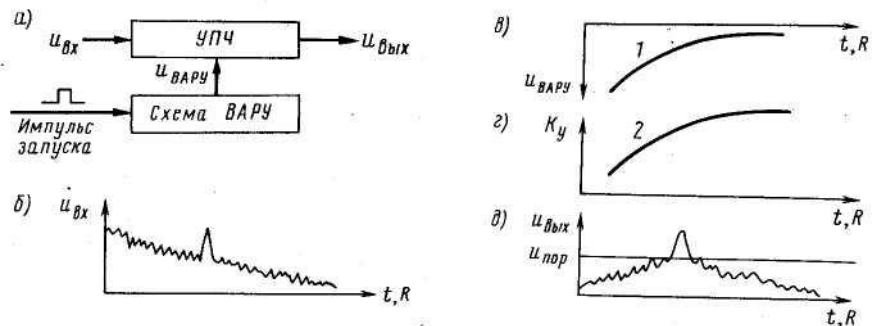


Рис. 4.14. Обобщенная схема ВАРУ (а), входной сигнал (б) и изменения управляющего напряжения ВАРУ (в), коэффициента (г) и выходного сигнала (д)

Схема ВАРУ рассчитывается таким образом, чтобы она не реагировала на отраженные от цели импульсы длительностью $\tau_{и}$. Для этого длительность переходных процессов $t_{пер}$ должна быть несколько больше длительности $\tau_{и}$. При приеме импульса помехи, когда $\tau_{и} \gg t_{пер}$, ВАРУ окажет влияние на РПУ путем уменьшения коэффициента усиления для устранения влияния помехи. Схема ВАРУ создается отдельно для каждого регулируемого каскада РПУ. В принципе эта схема аналогична обычной схеме АРУ.

Для защиты от приема импульсов малой длительности в РПУ имеются схемы мгновенной АРУ (МАРУ), имеющие очень малые длительности переходных процессов — меньше $\tau_{и}$.

Одним из простых способов реализации схем регулирования усиления являются схемы, последовательно исключающие работу последних каскадов РПУ, у которых наступает перегрузка в результате приема сигналов большой интенсивности. Эти схемы имеют логарифмическую связь между интенсивностями входных и выходных напряжений: $u_{вых} = k \ln u_{вх}$ где k — коэффициент пропорциональности. В случае, когда указана зависимость имеет место не во всем диапазоне изменения $u_{вх}$, а лишь при больших его значениях, характеристика усиления РПУ и зависимость $u_{вых} = f(u_{вх})$ называется линейно-логарифмической.

Назначение временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ) — устранение перегрузки от сигналов помех, время появления которых в приемнике относительно зондирующих импульсов известно (рис. 4.14). Такими помехами являются «хвосты» мощных зондирующих сигналов передатчика, а главное — сигналы, отраженные от земной поверхности, которые возникают при ее облучении нижней частью ДН антенны. На малых от РЛС дальностях (30...50 и даже до 100 км) сигналы, отраженные от ВС, превышают помеховые сигналы, но наличие помех затрудняет выделение полезных сигналов, например, из-за сильной засветки экрана помехами. Так

как на этих дальностях сигналы от ВС больше, чем сигналы от помех, то полезные сигналы в этом случае могут быть обнаружены и при заглублении чувствительности РПУ, для чего необходимо уменьшить его коэффициент усиления k_u в диапазоне времени, соответствующем дальностям воздействия помех. В результате действия ВАРУ динамический диапазон изменения входных сигналов после прохождения УПЧ уменьшается до 4... 10 дБ, без ВАРУ он достигает 100 дБ и более.

4.3. Индикаторные устройства

Индикаторные устройства (ИУ) предназначены для отображения на экранах электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) наблюдаемой воздушной обстановки в виде яркостных отметок ВС. В ИУ (рис. 4.15) применяются так называемые радиолокационные «темновые» ЭЛТ, работа с которыми должна проходить в затемненных помещениях из-за невысокой яркости отметок и малого времени послесвечения (несколько секунд).

Катод / ЭЛТ подогревается цепью накала и непрерывно излучает с оксидированной поверхности электроны, формируемые в узкий луч диаметром 0,5...1 мм фокусирующей катушкой 3.

Вследствие разницы потенциалов между катодом и анодом 4 электроны луча устремляются к экрану ЭЛТ, расположенному внутри на дне колбы. Экран представляет собой вещество, из которого первичные электроны луча выбивают вторичные, которые затем

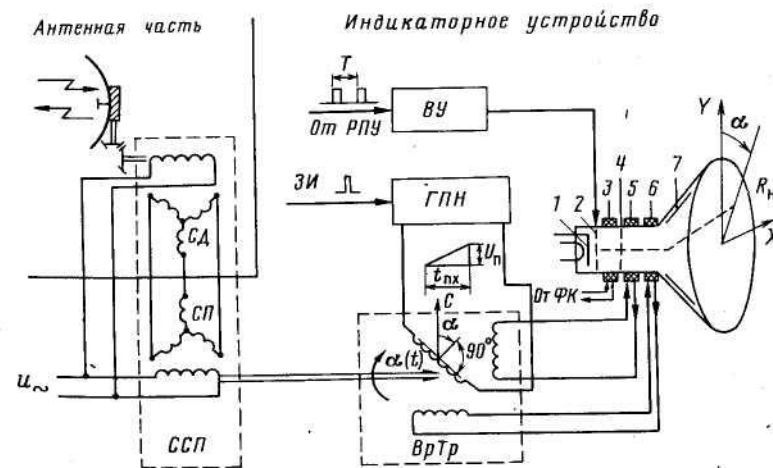


Рис. 4.15. Схема работы индикаторного устройства: СД — сельсин-датчик; СП — сельсин-приемник; ССП — синхронная следящая передача; ВУ — видеоусилитель; ЗИ — запускающий импульс; ГПН — генератор псевдообразного напряжения; ВрТр — вращающийся трансформатор

уходят на коллектор 7. Одновременно из вещества экрана излучаются фотоны, создающие свечение.

Отметки целей получаются при повышении разности потенциалов «катод—анод» при приходе от приемника на управляющий электрод 2 пачки видеопульсов отраженных сигналов. В связи с большой частотой повторения и сравнительно малой угловой скоростью развертывающего луча все импульсы практически приходят в одно и то же место, поэтому их энергия накапливается веществом экрана и повышает яркость отметки. Зависимость яркости B от числа импульсов M в пачке показана на рис. 4.16.

Для отображения пространства наблюдения на плоскости экрана луч должен совершать развертывание — одновременное движение в двух направлениях по дальности и азимуту. По дальности развертывание производится от центра экрана к его периферии, моделируя движение зондирующего и отраженного импульса. По азимуту луч развертывается синхронно с вращением антенны. Движение следа луча на экране ЭЛТ по дальности называется прямым ходом. Время прямого хода $t_{п.х}$ равно максимальному времени задержки $t_3 = 2R_{\max}/c$. Расстояние R_{\max} называется масштабом развертки M , поэтому $t_{п.х} = 2M/c$. Запуск развертки производится синхрипульсами одновременно с запуском передатчика. Для видимости луча развертки на экране на управляющий электрод на время $t_{п.х}$ подается импульс подсветки. После прохода луча до конца развертки он возвращается в центр экрана за время обратного хода $t_{о.х}$, причем $t_{о.х} \ll t_{п.х}$.

Обратный ход луча не виден, так как импульс подсветки в это время отсутствует. Суммарное время $t_{п.х} + t_{о.х}$ должно быть не меньше периода повторения зондирующих импульсов $T_{п}$. Размеры отметки по дальности и азимуту, определяемые соответственно длительностью импульса и шириной ДН антенны, увеличиваются

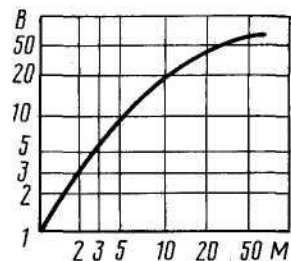


Рис. 4.16. Зависимость яркости отметки от числа импульсов

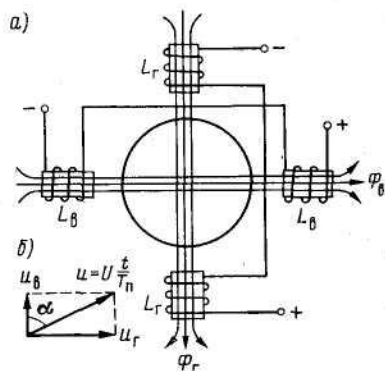


Рис. 4.17. Структура магнитных полей, создаваемых катушками ЭЛТ

на диаметр пятна луча ЭЛТ. Дальность до ВС отсчитывается по переднему краю отметки, а азимут по ее середине.

Существуют РЛС, у которых управление движением луча по азимуту производится путем механического вращения катушек на горле ЭЛТ синхронно с вращением антенны. В современных РЛС управление лучом по азимуту и дальности осуществляется с помощью изменяющихся магнитных полей, образуемых катушками, расположенными на горле ЭЛТ (рис. 4.17, а). Вертикально и горизонтально отклоняющие катушки L_B и L_R создают два магнитных потока Φ_B и Φ_R , дающих результирующий поток $\Phi = \Phi_B + \Phi_R$. Интенсивность потоков зависит от токов i_B и i_R в катушках, т. е. от напряжений u_B и u_R , приложенных к ним.

Для обеспечения равномерного движения луча от центра экрана к его периферии необходимо линейное (пилообразное) нарастание подаваемых на катушки токов. Напряжение для создания этих токов вырабатывается генератором пилообразных напряжений (ГПН): $u = U(t)/t_{п.х}$, где $U(t)$ — амплитуда пилообразного напряжения; t — текущее время; $t_{п.х}$ — длительность прямого хода «пилы».

Для создания вращательного движения линии развертки подаваемые на входы катушек напряжения должны зависеть от текущего углового положения антенны, т. е. азимута α (рис. 4.17, б):

$$u_B = U \frac{t}{t_{п.х}} \cos \alpha; \quad u_R = U \frac{t}{t_{п.х}} \sin \alpha.$$

Эти напряжения создадут магнитные потоки:

$$\Phi_B = \Phi_{\max} \cos \alpha; \quad \Phi_R = \Phi_{\max} \sin \alpha.$$

Для передачи на элементы ИУ напряжений, пропорциональных угловому положению антенны, могут быть применены два основных способа. Первый — путем передачи напряжений u_R и u_B с помощью синхронной следящей передачи ССП, у которой ротор сельсина-датчика СД связан с антенным приводом (см. рис. 4.15). Для получения в катушках ИУ напряжений вида (4.1) используется вращающийся трансформатор (ВрТр), ротор которого механически связан с сельсином-приемником СП, а на катушку ротора подано пилообразное напряжение. В этом случае на двух неподвижных катушках статора ВрТр будут необходимые напряжения u_R и u_B . Второй способ заключается в создании датчиком, связанным с приводом антенны, двух последовательностей импульсов, называемых малыми азимутальными импульсами (МАИ), временные интервалы между которыми изменяются по синусо- и косинусоидальному закону. При этом способе синусно-косинусные последовательности МАИ превращаются в специальном устройстве индикатора в аналоговые напряжения $t/\sin \alpha$ и $t/\cos \alpha$. Датчик МАИ представляет собой диски с щелями, распределенными по их краям (расстояния между щелями

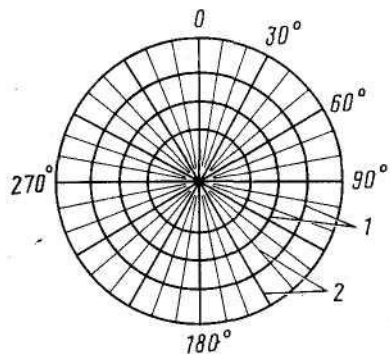


Рис. 4.18. Метки дальностей и азимутов на экране индикатора

распределены по указанному выше закону), и фотоэлектрическое устройство.

Для визуального отсчета дальности и азимута на экране ЭЛТ (рис. 4.18) воспроизводятся метки дальности в виде колец через 10, 50, 100, 200 км... и метки азимута в виде радиальных линий через 10, 30 и 90°.

Метки (кольца) дальности l создаются прямоугольными импульсами подсветки длительностью немного меньшей, чем t зондирующих импульсов и формируются из синусоидальных напряжений

путем их усиления и ограничения по амплитуде. Метки азимута получают с помощью импульсов подсветки длительностью, равной периоду повторения РЛС T_p . Импульсы вырабатываются по сигналам датчика азимутальных меток, который связан с приводом антенны. Расстояние до цели в километрах $R = m_R l$, где $m_R = L/R$ — масштаб изображения по дальности, мм/км; L — длина развертки, мм; l — расстояние от начала развертки до отметки цели, мм.

На ИУ возможно изменение масштаба изображения. Уменьшение масштаба проводят для ведения наблюдения в большем пространстве. Увеличение масштаба необходимо для получения более детальной и точной информации на малых от РЛС дальностях. Как правило, ИКО имеет от двух до четырех масштабов. Изменение масштаба достигается изменением длительности развертки прямого хода $t_{п.х}$. Амплитуды развертывающих токов при этом должны оставаться постоянными, так как луч ЭЛТ при любом масштабе должен доходить до края экрана.

Индикатор кругового обзора может обеспечить наблюдение в секторе. Для этого начало развертки из центра экрана перемещается по его радиусу к краю в нужном для создания сектора направлении. Этот режим работы называется секторным. В этом случае на экране отображается лишь часть пространства, а РЛС по-прежнему находится в режиме кругового обзора. Начало развертки смещается при подаче на отклоняющие или дополнительные катушки добавочного постоянного напряжения. В индикаторах с секторным изображением для увеличения точности определения угловых координат цели может применяться растяжение по углу, как это делается в посадочных РЛС с секторными изображениями.

Индикаторные устройства, использующие «темную» ЭЛТ, имеют следующие недостатки: мелькание и отсутствие слитности изображения из-за того, что время послесвечения отметки на экране у обзорных РЛС значительно (в 3...4 раза) меньше периода сканиро-

вания антенны; сравнительно небольшая яркость и контрастность изображения, не позволяющие операторам работать в незатемненных помещениях.

Указанные недостатки отсутствуют в современной аппаратуре отображения. Так, для ДРЛС-7 используются ИУ с запоминанием сигналов («Комета-ИД»). В системах малой автоматизации и в АСУВД применяют ИУ с яркостным изображением телевизионного типа и радиолокационного с регенерацией информации с частотой 25...50 Гц.

4.4. Моноимпульсная радиолокационная станция

Моноимпульсные методы обнаружения целей и измерения координат. Суть моноимпульсного метода заключается в возможности обнаружения и измерения координат целей по одному отраженному импульсу. Для измерения азимута антенна образует две одинаково смещенные от фокальной оси антенной системы перекрывающиеся ДН $F_1(\beta)$ и $F_2(\beta)$ (рис. 4.19, а), создающие равносигнальное направление OB . Антенны связаны между собой кольцевым волноводным мостом (КВМ) (рис. 4.20), с которого одновременно можно снимать суммарный и разностный сигналы, образованные сигналами, поступающими от двух ДН антенны. На выходе 1 сигналы с входов A_1 и A_2 будут иметь одну и ту же фазу, так как они удалены от них на одинаковые расстояния $\lambda/4$. На выходе 2 сигналы находятся в противофазе, так как расстояния до него от входов A_1 и A_2 соответственно $3/4\lambda$ и $1/4\lambda$. Суммарный и разностный сигналы обрабатываются отдельно, каждый в своем приемном тракте. Азимут определяется на основании сравнения и обработки параметров сигналов (амплитуд и фаз или только фаз) от одной цели. Дальность измеряется обычным способом — по времени задержки суммарного

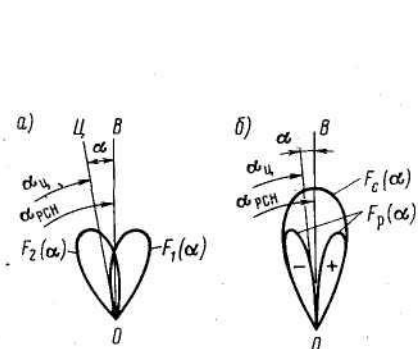


Рис. 4.19. Диаграммы направленности антенны моноимпульсной РЛС

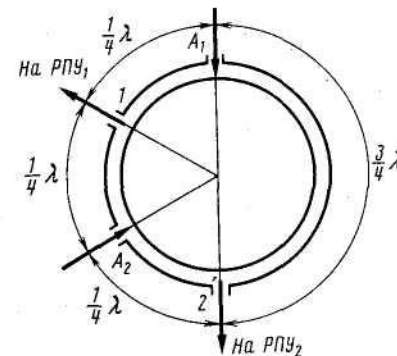


Рис. 4.20. Схема кольцевого волноводного моста

принятого сигнала при обработке суммарного сигнала двух ДН антенны.

Достоинствами моноимпульсного метода являются высокая точность измерения угловых координат и улучшение разрешающей способности по углу. Точность пеленгации значительно увеличивается вследствие уменьшения влияния низкочастотных флюктуации принимаемых сигналов, вызванных случайными изменениями ЭПР целей, так как отраженный сигнал принимается двумя ДН одновременно. Кроме того, в связи с принятым двухканальным методом обработки на точность определения угла не влияет некоторая неизбежная неидентичность двух приемных трактов.

Разрешающая способность по дальности в моноимпульсной РЛС такая же, как и в обычной, а разрешающая способность по углу значительно улучшается, так как нет необходимости обрабатывать пачку сигналов для установления направления на цель. По этой же причине может быть увеличена угловая скорость антенны, т. е. уменьшено время обновления информации.

В некоторых РЛС используют не один, а несколько импульсов для увеличения отношения $P_c/P_{ш}$ на выходе накопительных устройств РПУ, т. е. увеличения дальности обнаружения. Этот метод обнаружения и РЛС его реализующая называются квазимоимпульсными. Однако в этом случае несколько ухудшается разрешающая способность РЛС по углу и потребуется уменьшение скорости обзора по сравнению с РЛС, работающей по одному импульсу. Моноимпульсный метод используется в РЛК разрабатываемой дискретно-адресной системы вторичной радиолокации.

В зависимости от принципа, использующегося при определении угловых координат, моноимпульсные методы радиолокации бывают амплитудными или фазовыми. Основной способ обработки сигналов в моноимпульсных РЛС — суммарно-разностный, при котором на высокой частоте складываются и вычитаются сигналы, принятые по различным ДН антенны. Суммарная и разностная ДН $F_c(\alpha)$ и $F_p(\alpha)$ (см. рис. 4.19, б), образованные двумя ДН $F_1(\alpha)$ и $F_2(\alpha)$ (см. рис. 4.19, а), записываются так:

$$F_c(\alpha) = F_1(\alpha) + F_2(\alpha) \text{ и } F_p(\alpha) = F_1(\alpha) - F_2(\alpha).$$

Суммарная ДН, получающаяся при приеме отраженных сигналов одновременно двумя облучателями, используется для измерения дальности и обеспечивает прием отраженных от цели сигналов значительно большей мощности, чем каждая из ДН в отдельности, а следовательно, и большую дальность обнаружения целей.

Разностный сигнал содержит информацию об угловом направлении на цель. Знак угла «+» или «-» определяется положением относительно равносигнального направления (РСН), на котором $F_1(\alpha) = F_2(\alpha)$, т. е. интенсивности сигналов равны.

Если на входах КВМ представить принятые ВЧ-колебания выражением $u(t) = U \cos \omega t$, то на выходе 1 будем иметь сигнал $u_+(t) = +U \cos \omega t$, так как составляющие его сигналы будут иметь одинаковые фазы, а на выходе 2 сигнал $u(t) = -U \cos \omega t = U \cos \omega \times (t + \pi)$, так как составляющие его сигналы будут в противофазе.

Угол отклонения цели пропорционален разности интенсивностей сигналов принятых ДН $F_1(\alpha)$ и $F_2(\alpha)$, так как при малых углах отклонения от РСН разность сигналов изменяется практически линейно изменению угла α между РСН и направлением на цель $ОЦ$.

Фаза разностного сигнала позволяет судить о стороне отклонения цели от РСН, т. е. о знаке угла α , а интенсивность $u(t)$ о величине отклонения. Таким образом, азимут цели будет $\alpha_{ц} = \alpha_{РСН} \pm \alpha$. Опорным сигналом при определении знака угла α является суммарный сигнал, точнее его фаза.

При фазовом методе (рис. 4.21) для определения угловой координаты измеряется значение разности фаз отраженных сигналов, принимаемых различными ДН, созданными двумя облучателями или антеннами, разнесенными в точки А и В и находящимися друг от друга на расстоянии d . Фокальные плоскости $A\Phi_1$ и $B\Phi_2$ параллельны, поэтому равенство фаз принятых сигналов свидетельствует о нахождении объекта отражения на РСН, так как расстояния R_1 и R_2 до цели от точек А и В в этом случае равны. При нахождении цели на других направлениях фазы сигналов, принятых антеннами А и В, будут неодинаковы, и величина разности фаз колебаний отраженных сигналов $\Delta\varphi$, принятых этими антеннами, будет зависеть от угла отклонения цели α от РСН.

Найдем функциональную связь разности фаз $\Delta\varphi$ и угла α . Разность фаз колебаний, принятых антеннами в точках А и В,

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi f(t_1 - t_2) = 2\pi f \Delta t_3,$$

где f — частота принимаемых колебаний; t_1 и t_2 — моменты прихода сигналов в точки А и В; $\Delta t_3 = (R_1 - R_2)/c = \Delta R/c$; c — скорость распространения радиоволн.

Известно, что $f = c/\lambda$, поэтому $\Delta\varphi = 2\pi(\Delta R/\lambda)$, $\Delta R = \Delta\varphi(\lambda/2\pi)$. Так как R_1 и R_2 намного больше d , то приближенно $\Delta R = d \sin \alpha$, поэтому $\sin \alpha = \Delta\varphi \frac{\lambda}{2\pi d}$, т. е. при малых углах α этот угол равен $\alpha = \frac{\Delta\varphi}{2\pi d/\lambda}$.

Виды моноимпульсных РЛС. На рис. 4.22 приведена структурная схема моноимпульсной РЛС, в которой используется амплитуд-

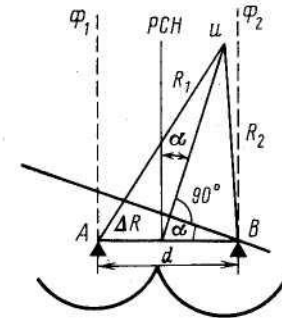


Рис. 4.21. Схема фазового метода определения угловой координаты

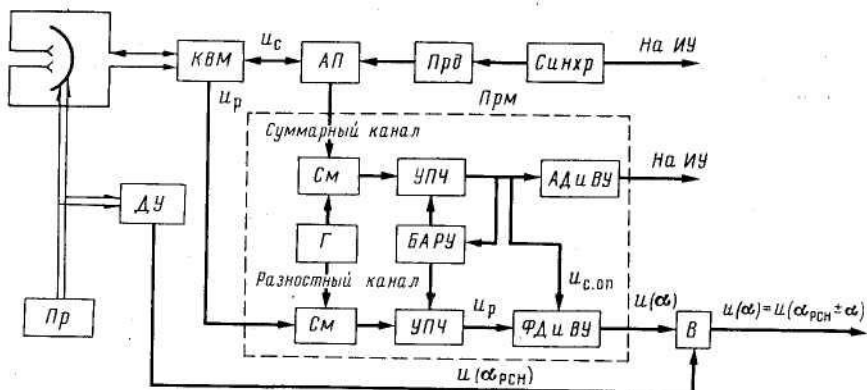


Рис. 4.22. Структурная схема амплитудной моноимпульсной (суммарно-разностной) РЛС

ный метод определения угловой погрешности. Амплитудное сравнение принимаемых сигналов производится в суммарно-разностном преобразователе КВМ сложением и вычитанием ВЧ-сигналов, поступающих от двух облучателей через вводы A_1 и A_2 (см. рис. 4.20). С выводов КВМ 1 и 2 сигнал $u_+(t)$, соответствующий ДН $F_{p+}(\beta)$ (см. рис. 4.19, б), или сигнал $u_-(t)$, соответствующий ДН $F_{p-}(\beta)$, поступает в канал обработки разностного сигнала $u_-(t)$. В обоих каналах ВЧ-сигналы с помощью общего гетеродина преобразуются в смесителях в сигналы промежуточной частоты и усиливаются каскадами УПЧ и ВУ. Передатчик Прд и антенный переключатель АП подключены к каналу суммарного сигнала.

Информация о дальности поступает от суммарного канала, в котором обрабатывается сигнал $u_+(t)$ от ДН $F_{p+}(\beta)$.

В приемном устройстве РЛС применена БАРУ, которая одновременно устанавливает усиление обоих каналов обратно пропорционально амплитуде выходного сигнала УПЧ суммарного сигнала $u_+(t)$. Таким образом, с помощью БАРУ в разностном канале сигнал $u_-(t)$ нормируется относительно суммарного, что в квазиимпульсных РЛС уменьшает влияние изменений амплитуд принимаемых сигналов, возможных из-за флуктуации ЭПР целей, на положение РСН, а значит, и на точность измерения азимута. Разностный сигнал $u_-(t)$, несущий информацию об отклонении цели от РСН, подается на фазочувствительный детектор ФД для определения стороны нахождения цели относительно РСН. Усиленный в видеосигнале ВУ сигнал с выхода ФД имеет полярность (знак), и его интенсивность зависит от угла α . Этот сигнал подается на вычислитель В для измерения азимута цели $\alpha_{ц}$, выдаваемого в виде напряжения $u(\alpha_{ц}) = u(\alpha_{рсн} \pm \alpha)$ или двоичного числа.

Фазовая моноимпульсная РЛС отличается от амплитудной тем, что в ней может отсутствовать кольцевой мост. Сигналы от двух

антенн, как и в ранее рассмотренном случае, преобразуются и усиливаются каждый в своем канале. Для того чтобы оба канала были идентичны по своим фазовым характеристикам, антенные переключатели в этой РЛС имеются в обоих каналах. Сигналы от двух каналов подаются на ФД, работающий несколько иначе, чем в суммарно-разностной схеме.

В ФД производится сравнение фаз для определения выходного напряжения, пропорционального разности фаз ($\Delta\phi$) сигналов, принятых двумя антеннами, а следовательно, и углу отклонения направления на цель от РСН (α). Результат поступает в вычислитель, где определяются напряжения $u(\alpha_{ц})$ или двоичный код, соответствующий азимуту цели.

4.5. Трансляция радиолокационной информации и передача команд управления и сигналов между РЛС и КДП

Для отображения воздушной обстановки на диспетчерских индикаторах с РЛС без автоматического обнаружения сигналов по линии трансляции (ЛТ) передаются импульсы запуска и аналоговые видеосигналы амплитудного канала и канала СДЦ, а также непрерывная или дискретная угловая информация, т. е. сигналы текущего положения антенны, импульсы прохождения антенной направления «Север» и сигналы меток азимутов. От ВРЛ кроме того передаются видеосигналы кодов дополнительной (полетной) информации. На РЛС передаются команды управления станцией, а на КДП — сообщения о ее состоянии РЛС. Аппаратура, обеспечивающая передачу этих сигналов и сообщений, называется аппаратурой телеуправления и телесигнализации. Трансляция производится на расстоянии 5...10 км.

В кабельных и проводных ЛТ для устранения эффекта затухания сигналов в линии по трассе встраивают промежуточные усилительные звенья, а для уменьшения фазовых искажений — корректирующие устройства. При использовании радиорелейных линий трансляции (РРЛТ) передача на большие расстояния достигается включением в состав линии ретрансляционных станций, расположенных друг от друга на дальности прямой радиовидимости.

Видеосигналы и импульсы запуска являются широкополосными, поэтому передаются по ВЧ-кабелям с широкой полосой пропускания (несколько мегагерц). В результате амплитудно-фазовые искажения передаваемых сигналов минимальны. Угловая информация и служебные сигналы — узкополосные и могут передаваться по проводным (телефонным) узкополосным линиям (сотни... тысячи герц). Вся перечисленная информация может передаваться также по РРЛТ, которые являются широкополосными. РРЛТ используют в тех случаях, когда кабельные линии проложить затруднительно или необходимо передавать информацию на большие расстояния.

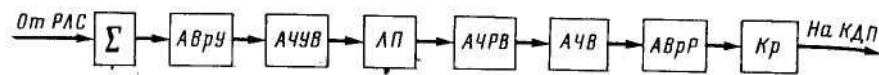


Рис. 4.23. Структурная схема линии трансляции

По ЛТ видеосигналы и другая информация передаются с помощью амплитудной модуляции колебаний с низкой несущей частотой. Для РРТЛ используется высокая несущая частота (7...9 ГГц), и для передачи информации применяется частотная модуляция несущего колебания.

Сигналы предварительно объединяются в последовательные сообщения. Для передачи используют методы временного и частотного уплотнения сигналов. При временном уплотнении (ВрУ) канал передачи предоставляется источникам сообщений последовательно во времени. При частотном уплотнении (ЧУ) спектр сигналов переносится в область более высоких частот методом использования поднесущих, т. е. модуляцией несущей частоты другими более высокими частотами, которые несут передаваемую информацию. Аппаратура линии трансляции (рис. 4.23) включает аппаратуру временного уплотнения каналов АВрУ и аппаратуру частотного уплотнения видеоканалов АЧУВ. Линия передачи (ЛП) может быть кабельной, проводной или радиотрансляционной. На приемной стороне имеется аппаратура частотного и временного разделения видеосигналов (АЧРВ и АВрР). Сигналы от РЛС поступают на входной смеситель Σ , а затем на АВУ, где формируются следующие совокупности сигналов: a_1 — сигналы пассивного канала (от ПРЛС), синхросигналы и сигналы о текущем положении антенны; b_1 — сигналы активного канала (от ВРЛ) отечественного диапазона и сигналы запуска; c_1 — сигналы активного канала международного диапазона, сигналы запуска, конца дистанции и режима работы активных каналов. Аналогичные сигналы a_2 , b_2 , c_2 формируются от резервной РЛС. Сформированные на АВУ сигналы поступают на АЧУВ, где уплотнение информации производится переносом спектра сигналов на поднесущие частоты. Имеются два комплекта АЧУВ. Первый подготавливает к передаче три видеосигнала, а второй только один, но с широкой (до 6 мГц) полосой. АЧУВ обеспечивает также передачу в общем спектре информации двух телефонных каналов. Сигналы a_2 , b_2 , c_2 обрабатываются в резервном комплекте аппаратуры подготовки информации. Вся эта информация вводится в линию передачи.

С приемных устройств, расположенных на КДП, уплотненные сигналы поступают на АЧРВ, на выходе которых имеется аппаратура частотного выравнивания (АЧВ), так как из-за передачи сигналов на разных частотах имеются фазовые искажения в связи с разным временем запаздывания сигналов разных частот. После этого сигналы проходят АВР, а затем через коммутатор Кр подаются на аппаратуру отображения, расположенную на КДП.

Системы телеуправления и телесигнализации (ТУ—ТС) предназначены для передачи телемеханической информации при дистанционном управлении РЛК. Команды управляют включением и выключением РЛС и их отдельных устройств, изменением используемых кодов, режимов работы и т. д. С помощью сигналов ТС с РЛС на КДП передается информация о выполнении команд и состоянии РЛС (например, о выполнении команд и переходе в назначенный режим). Объем команд и сигналов для различных РЛС достигает 30...45. Линиями связи в системах ТУ—ТС служат узкополосные телефонные каналы с полосой частот 300...4000 Гц (экранированные провода в бронированном кабеле).

В настоящее время широко применяются два принципа построения рассматриваемых информационных каналов: распределительно-разделительный (например, «Иртыш») и частотно-временной («Онега»), ВРЛ («Корень»). В первом случае вид команды или сигналов передается импульсами различной длительности, расположенными в определенных местах временной оси. При использовании первого принципа импульсы при передаче имеют различную длительность в пределах нескольких десятков миллисекунд (например, 50...120 мс). При втором принципе для распознавания импульсов применяется частотная манипуляция. Так, в ТУ—ТС ВРЛС «Корень» длительность импульса 5 мс, импульс заполнен частотно-модулированной несущей со средней частотой 2520 Гц и девиацией частоты $\Delta f = 240$ Гц. Паузы между импульсами заполнены частотой 2520 Гц. Введение ЧМ повысило помехоустойчивость линии и позволило уплотнить сообщение, так как ЧМ-импульсы могут располагаться вплотную друг к другу.

Аппаратура состоит из двух частей, расположенных соответственно на КДП и РЛС (аппаратура КДП и исполнительная аппаратура). Синхронизация передающей и приемной аппаратуры осуществляется циклически первым импульсом передаваемого сообщения. При втором типе линий этот импульс имеет несущую частоту 2520 Гц.

Для большей помехоустойчивости применяются накопление 2...4 посылок и проверка синхроимпульсов по длительности. Как управляющая, так и исполнительная аппаратура используется и в режиме передачи, и в режиме приема.

5.1. Автоматическое обнаружение сигналов

Назначением устройств и аппаратуры, с помощью которой производится обработка РЛИ, является автоматическое получение данных, необходимых для создания модели ВО на экранах ИУ автоматизированной аппаратуры отображения и АСУВД.

Этими данными являются: текущие координаты наблюдаемых целей, получаемые по сигналам от первичных и вторичных РЛС, и полетная (дополнительная) информация, поступающая от вторичных РЛС.

Задачи, которые решаются при автоматической обработке РЛИ, можно подразделить на две группы. К первой относятся: обнаружение радиолокационных сигналов; измерение координат ВС; декодирование ответных сигналов; объединение информации от ПРЛС и ВРЛС, обеспечивающих единую зону обзора, а также формирование сообщений для передачи их на комплексы индикаторной аппаратуры для воспроизведения модели обстановки УВД. Процесс решения этих задач называется первичной обработкой РЛИ и производится цифровыми методами в аппаратуре первичной обработки информации (АПОИ). АПОИ может рассматриваться, как окончательное устройство РЛК, она устанавливается на радиолокационной позиции вблизи РЛК-В системах УВД малой автоматизации и АСУВД информация от АПОИ поступает на аппаратуру передачи данных (АПД), а затем на аппаратуру обработки, коммутации и распределения ее по рабочим местам диспетчеров для отображения на ИУ, а в АСУВД — на вычислительные комплексы для ее дальнейшей обработки.

Ко второй группе задач относятся следующие: обнаружение новых целей в очередном обзоре пространства РЛС; сглаживание значений координат за несколько обзоров; автосопровождение обнаруженных ВС; определение параметров движения ВС; прогнозирование координат целей; объединение РЛИ, поступающей от нескольких РЛК-Решение этих задач необходимо для создания информационной модели ВО на аппаратуре отображения и называется вторичной обработкой информации. Ее проведение требует большого числа вычислений и поэтому выполняется ЭВМ АСУВД. На рис. 5.1 приведена функциональная схема обработки РЛИ.

Прием отраженных сигналов сопровождается помехами, создаваемыми выбросами амплитуд внутренних шумов РПУ и сигналами

других РТС. Для выделения сигналов из помех в АПОИ используются признаки их различия по амплитуде, длительности одиночных сигналов, периоду их повторения T_n и по протяженности пачки сигналов по азимуту. АПОИ осуществляет обработку сигналов пачки видеоимпульсов, полученных от цели за время прохождения ее ДН антенны, имеющей ширину θ_a . Оптимальной процедурой для осуществления селекции сигналов по амплитудному признаку является их накопление. При этом используется признак периодичности повторения сигналов. Регулярное накопление через период приводит к очистке поступающих сигналов от помех. Селекция по длительности импульсов τ_n и азимутальной ширине пачки θ_n проводится путем проверки критериев вида: $\tau_{min} \leq \tau_n \leq \tau_{max}$, $\theta_{min} \leq \theta_n \leq \theta_{max}$, где экстремальные параметры τ и θ определяются допусками погрешностей их измерения.

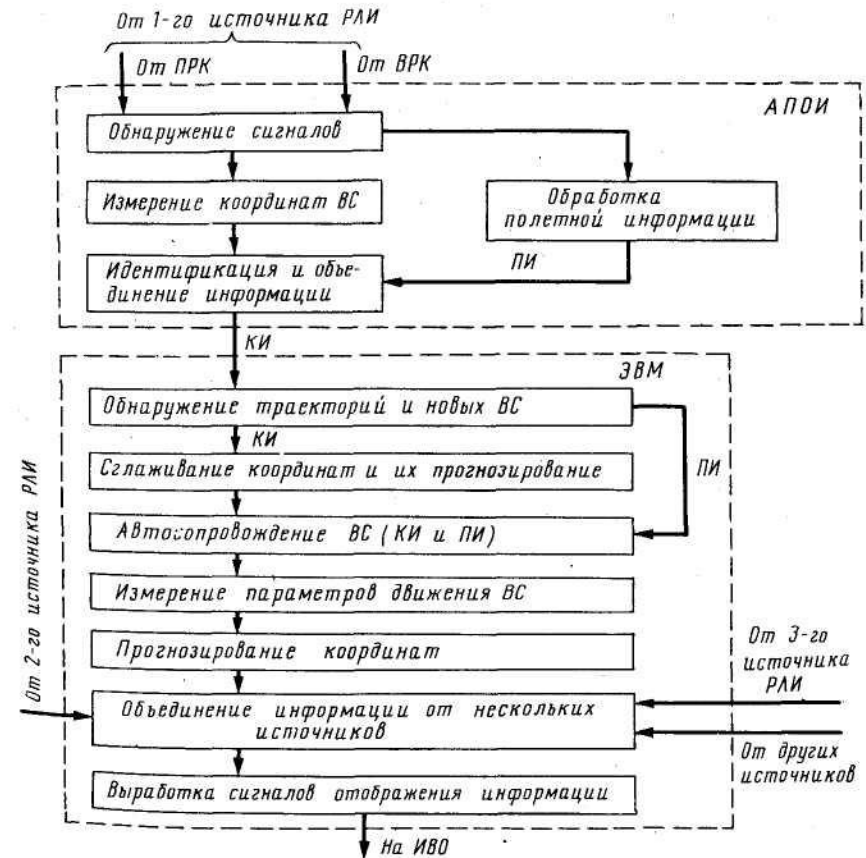


Рис. 5.1. Схема обработки радиолокационной информации

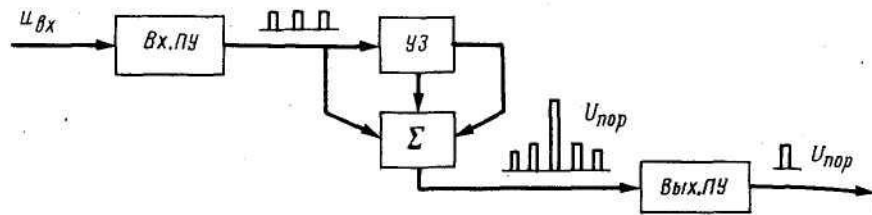


Рис. 5.2. Структурная схема аналогового устройства автоматического обнаружения сигнала

АПОИ имеет высокие показатели эффективности. Так, для первичного канала $P_{п.о} = 0,8 \dots 0,9$. При этом вероятность ложных тревог $P_{л.т} = 10^{-6} \dots 10^{-7}$. Число ложных обнаружений за один оборот антенны 25...50. Для вторичного канала $P_k = 0,95 \dots 0,99$.

Автоматическое обнаружение радиолокационных сигналов. Для автоматического обнаружения сигналов используются аналоговые и дискретные цифровые средства. Первые применяются в выходных устройствах РЛС, спроектированных в 1950...1960 гг., вторые — в современных РЛС, точнее в их АПОИ.

Принцип работы устройств, реализующих аналоговые методы накопления импульсов пачки отраженных сигналов, показан на рис. 5.2. Входные видеосигналы $u_{вх}$, образующие пачку, например, из трех импульсов, прошедшие входное пороговое устройство $Вх. ПУ$, поступают одновременно на сумматор Σ и на устройство задержки $УЗ$, имеющее два отвода (после задержки на один период T_n и на два T_n). В качестве $УЗ$ могут использоваться твердотельные ультразвуковые линии задержки, ЭЛТ типа потенциалоскоп и магнитные барабаны. На выходе накопителя имеется выходное пороговое устройство $Вых. ПУ$, в котором установлен порог по напряжению $U_{пор}$. Условием обнаружения накопленного сигнала является превышение им порога: $\sum_{i=1}^3 u_i \geq U_{пор} > \sum_{i=1}^2 u_i$. Вид сигналов после обработки в блоках схемы показан на их выходах.

В цифровом устройстве обнаружение пачки отраженных импульсов производится путем последовательной фиксации ее импульсов

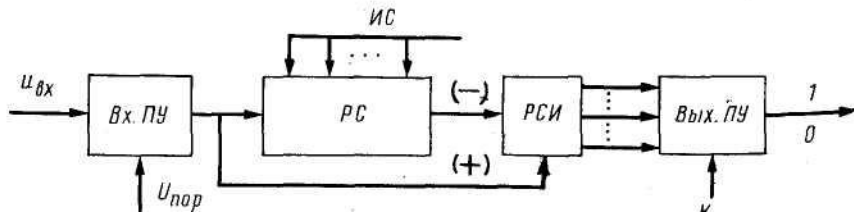


Рис. 5.3. Структурная схема дискретного устройства обнаружения сигнала

в устройстве памяти, последующего счета их числа K и сравнения с установленным значением порога обнаружения $K_{пор}$. Величины K и $K_{пор}$ выражаются двоичными числами. Упрощенная структурная схема дискретного устройства типа «движущегося окна» приведена на рис. 5.3. С радиоприемника на входное пороговое устройство $Вх. ПУ$ поступают видеосигналы $u_{вх}$, которые проходят его при $u_{вх} > U_{пор}$, формируются по амплитуде и длительности в единичные импульсы, а затем последовательно поступают в первую ячейку устройства памяти, в качестве которого используется регистр сдвига $РС$, и одновременно на реверсивный счетчик импульсов $РСИ$. На $РС$ и $РСИ$ приходящие импульсы фиксируются как единица.

Изменение числа K записанных в $РС$ единиц происходит вследствие азимутального движения ДН антенны по цели. Ширина «движущегося окна» равна ширине ДН антенны.

Общее число импульсов, фиксируемое в $РСИ$, изменяется во времени также и потому, что импульсы пачки флюктуируют по интенсивности, поэтому в случае превышения видеосигналом порога $u_{вх} < U_{пор}$ при очередном сдвиге в первой ячейке $РС$ должен быть зафиксирован 0. Освобождение первой ячейки $РС$ от 1 и сдвиг ее или 0 в последующую ячейку производится импульсом сдвига (ИС), синхронизированного последовательностью импульсов запуска РЛС, идущих через период T_n . После прихода других импульсов пачки они записываются в $РС$ и $РСИ$ таким же образом. Число единиц, фиксированных в $РС$ при очередном сдвиге, уменьшается вследствие выбывания (списания) 1 из последней ячейки $РС$ (если она там была). Эта 1 списывается также и из $РСИ$. Результат суммирования с $РСИ$ идет на компаратор — устройство сравнения, называемое выходным пороговым устройством $Вых. ПУ$, в котором установлен в виде двоичного числа порог $K_{пор}$. При выполнении условия $K \geq K_{пор}$ на выходное пороговое устройство попадает 1, обозначающая обнаружение цели «в окне», т. е. в импульсном объеме, определяемом величинами $\Delta R, \theta, \gamma$, где θ и γ — угловые размеры ДН антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Обнаружение целей на дальности $R_{min} \dots R_{max}$ в пределах ДН антенны обеспечивается за счет движения зондирующего импульса по дальности, но для этого необходимо, чтобы $n_R = (R_{max} - R_{min}) / \Delta R$. Так как процесс обнаружения происходит при круговом обзоре, то наблюдение, а следовательно, и обнаружение целей обеспечиваются во всем объеме зоны обнаружения РЛС. В связи с описанными особенностями этот метод называется методом обнаружения в «движущемся окне».

Число ячеек в $РС$ равно выбранному числу позиций в анализируемой пачке импульсов. Так как форма огибающей пачки повторяет форму ДН антенны, то импульсы в пачке имеют убывающие от ее середины амплитуды, поэтому число анализируемых импульсов пачки будет зависеть от выбранного порога $U_{пор}$ (рис. 5.4). Они

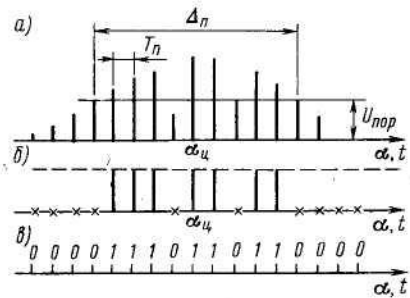


Рис. 5.4. Схема формирования цифровой последовательности из пачки флюктуирующих видеосигналов: а — на выходе приемника обнаружителя; б — на выходе порогового устройства; в — в виде цифровой двоичной последовательности

равны целой части отношения Δ_n/T_n , увеличенной на единицу, где Δ_n — ширина огибающей пачки по уровню $U_{пор}$.

При автоматическом обнаружении решение об обнаружении пачки принимается по логике « K из M », где M — число импульсов в анализируемой пачке, а K — число импульсов пачки, превысивших заданный порог $U_{пор}$. Реже применяется логика « K из K » или « K подряд», при которой решение об обнаружении цели принимается при обнаружении K импульсов на смежных позициях.

Выбор значений $U_{пор}$ и K производится с учетом следующих соображений. Заданные вероятности правильного обнаружения $P_{п.о}$ и ложной тревоги $P_{л.т}$ можно получить при различных сочетаниях величин $U_{пор}$ и K . Они должны быть такими, чтобы обеспечивали заданные $P_{п.о}$ и $P_{л.т}$ при минимальном соотношении мощностей сигнала и шума на входном пороговом устройстве.

Значение $U_{пор}$ выбирают так, чтобы удовлетворялся заданный уровень $P_{л.т}$. Расчеты показывают, что минимальному соотношению сигнал/шум при заданном значении $P_{п.о}$ соответствует $K=1,5\sqrt{M}$.

Использование логики обнаружения « K из K » упрощает схему обнаружителя, однако при этом возникают потери в соотношении мощностей сигнал/шум. Так, по сравнению с аналоговым накоплением потери при использовании логики « K из M » около 1,5 дБ, а при логике « K из K » дополнительные потери 2...3 дБ в зависимости от значений K и M .

На рассмотренных схемах рис. 5.2 и 5.3 обработка сигнала однопороговая — бинарная, т. е. видеосигнал с пороговым напряжением $U_{пор}$ делится на два уровня. Принцип формирования бинарно-квантованных импульсов в цифровом виде показан на рис. 5.4. Если сигнал выше порога, ему присваивается 1, если ниже — 0. Кроме описанной однопороговой обработки, существует и очень часто применяется многоуровневая многопороговая обработка, при которой сигнал анализируется на превышение каждого из $m-1$ уровней. Для обработки сигналов со всего интервала дальностей $R_{max} - R_{min}$ на каждом уровне должно быть n_R наборов схем анализа, т. е. во всей зоне обнаружения их должно быть $n_R \times m$. Это вполне осущ^е

ствимо при современном состоянии цифровой техники обработки радиолокационных сигналов.

Если при обработке сигнала ставится только одна задача — обнаружение целей, то из-за сравнительной простоты технической реализации используется принцип бинарной обработки. В этом случае потери в соотношении сигнал/шум по сравнению с аналоговым накоплением невелики и не превышают 1,5...2 дБ.

Многоуровневое — многопороговое обнаружение, несмотря на его сравнительную сложность, используется в тех случаях, когда требуется на выходе обнаружителя получить высокоточную информацию об интенсивности отраженных сигналов. Так, например, это необходимо для успешной работы цифровых устройств СДЦ, выходным элементом которых является череспериодный компенсатор (ЧПК). В нем производится сравнение расположенных на одних и тех же позициях амплитуд импульсов отраженных сигналов предыдущих пачек с последующими. Результат сравнения — обнаружение движущихся целей и уничтожение сигналов от неподвижных целей зависят от точности фиксации интенсивностей импульсов пачек, подвергаемых сравнительному анализу.

В обнаружителях современных РЛС в качестве входного устройства используются аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Они решают две основные задачи: дискретизацию и квантование входных сигналов во времени и по уровню, а также оцифрование интенсивностей сигналов, что необходимо для работы анализаторов, точнее их сравнивающих устройств. Дискретизация во времени заключается в разбиении интервала времени T_n на интервалы $t_{д}$, соответствующие величине ΔR , т. е. равные длительности импульсов τ . Квантование по интенсивности производится на $2^7=128$ или $2^8=256$ дискретов.

Вероятность обнаружения целей при использовании критериев типа « K из M ». Обнаружение цели дискретными методами происходит путем фиксации автоматическим устройством превышения принятыми K импульсами из пачки в M импульсов критерия обнаружения $K_{пор}$, причем $K_{пор} \leq M$. Значение $K_{пор}$ зависит от необходимой вероятности обнаружения.

Определим вероятность обнаружения цели по логике « K из M ». Положим, что все импульсы пачки имеют одинаковую интенсивность. В этом случае для всех M импульсов вероятность превышения порога одинакова. Искомый результат может быть найден как совместная вероятность превышения порога точно K импульсами и непревышения порога остальными $M-K$ импульсами пачки, которая может быть найдена в соответствии с теоремой Бернулли:

$$P_{п.о} = C_M^K p_{п.о}^K (1 - p_{п.о})^{M-K},$$

где C_M^K — число сочетаний из M по K , т. е. K превышений порога из M анализируемых импульсов; $p_{п.о}$ — вероятность правильного обнаружения одиночных импульсов;

$$C_M^K = \frac{M!}{K!(M-K)!}$$

Обнаружение цели фиксируется не только при превышении порога числом импульсов точно равным установленному значению критерия $K=K_{пор}$, но и когда число превышений больше $K_{пор}$. Так как пачка будет обнаружена при любом значении $K \geq K_{пор}$, то искомая вероятность с учетом этих случаев запишется выражением

$$P_{п.о} = \sum_{K_{пор}}^M C_M^K p_{п.о}^K (1 - p_{п.о})^{M-K}$$

5.2. Первичная обработка радиолокационной информации

Измерение дальности. Дальность определяют первой, затем измеряют азимут. Устройство измерения дальности должно быть многоканальным, т. е. за один период зондирования обеспечивать определение дальностей до нескольких целей. Дальность определяется по порядковому номеру дискрета дальности n_R , в котором обнаруживается цель: $R = \Delta R n_R$. Номер дискрета может быть установлен путем счета тактовых импульсов, которыми дискретизируется дальность за время периода повторения T_n зондирующих импульсов.

В дискретном измерителе каждый дискрет (для обзорной РЛС каждое кольцо дальности) имеет собственное устройство измерения (рис. 5.5). Оно работает следующим образом. Импульс запуска ИЗ радиолокационной станции включает генератор импульсов строба и сброса ГСС. Строб-импульс подается на временной селектор ВС и открывает его на время длительности строба T_n , равное периоду повторения сигналов РЛС. Генератор тактовых (масштабных) импульсов ГТИ непрерывно вырабатывает последовательность импульсов И с периодом $t_{\Delta R}$. Эта последовательность идет через ВС на счетчик импульсов СЧИ. Результаты счета в виде двоичного кода

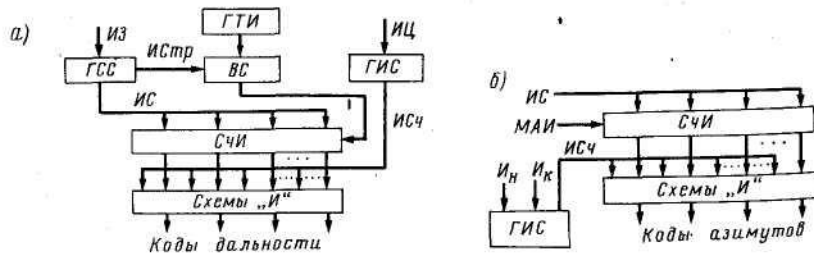


Рис. 5.5. Дискретный цифровой измеритель дальности (а) и азимута (б)

поступают на выходные ячейки СЧИ. Так как импульсы ГТИ имеют период $t_{\Delta R}$, соответствующий дискрету дальности ΔR , то на выходах ячеек СЧИ будет код текущей дальности, который необходимо снять в момент обнаружения цели. Для этого каждый разряд счетчика подключен к одному из входов своей схемы совпадений — схеме «И». Вторые входы этих схем подключены к генератору импульсов считывания ГИС, который вырабатывает их при поступлении на него импульса обнаружения цели ИЦ от схемы «движущееся окно». Импульс считывания ИСЧ открывает все ячейки схемы «И» и на выходах схемы будет параллельный двоичный код дальности обнаружения цели. Каждый цикл работы схемы заканчивается обнулением счетчика импульсом сброса (ИС), вырабатываемым по заднему фронту строб-импульса.

Число разрядов s , т. е. и ячеек СЧИ, зависит от общего числа дискретов n_R дальности и определяется выражением $2^s \geq n_R$. Так, например, для $R_{max} = 400$ км и $\Delta R = 400$ м имеем $s = 10$, так как $n_{max} = R_{max}/\Delta R = 1000$ и $2^9 = 512$, а $2^{10} = 1024$, т. е. 1000 находится в интервале $2^9 \dots 2^{10}$.

Измерение азимута целей. ДНА в горизонтальной плоскости симметрична, поэтому азимут цели $\alpha = \frac{1}{2} (\alpha_k - \alpha_n)$, где α_k — азимут конца пачки, т. е. последнего импульса пачки, а α_n — азимут начала пачки, т. е. ее первого импульса. Значения α_n и α_k получают по информации о текущем азимуте антенны от ее датчиков угловой информации в моменты обнаружения начала и конца пачки. Так как за окончательный критерий обнаружения цели обычно принимают ширину пачки сигналов $\Delta\theta$, то азимут цели:

$$\alpha = \alpha_n + \frac{1}{2} \Delta\theta + \alpha_n$$

Введение поправки к ширине пачки $\Delta\alpha_n$ объясняется следующим. Критериями начала и конца пачки принимаются соответственно обнаружение и отсутствие импульсов цели на нескольких позициях. Если эти критерии различны, например, для α_n был принят критерий $K_{пор} = 3$, а для α_k критерий $K_{пор} = 2$, то эта разница $\Delta\alpha_n$ в данном случае в один угловой дискрет должна быть учтена при расчете ширины пачки.

Принцип работы измерителя азимута похож на принцип, положенный в основу схемы измерения дальности. Рассмотрим один из возможных вариантов работы измерителя (рис. 5.5, б). На счетчик импульсов (СЧИ) от датчика, связанного с антенным приводом, идут в виде периодической последовательности так называемые малые азимутальные импульсы МАИ. Эти импульсы фиксируются в ячейках памяти регистра сдвига счетчиков. Счетчик периодически обнуляется импульсом сброса (ИС), вырабатываемым по импульсу «Север». Со счетчика импульсов, являющегося регистром текущего азимута, код азимута поступает на схемы совпадений «И», которые

открываются при поступлении на второй вход импульсов считывания. Этот генератор вырабатывает импульсы считывания (ИСЧ) после поступления сигналов обнаружения импульсов начала I_n и конца I_k пачки отраженных сигналов. Это обеспечивает снятие с выходов схем совпадения параллельных двоичных кодов азимут α_n и α_k , которые подаются на схему вычисления азимута цели.

Для измерения азимута антенные устройства РЛС имеют датчики угловой информации, синхронно связанные с приводом антенны. В станциях старого типа (1РЛЗ9-2, ДРЛС-7 и ее модификации) передача угловой информации основана на использовании синхронно следящей передачи.

В современных РЛС применяются системы дискретного съема и передачи угловой информации, использующие для генерации сигналов текущего азимута диски с прорезями, т. е. чередующиеся темные и светлые полосы, размещенные по окружности диска. Электрические сигналы, несущие информацию о текущем азимуте, получают с помощью ламп и фотоэлементов, находящихся по различным сторонам диска. Прорези и полосы могут располагаться неравномерно так, что промежутки между ними в двух дорожках прорезей модулированы по законам синуса и косинуса текущего азимута. Это позволяет восстановить на приемной стороне эти функции, необходимые для кругового развертывания луча на экране индикатора. В системах, использующих принципы дискретной обработки информации и получающих угловую информацию непосредственно с помощью синхронно следящих передач в виде аналоговых синусо-косинусных напряжений, для преобразования этих напряжений в дискретную форму имеется специальная аппаратура «Модуль», которая применяется, например, в аппаратуре автоматического визуального отображения модели обстановки УВД «Страница».

Азимут должен вычисляться с высокой точностью. Так, по принятым нормам средняя квадратическая погрешность его определения 12... 15'. В современных РЛС сигналы углового положения антенны РЛС выдаются в виде 4096 импульсов за 1 оборот антенны, что соответствует точности 1/4096 оборота, т. е. один угловой дискрет равен $\approx 5'$.

5.3. Аппаратура первичной обработки информации

Назначение АПОИ — обнаружение и измерение координат целей, составление и объединение координатной информации, полученной от первичного и вторичного каналов РЛС, представление этой информации в виде двоичных кодов и передача их в линию связи.

АПОИ входит в состав всех РЛК, обеспечивающих работу автоматической аппаратуры отображения и автоматизированных систем УВД. Имеются АПОИ специализированные, предназначенные для работы с конкретными РЛС и РЛК, и АПОИ универсальные,

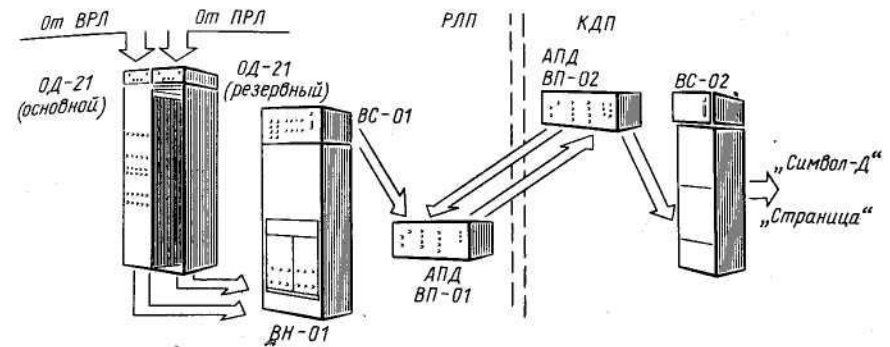


Рис. 5.6. Схема расположения аппаратуры первичной обработки информации «Вуокса»

которые могут функционировать с различными РЛС. К первым относятся: АПОИ «Обзор-С», работающая с РЛК типа «Скала» в АСУВД «Спектр», и «Стрела», а также АПОИ «Обзор-2», работающая с РЛС 1-РЛ139-2 (П-37) и ВРЛС «Корень» в АСУВД «Трасса». Имеется также АПОИ «Вуокса», которая может обрабатывать информацию практически от всех типов РЛС, эксплуатируемых в ГА.

АПОИ «Вуокса» (рис. 5.6). Комплектация АПОИ «Вуокса» следующая. Совместно с РЛС располагаются: стойка сопряжения ВН-01, стойка обработки информации ОД-21 и передающая часть аппаратуры передачи данных ВП-01. Приемная аппаратура ВП-02 и стойка сопряжения ВС-02 расположены на КДП. Возможен вариант размещения всей аппаратуры на КДП. Стойка ОД-21 (АПОИ) предназначена для первичной обработки радиолокационной информации от ПРЛС и ВРЛ и подготовке ее для передачи после обработки в виде двоичных кодов на КДП.

Стойка сопряжения ВН-01 обеспечивает коммутацию входных и выходных сигналов АПОИ и АПД, управление АПОИ, преобразование запросных кодов в соответствующие напряжения, преобразование сигналов углового положения антенны.

Основные характеристики АПОИ «Вуокса»

Число обрабатываемых каналов.....	3 (первичных); 2 (вторичных)
Число обрабатываемых целей на одном азимуте	64
Инструментальная точность определения координат (СКП):	
по дальности	100 м
по азимуту.....	1,5 угловых дискрета;
Разрешающая способность:	
вторичного радиолокационного канала:	
по дальности.....	600 м («УВД»); 400;
по азимуту	1,5 ширины ДН антенны РЛС;

⁴ Зак. 1972

первичного радиолокационного канала:	
по дальности	1,5 длительности зондируемого им
	пульса РЛС
по азимуту	1,5 ширины ДН антенны РЛС
Число ложных тревог за обзор	50
Вероятность обнаружения по ПРК при $P_c/P_{ш}=3$, не менее	0,9
Вероятность выдачи по каналу ВРЛ правиль- ной полетной информации от одиночного само- лета в режимах УВД и RBS, не менее	0,96
Среднее время наработки на отказ, не менее	2000 ч
Технический ресурс	100000 ч (12 лет)

Структурная схема АПОИ приведена на рис. 5.7.

Задача первичной обработки отраженных и ответных сигналов первичного и вторичного каналов решается в двух устройствах обработки информации (УОИ). Оба устройства имеют почти одинаковую структуру и предназначены для обнаружения сигналов целей и измерения их координат. Второе используется также и для выделения полетной информации и формирования общего выходного сигнала по каждой цели. УОИ от первичных каналов РЛС состоит из входного устройства $Vx.U$, интегратора I с запоминающим устройством $ЗУ$ и анализатора пакетов. Во втором устройстве обработке координатной информации используются те же методы обработки, а структура его аналогична устройству обработки информации ПРК и отличается лишь наличием дешифратора координатных кодов и полетной информации.

Входными устройствами аппаратуры обработки является блок фазовых детекторов и аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). После двухканального квадратурного детектирования аналоговые входные сигналы $u_{вх}$ преобразуются в двоичные коды. Для этого предварительно производится дискретизация входного сигнала на

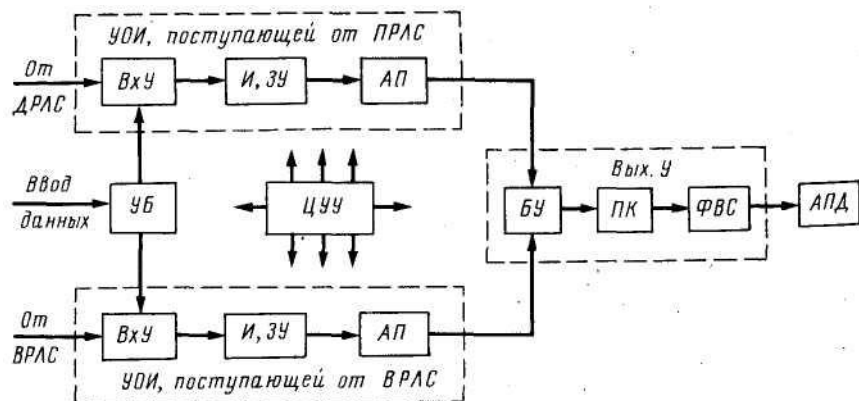


Рис. 5.7. Структурная схема аппаратуры первичной обработки информации «Вуокса»

временные промежутки, соответствующие длительностям зондирующих импульсов. Так, для обработки сигналов ОРЛС-Т принят интервал 2,7 мкс, а для сигналов ОРЛС-А 1,3 мкс, которые соответствуют дискретам дальности около 400 и 200 м. Для преобразования аналоговых сигналов в цифровые используется метод последовательного сравнения (уравнивания) входных сигналов с последовательностью эталонных сигналов. Для оценки интенсивности $u_{вх}$ используется семиразрядное число, обеспечивающее 128 уровней оценки интенсивности ($2^7 = 128$). Восьмой разряд в выходном коде обеспечивает информацию о знаке $u_{вх}$.

Обнаружение происходит в три этапа. Первый этап — предварительное обнаружение одиночных импульсов осуществляется во входном устройстве на пороговых схемах при выполнении условия $u_{вх} \geq U_{пор}$. Второй этап — обнаружение пакетов сигналов выполняется схемой анализа в интеграторе I путем проверки критерия обнаружения не менее K импульсов в пачке из M сигналов по методу «движущегося окна». Значение K устанавливается неоперативно в соответствии с заданной вероятностью $P_{по}$ при допустимом уровне $P_{лт}$. Третий этап — окончательное обнаружение проводится в анализаторе пакетов $АП$ по критерию их ширины. Здесь отсеиваются ложные пакеты малой и большой длительности. При удалении цели от РЛС число обнаруженных сигналов от нее уменьшается, и вероятность обнаружения падает. Поэтому для увеличения этой вероятности предусмотрено изменение критерия обнаружения начала пакета в зависимости от дальности. Вся дальность разбивается на четыре зоны. С пульта управления возможно установить номер зоны и критерий начала обнаружения пачки. С уменьшением $K_{пор}$ число ложных тревог увеличивается.

Решение об окончательном обнаружении цели принимается на третьем этапе в анализаторе пакетов по критериям числа импульсов в пачке. Это число устанавливается на пульте управления АПОИ в соответствии с допустимой вероятностью ложных тревог. В этом устройстве решаются также задачи: измерения дальности до цели, определения середины пакетов и измерения азимута целей, привязки полетной информации к координатной, объединения координатной информации, полученной по первичному и вторичному каналам от одной цели. Для решения этих задач анализатор пакетов имеет три блока: анализа, оценки координат и ширины пачки. Дальность определяется при каждом зондировании. Грубо дальность известна по номеру временного дискрета n_R . Точную дальность определяют поправкой на положение отраженного сигнала от начала временного дискрета. Азимут определяется по текущему азимуту начала пачки и ширине пакета.

Пакету сигнала, удовлетворяющему установленным критериям, присваивается условный номер — адрес, по которому в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) хранится информация в виде формуляра, который заводится на каждую цель и включает сле-

дующие сведения: точную дальность, ширину пакета, азимут цели, полетную информацию для этой цели и адрес ее хранения.

В устройстве обработки информации от ВРЛС, кроме перечисленных операций, производятся обнаружение и декодирование сигналов, получаемых от ответчиков самолетов, декодирование координатной и полетной информации. Это устройство для обработки координатной информации использует те же методы, которые применяются для обработки информации от первичного канала, и отличается наличием дешифратора координатных кодов и полетной информации.

Общими устройствами, обслуживающими оба канала обработки, являются устройство бланкирования *УБ* и центральное устройство управления *ЦУУ*.

Устройство бланкирования (*УБ*) предназначено для запрещения обработки радиолокационной информации, поступающей от целей из некоторых зон, например, из зон для групповых полетов, не находящихся под управлением диспетчера, и зон, откуда могут приходиться интенсивные отражения от местных предметов. Возможно ручное с *КДП* и пульта техника изменение места положения и размеров зон бланкирования. Сигналы запрета реализуются во входных устройствах и в дешифраторе. Пределы регулировки границ зон по дальности 10...50 км с дискретностью 10 км, по азимуту 5...60° с дискретностью 6°. Число зон 6.

С обоих устройств обработки информация поступает на буферные устройства (*БУ*), задачей которого является сопряжение входной и выходной информации. Входная информация поступает на *БФ* и записывается в оперативное запоминающее устройство (*ОЗУ*) в темпе, определяемом расположением целей в воздушном пространстве, и в некоторых случаях он может быть очень высоким. Выходная информация из *ОЗУ* в соответствии с требованиями *АПД* снимается регулярно с заданной скоростью.

Координаты целей средствами наблюдений измеряются в полярной системе координат, а выходные сообщения для обеспечения работы цифровой техники в системах обработки информации и отображения функционируют в прямоугольной системе, поэтому в выходном устройстве для перехода к этой системе имеется преобразователь координат (*ПК*). Информация с *ПК* поступает на формирователь выходных сообщений (*ФВС*), в котором она нормируется и располагается в необходимом для последующей обработки порядке.

5.4. Аппаратура передачи данных

Аппаратура передачи данных (*АПД*) предназначена для передачи кодированной цифровыми двоичными кодами информации от *ВРЛС*, *ВРЛС*, *АРП* или *АПОИ* на *ЭВМ КДП* для ее дальнейшей обработки и отображения. Структурная схема *АПД* приведена на рис. 5.8.

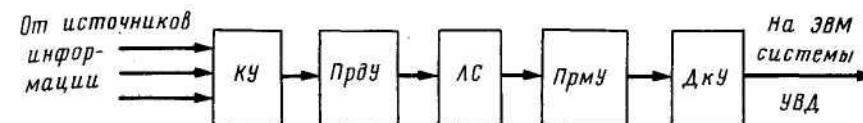


Рис. 5.8. Структурная схема аппаратуры передачи данных: *КУ* — кодирующее устройство; *ПрДУ* — передающее устройство; *ЛС* — линия связи; *ПрМУ* — приемное устройство; *ДКУ* — декодирующее устройство

Для линии связи применяют кабельные каналы или радиорелейные линии. Первые из них считаются предпочтительными. Рекомендуемые параметры каналов связи (ширина полосы в зависимости от скорости передачи информации, затухание, допустимые искажения и т. д.) указаны в международных документах и межведомственных нормах. Так, для передачи радиолокационной информации (*РЛИ*) требуются два канала (основной и резервный), разнесенных по разным трассам.

Номер байта	Номер разряда															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1, 2	ВРФ					ВИ					ТС=1					
3, 4	±						У					ИКИ ДС=0				
5, 6	±						Х					НР ЗН				
7, 8	ИБ															
9, 10	НБ младшие разряды					Б					КО ИВ старшие разр.					
11, 12						ОТ БО УВ					ИБ					

Номер байта	Номер разряда															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1, 2	ВРФ					ВИ					ТС=2					
3, 4	±						У					ИКИ ДС=1				
5, 6	±						Х					НР ЗН				
7, 8	ВРФ															
9, 10	±						У					ИКИ				
11, 12	±						Х					НР ЗН				

Рис. 5.9. Примерный вид сообщения, передаваемого аппаратурой передачи данных от *АПОИ «Вуокса»*: *ВРФ* — время фактического обнаружения цели; *ВИ* — вид информации; *ТС* — тип сообщения (первый); *У*, *Х* — координаты цели (прямоугольные); *ДС* — сообщение об одном (0) или о двух (1) ВС; *НР* — неразрешение; *ЗН* — знак; *ИБ* — индекс борта (номер); *ВВ* — высота барометрическая; *Б* — бедствие; *КО* — канал ответа; *ОТ* — остаток топлива; *БО* — «Бедствие» (по отечественному каналу); *УВ* — уровень отсчета высоты

В линиях связи используется частотная или фазовая модуляция (ЧМ или ФМ). Более простой является ЧМ. Так, в наименее сложной линии — канале со стандартной ЧМ-использован телефонный канал с диапазоном частот 0,3—3,4 кГц, который обеспечивает последовательную передачу данных со скоростью 2400 бит. Эта скорость принята для передачи РЛИ. Для обеспечения большей скорости полоса частот линии должна быть шире. Простейшим методом ЧМ является манипуляция двумя частотами, например, частота 300 Гц соответствует символу 1, а частота 400 Гц — 0.

При ФМ двоичные сигналы передаются путем изменения фазы несущего колебания. При простейшей ФМ фазой 0 передается 1, а фазой 180° сигнал 0. В настоящее время часто применяется метод относительной фазовой модуляции (ОФМ), при которой информация передается не абсолютным значением фазы, а разностью фаз двух соседних посылок. Так, 1 соответствуют их одинаковые фазы, а 0 — различные. При этом значительно облегчаются синхронизация посылок и восстановление первоначальной последовательности нулей и единиц, так как предшествующий сигнал каждый раз принимается за начало отсчета.

В качестве примера вида и объема информации, передаваемой от РЛС, приведены сообщения, передаваемые по АПД от АПОИ «Вуокса» (рис. 5.9). АПД обеспечивает скорость передачи 2400 бит/с. При длине сообщения 117 бит за 1 с может быть передано 20 сообщений. При передаче информации сообщениями первого типа (об одном ВС) или второго (о двух ВС) за время одного обзора РЛС (10 с) можно передать информацию о 200 целях, обнаруженных вторичным каналом, и о 400, обнаруженных первичным каналом.

В АПД используется принцип устойчивого кодирования, которое обеспечивает вероятность неправильной передачи $P_{н.п} = 10^{-6}$.

5.5. Вторичная обработка радиолокационной информации

Решение задач вторичной обработки РЛИ для сокращения объема памяти и вычислительных операций проводится в ЭВМ в прямоугольной системе координат. Преобразование полярных координат ВС — наклонной дальности R и азимута α в прямоугольные производится еще при первичной обработке по формулам:

$$x = R \cos \alpha \quad \text{и} \quad y = R \sin \alpha.$$

Для того чтобы предупредить опасные сближения, необходимо для ранее наблюдавшихся ВС подтвердить существование их траекторий, т. е. наличие в памяти ЭВМ координат ВС за несколько обзоров, а для вновь обнаруженных ВС «завязать» их траектории. Для этого предварительно следует провести ряд операций: подтвердить наличие в памяти координат ранее обнаруженных целей, обнаружить новые, сгладить координаты, так как при их измерении неиз-

бежны погрешности, организовать автосопровождение ВС, т. е. запоминание и обновление в процессе наблюдения координатной и полетной информации (КИ, ПИ), прогнозировать координаты хранящихся в памяти целей, осуществить объединение информации от нескольких РЛК. Это приведет к повышению вероятности обнаружения ВС в контролируемой зоне. Для выполнения каждой из указанных задач в ЭВМ имеется своя программа. Очередность их выполнения устанавливается управляющей программой.

Обнаружение траектории и новых целей. Для решения этих задач сравнивается информация, полученная в $i-1$ обзоре РЛК, с текущей информацией, полученной в i -м обзоре. Способ решения поставленных задач зависит от вида канала первичного или вторичного, выдающего информацию. Так, если она поступила от ВРК, то решения могут приниматься по результатам сопоставления опознавательных признаков ВС. Если в результате сравнения опознавательных признаков будет выявлено их совпадение, то подтверждается наличие траектории ВС. Если в результате сравнения с опознавательными признаками всех целей $i-1$ -го обзора получен отрицательный ответ, то это означает обнаружение новой цели и информация об этом ВС должна быть записана в память, т. е. будет «завязана» новая траектория.

Решение тех же задач по информации, получаемой от ПРК, производится путем идентификации кодов новых координат ВС x_{ni} , y_{ni} с прогнозируемыми координатами x_{ci} , y_{ci} , вычисляемыми по выражениям:

$$x_{ni} = x_{ci-1} + \bar{V}_x T_{обз}; \quad y_{ni} = y_{ci-1} + \bar{V}_y T_{обз},$$

где x_{ci-1} , y_{ci-1} — координаты зафиксированные в $i-1$ обзоре; \bar{V}_x и \bar{V}_y — средние скорости полета ВС в i -м и $i-1$ -м обзорах; $T_{обз}$ — период обзора ПРК.

Так как измерения и обработка координат сопровождаются погрешностями δ_x , δ_y , то для принятия решения о подтверждении наличия траектории ВС необходимо, чтобы координаты x_n и y_n попали в область $x_n \pm \delta_x$; $y_n \pm \delta_y$. Для всех ВС с координатами x_{ni} , y_{ni} , которым не нашлось прогнозированной пары, принимается решение о том, что это новые цели и коды их координат записываются в память. При проверке наличия или завязывания траекторий, кроме поиска новых данных по координатам x и y , в некоторых случаях осуществляется также аналогичная по смыслу и способу проведения проверка по координате — высоте полета.

Запись координат и информации о состоянии ВС в специальные ячейки памяти, хранение и обновление этой информации производится в ячейках оперативной памяти ЭВМ и называется автосопровождением (АС). Группа ячеек памяти, выделенная для этих целей, называется каналом АС. В нем хранятся также сведения и о признаке (номере) этого канала. Число каналов АС ограничено (15...300) и зависит от назначения системы УВД. Ограниченность объема памяти и быстродействия ЭВМ предъявляет строгие требо-

вания к АПОИ по числу ложных обнаружений за время одного обзора (25...50).

Наличие АС позволяет системе работать в условиях значительного числа пропусков обнаружений целей, в том числе и подряд (например, 3...5 при 10 обзорах). Только после такого числа пропусков канал АС освобождается. Ограничение числа каналов АС, значительное число допустимых ложных обнаружений и пропусков целей обуславливают высокую занятость каналов АС, что может помешать фиксации вновь обнаруживаемых целей. Поэтому АС предшествует автозахват, для осуществления которого в оперативной памяти выделяется специальная группа каналов, имеющая менее жесткий критерий по пропускам целей (например, 2...3 при 5 обзорах). Такое большое число пропусков обнаружений целей на практике может быть вызвано, например, помехами из-за отражений от Земли, ослабления отраженных сигналов метеоосадками, а также помехами от других радиотехнических средств.

Сглаживание координат и скорости ВС. Эта задача решается для более точного прогнозирования координат, а значит и области возможного обнаружения целей в очередном обзоре. Операция сглаживания необходима, так как вычисление прогнозируемых координат сопровождается погрешностями, соизмеримыми с расстояниями, проходимыми ВС за период обзора. Это происходит в связи с тем, что имеются погрешности измерения текущих координат вследствие внешних радиопомех и флюктуации интенсивности отраженных сигналов, пропусков обнаружений целей, а также из-за маневрирования ВС. Сглаживание значений координат и скорости проводится на каждом обзоре РЛК. При этом предполагается, что ошибки измерений координат случайны, независимы и распределены по нормальному (Гауссову) закону, а ВС движутся с постоянной скоростью и курсом или совершают маневр с постоянным радиусом. Сглаживание выполняется по специальным алгоритмам. Наиболее часто применяется алгоритм скользящего сглаживания, который основан на том, что новые координаты ВС определяются по старым таким образом, что вес (влияние на результат прогнозирования) ранее проведенных измерений уменьшается со временем, т. е. большее влияние оказывают новые, ближние по времени данные. Так, например, могут использоваться следующие соотношения сглаживания координаты x и скорости (рис. 5.10):

$$\bar{x}_n = x_{n\bar{3}} + \alpha(x_n - x_{n\bar{3}}); \quad \bar{V}_{xn} = \bar{V}_{x_{n-1}} + \beta \frac{x_n - x_{n\bar{3}}}{T},$$

где \bar{x}_n, \bar{V}_{xn} — сглаженные значения координаты x и скорости V_{xn} ; $x_{n\bar{3}}$ — экстраполированные значения координаты; x_n — измеренные значения координаты (все при n -м обзоре); α и β — рассчитываемые по специальным выражениям коэффициенты, учитывающие результаты измерений x при n -м обзоре.

Так, если значение фактически измеренной при n -м обзоре координаты попадает за назначенные границы области ее вероятных

значений (например, 90 или 95 %), то коэффициенты должны изменяться.

Учет возможного маневра ВС при экстраполировании производится расчетом по специальным выражениям эллипса рассеивания за счет погрешностей измерения, в площадь которого могут попасть координаты ВС. Маневр обнаруживается по специальным правилам и алгоритмам.

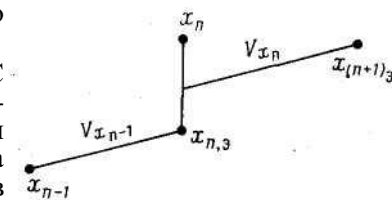


Рис. 5.10. Схема алгоритма скользящего сглаживания

При рассмотрении процессов в АСУВД автосопровождением называются все указанные выше операции, а не только текущее запоминание и обновление информации.

Анализ спорных ситуаций. Эти ситуации возникают, если в строб попадает не одна, а несколько целей, которые могут быть как истинными, так и ложными. За истинную метку можно принять ту i -ю цель с координатами x_i, y_i , которая по расстоянию ΔR_i ближе к центру строба с координатами $x_{ст}, y_{ст}$. Для суждения об этом для всех $i = 1, \dots, m$ целей решается зависимость

$$\Delta R_i^2 = (x_i - x_{ст})^2 + (y_i - y_{ст})^2,$$

и из нескольких ΔR_i выбирается минимальное значение. При наличии в стробе двух целей истинную выбирают по знаку решений функции $K = \Delta R_i^2 - \Delta R_{i+1}^2$, если $K > 0$, то i -я цель истинная, если $K < 0$, то i -я цель ложная и сведения о ней должны быть стерты из памяти. Возможны ситуации, когда R_i и R_{i+1} близки по своим значениям и меньше возможных погрешностей измерения. При этом принимать решение по критерию знака функции K нельзя. Поэтому предварительно проводится проверка на состоятельность применения этого критерия путем сравнения его значения с пороговым уровнем K_0 . Так, если получится, что $|K| \geq K_0$, то предыдущий критерий можно использовать, а если $|K| < K_0$, принимается решение о переносе анализа в следующий цикл работы системы, для чего координаты $x_{ст}$ и $y_{ст}$ прогнозируются по старым данным, имеющимся в памяти.

6.1. Защита РЛС от помех, создаваемых метеорологическими образованиями

Помехами называются возникающие в приемном устройстве РЛС или проникающие в него посторонние радиосигналы. Основные из них можно подразделить на внутренние шумы приемного тракта, сигналы, отраженные от земной поверхности и местных предметов, сигналы, отраженные от метеорологических образований, сигналы от других радиотехнических средств. Помехи воздействуют на полезные сигналы, уменьшают соотношение сигнал/помеха на выходе приемника, а также могут образовывать на экране ИУ ложные отметки и даже сплошные области засветки. Влияние помех уменьшается оптимальной фильтрацией при приеме, различными видами АРУ, а также специальными методами и устройствами, рассматриваемыми далее.

Наличие метеообразований может приводить к уменьшению дальности РЛС вследствие поглощения прямых и отраженных сигналов, а также к затруднениям в выделении полезных сигналов среди сигналов, отраженных от метеообразований. Использование для защиты от этого вида помех методов селекции движущихся целей ограничено, так как скорости перемещения метеообразований могут быть соизмеримы с радиальными относительно РЛС скоростями ВС. Поэтому во всех РЛС ГА для уменьшения влияния рассматриваемых помех применяется поляризационная селекция, при которой используются различия в распространении электромагнитной энергии в волноводных устройствах и при отражении от частиц метеоосадков.

Поляризационные характеристики электромагнитных волн (ЭВМ). Поляризация — это характеристика ЭВМ, определяющая закон изменения напряженности электрического и магнитного полей, характеризующихся векторами e и h соответственно. Они расположены в одной плоскости ортогонально друг к другу и скорости распространения ЭВМ \vec{V} , которая может быть направлена в соответствии с правилом правого винта. Законы изменения мгновенных значений e и h записываются так:

$$e = E \sin \omega t; \quad h = H \sin \omega t. \quad (6.1)$$

Векторная и амплитудная диаграммы напряженности электрического и магнитного полей представлены на рис. 6.1. Векторы e и h имеют одинаковые законы изменения и представляются ортогональными функциями, что позволяет в ряде случаев не указывать вид рассматриваемого поля, поэтому в дальнейшем будем вести речь только об электрическом поле.

Различают поляризацию линейную и вращающуюся. Линейная поляризация может быть вертикальной (рис. 6.2, а), горизонтальной (рис. 6.2, б) и наклонной (рис. 6.2, в) по отношению к ориентации излучающих элементов (диполь или открытый конец волновода). При наклонной поляризации вектор e расположен под углом α к оси X и может быть разложен на составляющие:

$$e_x = e \cos \alpha; \quad e_y = e \sin \alpha. \quad (6.2)$$

Подставив в (6.2) выражение (6.1), видим, что текущие значения составляющих вектора e будут:

$$e_x = E \sin \omega t \cos \alpha; \quad e_y = E \sin \omega t \sin \alpha. \quad (6.3)$$

Наличие одной и той же функции $\sin \omega t$ в обоих выражениях свидетельствует об отсутствии сдвига фаз $\Delta \varphi = \Delta \omega t$ между колебаниями e_x и e_y . Соотношение между текущими мгновенными значениями составляющих напряженности e_x и e_y во времени остается постоянным, поэтому направление вектора e остается постоянным. Если фаза составляющей e_x отличается от фазы e_y , то соотношение между e_x и e_y не будет постоянным, поэтому результирующий вектор e изменяться не только по величине, но и по направлению, т. е. будет вращаться. Поляризация такого ЭМ поля называется вращающейся. В зависимости от знака сдвига фаз вектор e_x будет либо опережать, либо отставать от вектора e_y .

Вращающаяся поляризация будет эллиптической, если $e_x \neq e_y$, и круговой, если $e_x = e_y$. Годографы векторных поляризационных диаграмм в этих случаях соответственно представляют собой эллипс и окружность. Значение электрической напряженности e в первом случае будет переменным, во втором — постоянным.

Селекция сигналов по их поляризационным характеристикам. Задача поляризационной селекции — значительное уменьшение интенсивности отраженных от гидрометеоров мешающих сигналов при максимально возможном сохранении сигналов, полученных от ВС. Для этого используется зависимость вида поляризации от формы объектов отражения. Так, при облучении капель дождя или тумана, имеющих симметрич-

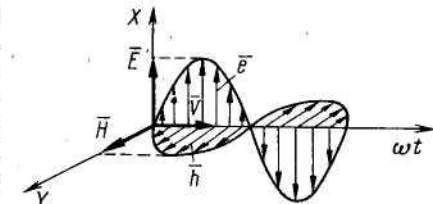


Рис. 6.1. Диаграммы напряженностей электрического и магнитного полей

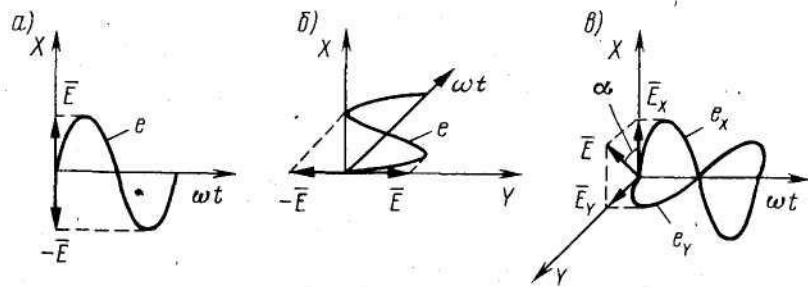


Рис. 6.2. Виды электрической поляризации поля

ную форму, электромагнитной волной с круговой поляризацией отраженная волна также будет круговой, так как текущие соотношения между составляющими поля e_x и e_y отраженной волны остаются теми же, что и у облучающей волны. При облучении тела несимметричной формы, например ВС, соотношение между e_x и e_y у отраженного сигнала изменится, поэтому отраженный сигнал будет иметь эллиптическую поляризацию.

Работа поляризаторов основана на свойстве волноводов по-разному пропускать электромагнитные колебания, отличающиеся направлением поляризации. Обычно в РЛС используются поперечные волны (ТЕМ-типа), у которых вектор \vec{e} расположен перпендикулярно широкой стороне волновода. Если \vec{e} повернуть на 90° , то колебания через волновод не пройдут. Поляризатор выполняет эту задачу для отраженных от гидрометеоров сигналов.

Поворот сигналов происходит вследствие сдвига фаз между составляющими $e_x = e_y$. Необходимый для достижения ожидаемого эффекта защиты поворот вектора поляризации, отраженного от гидрометеоров сигнала, на 90° относительно отраженного от ВС, достигается путем двух поворотов вектора e_x на 45° . Это получается из-за двух опережающих сдвигов фаз этого вектора в поляризаторе по 90° каждый (вначале для прямого, а затем и для отраженного сигналов).

Поляризаторы могут иметь различную конструкцию, но принципы их работы общие. Удобно объяснить работу этого устройства на примере конструкции в виде металлической решетки 2, помещенной за питающим волно-

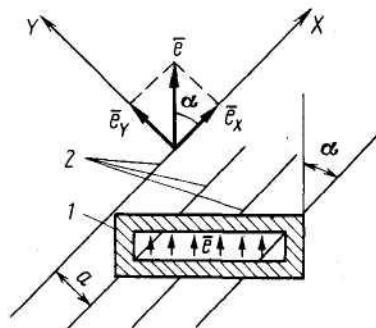


Рис. 6.3. Схема поляризатора радиоволны

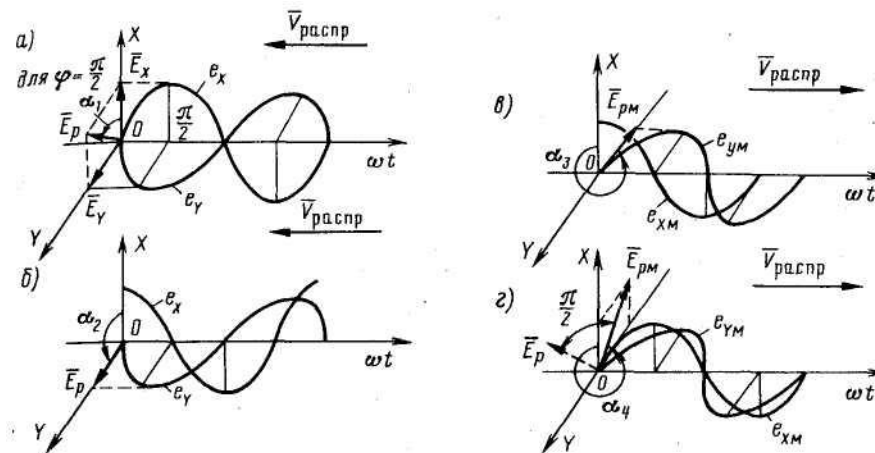


Рис. 6.4. Диаграммы изменения фазы при прохождении прямой радиоволны до цели и отраженной к радиоприемнику при наличии у РЛС поляризатора

водом 1 (рис. 6.3). Пластины решетки могут быть представлены как широкие стенки волновода. От их протяженности по направлению распространения ЭМВ зависит сдвиг фазы составляющей e_x ЭМВ, идущей через поляризатор. Протяженность пластин выбрана такой, чтобы изменение (опережение) фазы составляющей e_x относительно e_y было $\Delta\varphi = \pi/2$. Пластины располагаются относительно волновода под регулируемым оператором углом. Рассмотрим работу поляризатора при угле наклона $\alpha = 45^\circ$. Вектор \vec{e} ЭМВ, излучаемый открытым концом подводящего энергию волновода относительно поляризатора, наклонно поляризован, и его составляющие e_x и e_y на входе устройства с учетом (6.2) и (6.1) записываются ранее приведенными выражениями (6.3). Так как $\alpha = \alpha_1 = 45^\circ$, то $e_x = e_y$, т. е. эти составляющие синфазны. Амплитудная и векторная диаграммы интенсивности ЭМВ в процессе колебаний на входе решетки показаны на рис. 6.4, а. Векторные диаграммы здесь и далее будут приводиться для текущей фазы $\varphi = \omega t = \pi/2$. При прохождении через решетку вектор e_x опередит вектор e_y по фазе на величину $\Delta\varphi = \pi/2$ (рис. 6.4, б). Аналитически результат запишется так:

$$\left. \begin{aligned} e_x &= E_x \sin(\omega t + \pi/2) = E_x \cos \omega t; \\ e_y &= E_y \sin \omega t. \end{aligned} \right\} \quad (6.4)$$

На выходе поляризатора ЭМВ станет вращающейся круговой, так как $e_x \neq e_y$ и ортогональны, а $E_x = E_y$. Из выражения (6.4) следует, что $e_x/e_y = \tan \omega t$, из (6.2) следует, что $e_x/e_y = \tan \alpha$,

поэтому $\alpha = \omega t$, т. е. угол α во времени изменяется с угловой скоростью ω .

Результирующий вектор

$$e_p = \sqrt{E_x^2 \cos^2 \omega t + E_y^2 \sin^2 \omega t} = E_p.$$

Векторная и амплитудная диаграммы поляризации для прямого сигнала на выходе решетки показаны на рис. 6.4, б. Результирующий вектор $\vec{E}_p = e_p$ располагается относительно оси X под углом α_2 , т. е. угол α_1 увеличился на 45° . Для принятой ориентации поляризатора относительно волновода вращение будет левым, если смотреть от РЛС к ВС.

При отражении сигнала от метеоосадков, например дождевых капель, соотношение между составляющими e_{x_m} , e_{y_m} в силу сферичности элементов осадков не изменится, поэтому поляризация ЭМВ останется круговой. Однако вследствие того, что направление вектора скорости ЭМВ $\vec{V}_{распр}$ изменится на противоположное, сторона вращения ЭМВ, если наблюдать от РЛС, изменится с левой на правую. Следовательно, результирующий вектор \vec{E}_p (для отраженного от капель дождя сигнала это будет $\vec{E}_{p,m}$) по направлению отличается от \vec{E}_p на величину π (рис. 6.4, в), а угол α при этом изменится и станет α_3 . Поэтому текущие значения составляющих вектора e_m на входе решетки со стороны цели будут:

$$e_{x_m} = E_{x_m} \cos(-\omega t) = E_{x_m} \cos \omega t; e_{y_m} = E_{y_m} \sin(-\omega t) = -E_{y_m} \sin \omega t.$$

Пройдя поляризатор, составляющая e_{x_m} опередит e_{y_m} и создаст дополнительный сдвиг фаз $\Delta\varphi = \pi/2$. Поэтому выражения для e_{x_m} и e_{y_m} будут иметь вид:

$$e_{x_m} = E_{x_m} \sin \omega t; e_{y_m} = -E_{y_m} \sin \omega t.$$

Поляризационные диаграммы на выходе решетки для отраженного от гидрометеоров сигнала показаны на рис. 6.4, г. Результирующий вектор $\vec{e}_{p,m}$ для мгновенной фазы $\varphi = \pi/2$ равен $\vec{E}_{p,m}$. Он линейно поляризован, находится в четвертом квадранте и повернут по отношению к начальному положению вектора \vec{E}_p (см. рис. 6.4, а) на угол α или $-\pi/2$. При этом вектор $e_{p,m}$ ориентирован параллельно широкой стороне волновода, т. е. находится в положении, при котором в идеальном случае энергия ЭМВ от метеоосадков в волновод не пройдет. Таким образом, сигналы, отраженные от метеообразований, будут подавлены.

Реальные цели не симметричны, поэтому при облучении ВС отраженный сигнал будет поляризован эллиптически. Пройдя тот же путь, что и e_m , отраженный сигнал e_c на выходе поляризатора образует линейно-поляризованную волну, характеризующуюся вектором e_c , который для рассматриваемого случая распространения ЭМВ расположен в любом направлении (также как и e_m)

в четвертом квадранте векторной диаграммы. Он может быть разложен на две составляющие, одна из которых будет параллельна узкой стороне волновода и, пройдя его, принесет полезную информацию о цели. Соотношение между составляющими зависит от формы цели и ее положения относительно фронта ЭВМ. Так как часть энергии отраженного сигнала пропадает, то это обуславливает уменьшение дальности при включении поляризаторов.

Поляризационные устройства. В качестве устройств, осуществляющих поляризационную селекцию, применяются фазовращатели различных типов, например, в виде поляризационной решетки или волноводных преобразователей с диэлектрическими или ферритовыми элементами, обеспечивающими поворот плоскости поляризации и управляемыми дистанционно. Так, в поляризационной решетке подбор наклона результирующего вектора E_p до положения, при котором подавление мешающих сигналов будет наибольшим, производится путем изменения угла наклона α пластин поляризационной решетки. Необходимость подбора угла α вызывается тем, что метеообразованием, особенно их крупные элементы, бывают несимметричными из-за влияния силы тяжести и ветра. Управляемые фазовращатели позволяют излучать сигналы любого вида поляризации и изменять направление вращения поляризации на обратное.

Поляризационная решетка представляет собой набор параллельных металлических пластин (см. рис. 6.3). Пластины, к которым от волновода подводится ЭМВ, имеют определенную протяженность и расположены на удалении a друг от друга. Размер a берут меньше длины волны, протяженность пластин принимается равной или кратной $\lambda/2$. Пространство между пластинами заполнено диэлектриком. Положение пластин (угла α) изменяется при круговом перемещении всего устройства перед волноводным излучателем. Поляризаторы в виде решетки используются в посадочных РЛС.

Преобразование линейно-поляризационной волны в круговую и обратно может производиться также в подводящих и отводящих прямоугольных и круглых секциях волноводов специальными диэлектрическими пластинами. Широко распространены волноводные фазовращатели без дополнительных вставок, в которых сдвиг фаз получается в волноводных каналах с регулируемой длиной и со скрутками волноводов. Такого типа фазовращатель имеется в ОРЛК-Т «Скала-М».

Эффективность поляризационной селекции. Эффективность работы поляризационных устройств оценивается коэффициентом подавления помех от метеообразований $K_{п.м}$, который представляет отношение мощности сигнала, отраженного от метеообразований при линейной поляризации волн $P_{м.л.п}$, к мощности сигнала, отраженного от того же метеообразования при круговой поляризации

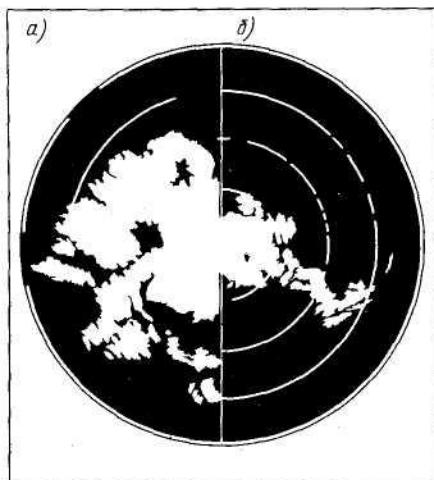


Рис. 6.5. Изображение сигналов, отраженных от метеорообразований при невключенном (а) и при включенном (б) поляризаторе

$P_{\text{м.к.п.}}$. Для получения результата в децибеллах выражение $K_{\text{п.м}}$ имеет вид $K_{\text{п.м}} = 10 \lg P_{\text{м.л.п.}} / P_{\text{м.к.п.}}$. Лучшие результаты по защите РЛС будут при мелком моросящем дожде и тумане, так как капли близки по форме к сфере. По мере увеличения интенсивности осадков их капли удлинняются, и эффективность защиты уменьшается. Вид экрана при невключенном поляризаторе показан на рис. 6.5, а, а при включенном — на рис. 6.5, б. При сильном дожде ослабление сигналов, отраженных от осадков, в современных РЛС будет около 18 дБ, при умеренном дожде 23...25, а при слабых осадках 35...40 дБ. При ливневых дождях включение поляризационных устройств практически не дает заметных результа-

тов. Считается, что при дожде коэффициент подавления в среднем равен 20...23 дБ, а при осадках в виде снега 8...12 дБ.

При оценке реального выигрыша за счет включения поляризационных устройств следует учитывать, что при переходе от линейной к круговой поляризации сигнал от цели ослабляется на 6...8 дБ, поэтому общий выигрыш будет меньше на эту величину. Кроме того, следует учитывать, что выигрыш уменьшается по мере увеличения расстояния до цели, так как мощность отраженного от метеорообразований сигнала растет из-за увеличения импульсного объема по углу.

Влияние атмосферных неоднородностей. В некоторых случаях при отсутствии в пространстве наблюдения РЛС реальных целей на экранах образуются отметки ложных целей, существующие длительное время и мешающие наблюдению. Эти отметки образуются атмосферными неоднородностями в той части пространства наблюдения, в которой ее физические свойства отличаются от свойств среды распространения ЭВМ, и вызывают изменение таких параметров, как электрическая и магнитная проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость.

Атмосферные неоднородности («ангелы») образуются в некоторых районах по утрам, под небольшими углами места, в теплое время года и исчезают после восхода солнца. Указанные закономерности образования отражений, а также условия возникновения атмосферных неоднородностей позволяют полагать, что

возникновение «ангелов» возможно из-за неравномерного нагрева земной поверхности в связи с различиями в рельефе местности, растительном покрове, характере грунта и т. д. Вследствие этого над некоторыми участками земли на высотах в десятки и сотни метров могут образовываться более прогретые области воздушной массы, которые «всплывают» в виде пузырей размерами в несколько десятков метров. Кроме того, причиной наблюдения отметок ложных целей могут быть стаи мигрирующих птиц, летающих на высоте 1500...2000 м, или скопление массы насекомых. Рассматриваемые мешающие сигналы образуются на дальностях в десятки километров и имеют интенсивность, меньшую, чем отражения ВС. Поэтому для борьбы с этими помехами используется временная регулировка усиления, изменяющая чувствительность приемника по программе — от минимальной на малой дальности до максимальной при расстоянии до цели в несколько десятков километров. От помех можно также избавиться небольшим увеличением угла места антенны, а также использованием дополнительных антенн с коэффициентом усиления на 15...20 дБ ниже, чем у основной антенны. Для борьбы с этими помехами могут также использоваться специальные узкополосные фильтры, у которых узкие полосы пропускания (гребенчатого вида) согласованы со спектральными линиями полезного сигнала.

6.2. Защита от помех, создаваемых отражениями от Земли, и местных предметов методами СДЦ

Физические основы селекции движущихся целей (СДЦ). При сканировании антенны РЛС ее ДНА облучает не только воздушное пространство, но и земную поверхность и местные предметы, расположенные в зоне обзора. Отражения от этих объектов образуют на входе РПУ мешающие сигналы, которые наблюдаются на экране индикатора на расстоянии до 100 км и более. В этой зоне без принятия специальных мер обнаружение сигналов, отраженных от ВС, невозможно. Одним из таких мероприятий является селекция сигналов от движущихся целей путем подавления сигналов, отраженных от неподвижных объектов, которая производится по параметрам отраженных сигналов, зависящих от скорости Цели. При работе импульсной РЛС по движущейся цели в отраженном сигнале по сравнению с излучаемым изменяются следующие параметры: период повторения $T_{\text{п}}$, длительность импульса τ и фаза ϕ , а следовательно, и частота сигнала f . Изменения $T_{\text{п}}$ и τ малы, поэтому их фиксация весьма затруднительна. Для селекции используется принцип выявления изменения разницы фазы сигнала, отраженного от движущейся и неподвижной цели, накапливающейся за время задержки t_3 отраженного сигнала.

Изменение частоты приближенно может быть объяснено следующим образом. Если объект облучения был бы неподвижен, то через него в каждую секунду проходило бы число волн падающего (излученного) колебания, равное $f_0 = c/\lambda$, где λ — длина волны РЛС; c — скорость ее распространения. Если цель (ВС) имеет скорость V_u и сближается с РЛС, имея угол q между вектором \vec{V}_u и направлением «РЛС — цель», т. е. с радиальной скоростью $V_p = V_u \cos q$, то через нее как бы будет проходить большее число волн, чем при неизменном расстоянии между объектами и РЛС. Это равнозначно увеличению числа колебаний, т. е. их частоты, которая будет пропорциональна скорости сближения, поэтому по аналогии с предыдущей зависимостью приращение частоты при сближении или удалении может быть записано $\Delta f_0 = \pm V_p/\lambda$. Для отраженного сигнала частота изменяется на ту же величину, что и для прямого. Вследствие этого суммарное изменение частоты принимаемого сигнала относительно излученного, называемое доплеровской частотой, имеет вид

$$F_q = \pm 2 \frac{V_u}{\lambda} \cos q.$$

При сближении $q < 90^\circ$, при удалении $q > 90^\circ$.

Изменение частоты колебаний при изменении расстояния между источником колебаний и приемником было открыто в 1842 г. австрийским физиком Доплером в звуковом диапазоне частот. В 1900 г. русский физик А. А. Белопольский экспериментально доказал справедливость этого закона для электромагнитных волн оптического диапазона.

Рассмотренные явления в литературе носят наименование эффекта Доплера или эффекта Доплера-Белопольского.

Доплеровские частоты для скоростей полета ВС лежат в диапазоне звуковых частот. Так, при $V_p = 100$ м/с и $\lambda = 10$ см имеем $F_d = 2000$ Гц.

Доплеровский сдвиг фаз зависит от значения доплеровской угловой частоты $\Omega_d = 2\pi F_d$ и от дальности РЛС — самолет в момент анализа наличия движения,

т. е. от времени задержки сигнала: $\Delta\varphi_d = \Omega_d t_d$.

Принцип использования для СДЦ фазовых различий прямого и отраженного сигналов. Для СДЦ не требуется определять скорости целей, достаточно установить, что объекты движутся. Этот факт устанавливается автоматически в приемном канале РЛС по наличию доплеровских биений частоты, возникающих при сложении близких по частотам

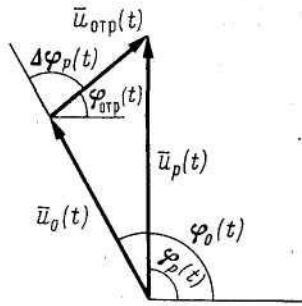


Рис. 6.6. Векторная диаграмма биений прямой и отраженной радиоволн

прямого и отраженного сигналов, путем сравнения на выходе РПУ амплитуд видеосигналов, полученных от неподвижных и движущихся целей. Для этого в РЛС запоминается частота излучаемого сигнала, называемого опорным $u_0(t)$. Физическая сущность процесса биений показана на рис. 6.6 в векторной форме. Результатом сложения векторов $u_0(t)$ и $u_отр(t)$, соответствующих мгновенным значениям прямого и отраженного сигналов, является вектор $u_p(t)$, значение которого зависит от сдвига фаз между опорным и отраженным сигналами: $\Delta\varphi_p(t) = \varphi_0(t) - \varphi_отр(t)$.

Текущие значения прямого $u_0(t)$ и отраженного $u_отр(t)$ сигналов можно записать:

$$u_0(t) = U_0 \cos \varphi_0(t); \quad u_отр(t) = U_отр \cos \varphi_отр(t) = u_отр \cos[\varphi_0(t) - \Delta\varphi_p(t)],$$

где U_0 и $U_отр$ — амплитуды прямого и отраженного сигналов.

Для краткости записи, опуская аргумент t , в результате сложения получим

$$u_p = \sqrt{u_0^2 + u_отр^2 - 2u_0 u_отр \cos(180^\circ - \Delta\varphi_p)}.$$

Учитывая, что $\cos(180^\circ - \Delta\varphi_p) = -\cos \Delta\varphi_p$,

$$u_p = u_0 \sqrt{1 + \left(\frac{u_отр}{u_0}\right)^2 + 2 \frac{u_отр}{u_0} \cos \Delta\varphi_p}.$$

Так как за счет потерь при распространении ЭМВ $u_отр \ll u_0$, то

$$u_p \approx u_0 \sqrt{1 + 2 \frac{u_отр}{u_0} \cos \Delta\varphi_p}.$$

По той же причине подкоренное выражение можно представить в виде полного квадрата суммы $(1 + (u_отр/u_0) \cos \Delta\varphi_p)^2$, поэтому

$$u_p \approx u_0 \left(1 + \frac{u_отр}{u_0} \cos \Delta\varphi_p\right).$$

После раскрытия скобок и введения аргумента t , предыдущее выражение запишется как

$$u_p(t) = u_0(t) + u_отр(t) \cos \Delta\varphi_p(t). \quad (6.5)$$

Интересующее нас напряжение биения результирующего сигнала $\Delta u_p(t)$ определяется разницей между текущими значениями напряжений результирующего $u_p(t)$ и опорного сигналов $u_0(t)$:

$$\Delta u_p(t) - u_0(t) = u_отр(t) \cos \Delta\varphi_p(t). \quad (6.6)$$

При отражении от неподвижного объекта, расположенного от РЛС на расстоянии R_n , изменение фазы сигнала зависит только от времени задержки сигнала $t_3 = 2R_n/c$:

$$\Delta\varphi_{p,n} = \omega_0 t_3 = 2\omega_0 \frac{R_n}{c},$$

где $\omega_0 = 2\pi f_0$ — угловая частота излучаемых колебаний.

Поэтому изменение напряжения результирующего сигнала при неподвижном объекте записывается следующим выражением для гармонического немодулированного сигнала:

$$\Delta u_{p,n}(t) = u_{отр}(t) \cos \omega_0 \frac{2R_n}{c}. \quad (6.7)$$

Амплитудная диаграмма колебаний $\Delta u_{p,n}$ по выражению (6.7) представлена на рис. 6.7, а, где 1 — это $\Delta u_{p,n}$, которая имеет огибающую в виде штриховой линии 2, что свидетельствует о том, что модуляции нет, т. е. доплеровская составляющая отсутствует.

При отражении от движущегося объекта, расположенного на расстоянии $R_{дв}$, фаза изменяется во времени:

$$\Delta\varphi_{p,дв} = \Delta\varphi_n \pm \Delta\varphi_{дв} = \omega_0 \frac{2R_{дв}}{c} \pm \Omega_d t_3.$$

Выражение, характеризующее изменение амплитуды результирующего колебания при движущемся объекте наблюдения, имеет вид

$$\Delta u_{p,дв}(t) = u_{отр}(t) \cos \left(\omega_0 \frac{2R_{дв}}{c} \pm \Omega_d t_3 \right). \quad (6.8)$$

Из формулы (6.8) видим, что с течением времени значение $\Delta u_{p,дв}(t)$ изменяется. Амплитудная диаграмма $\Delta u_{p,дв}(t)$ приведена в виде колебаний 1 на рис. 6.7, б. Огибающая этих колебаний 2 модулирована доплеровской угловой частотой Ω_d и имеет амплитуду модуляции U_d . После детектирования $\Delta u_{p,дв}(t)$ на выходе детектора получим напряжение колебаний доплеровской частоты, где t текущее время:

$$u_d(t) = U_d \cos \left(\omega_0 \frac{2R_{дв}}{c} \pm \Omega_d t \right).$$

Модуляция этими колебаниями импульсов пачки отраженных сигналов свидетельствует о наличии движения цели, что и используется для СДЦ. Элемент приемника, в котором происходят смешивание прямого и отраженного сигналов и последующее детектирование напряжения Δu_p , называется фазовым детектором, а устройство, использующее указанное явление и устраняющее

сигналы от неподвижных целей, называется черезпериодным компенсатором.

Слепые скорости. Если цель имеет такую скорость, что она перемещается в радиальном направлении на расстоянии $\lambda/2$ или ему кратное за один период повторения T_n , т. е. от одного облучения до другого, то в отраженном сигнале за это время по сравнению с фазой излученного сигнала фаза изменится на 2π или кратную 2π величину, так как общий путь прямого и отраженного сигнала изменится на λ или $n\lambda$, где $n = 1, 2, 3, \dots$. В этом случае амплитуды пачки сигналов на выходе фазового детектора будут одинаковы и поэтому выявить доплеровские колебания окажется невозможным, цель будет как бы неподвижной. Скорости целей, соответствующие такому соотношению между длиной волны и периодом повторения, называются слепыми. Определим эти скорости. Так как по приведенному выше условию за время T_n цель пройдет расстояние $n \frac{\lambda}{2}$, то

$$V_p = \frac{n \frac{\lambda}{2}}{T_n} = n \frac{\lambda}{2} F_n.$$

Здесь n соответствует первой, второй и т. д. «слепым» скоростям. Значит слепым скоростям соответствуют частоты, кратные F_n , т. е. $F_{д.сл.л} = nF_n$.

Защита от слепых скоростей может быть осуществлена несколькими методами. Их основой является неоднородность работы РЛС или устройств обработки информации. Этот принцип может быть осуществлен: изменением частоты повторения зондирующих импульсов, работой РЛС на нескольких частотах излучения, использованием при выделении F_d опорных сигналов, сдвинутых по фазе на 90° . По нормам СЭВ, ранее принятым для ГА, диапазон скоростей, свободный от слепых скоростей, 500...3600 км/ч для трассовых РЛС и до 1500 км/ч для аэродромных.

Структура и функционирование импульсных РЛС с СДЦ. РЛС ГА используют некогерентные импульсные сигналы, фазы колебаний несущей частоты которых в последовательности импульсов различны. Для определения доплеровской частоты необходимо, чтобы опорный и отраженный сигналы были когерентны, т. е. имели одинаковые разности фазы в реализациях этих колебаний за один и тот же промежуток времени или закон изменения фазы был бы

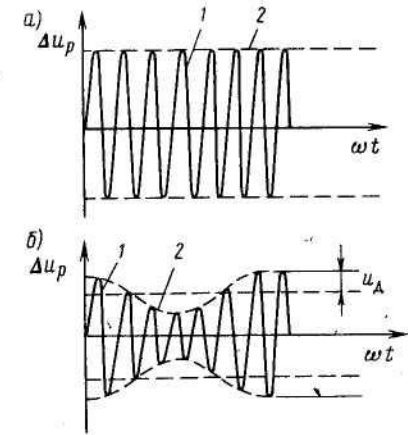


Рис. 6.7. Диаграмма доплеровских биений непрерывного гармонического сигнала при неподвижной (а) и при движущейся цели (б)

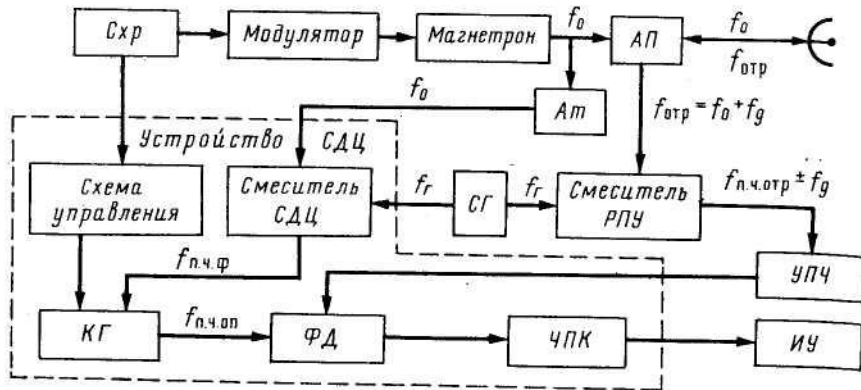


Рис. 6.8. Структурная схема РЛС с СДЦ и ВЧ-генератором на магнетроне

известен, точнее разности фаз в реализациях этих колебаний за одно и то же время наблюдения были одинаковыми. Иначе доплеровский уход частоты среди возможных из-за различных нестабильностей больших уходов частоты между некогерентными сигналами не может быть зафиксирован. Когерентность колебаний может быть обеспечена применением высокостабильных по частоте передатчиков или запоминанием начальной фазы колебаний в каждом из последовательности зондирующих импульсов. Создание и эксплуатация РЛС с высокостабильными ВЧ-генераторами весьма затруднительны, поэтому используют РЛС с запоминанием начальной фазы.

Создание устройств, запоминающих и обрабатывающих сигналы на высокой частоте, технически очень сложно. Проще решить эту задачу на промежуточной частоте. Этот способ реализован в РЛС УВД.

Рассмотрим структурную схему такой РЛС, имеющей ВЧ-генератор на магнетроне (рис. 6.8). Схема отличается от рассмотренной ранее наличием в ней устройства СДЦ, обеспечивающего запоминание фазы на промежуточной частоте, смешивание отраженного и прямого сигнала и их обработку для выделения тех, которые несут информацию о подвижных целях.

Приход отраженного от цели сигнала возможен в любой момент периода повторения T_n , поэтому начальная фаза зондирующего сигнала с несущей частотой f_0 должна запоминаться на время T_n . Запоминание производится с помощью специального маломощного генератора-когерентного гетеродина $КГ$, запускаемого от синхронизатора $Схр$ одновременно с передатчиком. Когерентный гетеродин вырабатывает импульсы колебаний длительностью T_n на промежуточной частоте, которые используются в качестве опорных $f_{п.ч.оп}$ в фазовом детекторе $ФД$. Когерентность колебаний,

получаемых в $КГ$, колебаниям в ПЧ-тракте отраженного сигнала обеспечивается навязыванием колебаниям $КГ$ начальной фазы зондирующего сигнала f_0 с помощью сигнала с частотой $f_{п.ч.ф}$. Для этого с помощью аттенюатора $Ат$ (ослабителя) отводится часть энергии зондирующего импульса и направляется на смеситель СДЦ, где вырабатывается промежуточная частота $f_{п.ч.ф}$, имеющая ту же начальную фазу, что и зондирующий сигнал. Для обеспечения когерентности колебаний, получаемых от смесителя канала СДЦ и из тракта отраженного сигнала, оба получают колебания частотой $f_г$ от общего стабильного гетеродина $СГ$. Обычно в качестве смесителя СДЦ используется смеситель устройства автоматической подстройки частоты магнетрона.

Сигнал с выхода смесителя РПУ будет отличаться по частоте от сигнала $f_{пч}$, если отраженный сигнал получен от движущейся цели, т. е. $f_{отр} = f \pm F_d$.

На рис. 6.9 и 6.10 изображены результаты сложения в $ФД$ импульсной РЛС напряжений опорного и отраженных сигналов.

Видеоимпульсы u_d с выхода $ФД$ подаются на череспериодный компенсатор $ЧПК$, в котором производится выделение сигналов от движущихся объектов путем использования амплитудных признаков, отличающих эти сигналы от сигналов неподвижных целей. Сигналы $u_{вых}$ от $ЧПК$ подаются на индикаторное устройство или в линию передачи данных. В РЛС, имеющих передатчик на клистронах, т. е. схему «задающий генератор — умножитель частоты — усилитель мощности», например, в такой, как РЛК «Скала», устройство СДЦ имеет несколько иную структуру, которая показана на рис. 6.11.

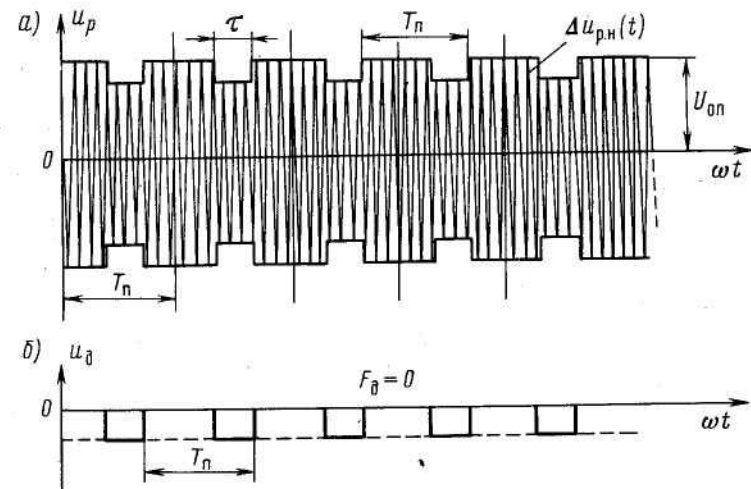


Рис. 6.9. Диаграмма доплеровских биений в импульсной РЛС при неподвижной цели: а — на выходе УПЧ; б — на выходе детектора

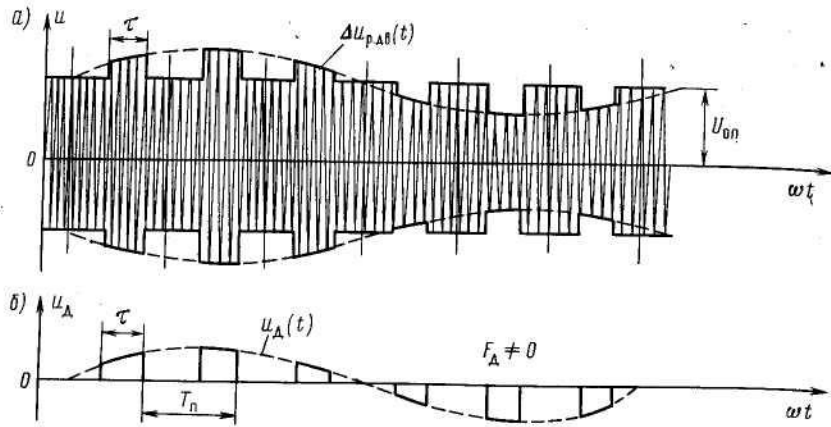


Рис. 6.10. Диаграмма доплеровских биений в импульсной РЛС при движущейся цели: а—на выходе УПЧ; б—на выходе детектора

Работа устройства ЧПК (рис. 6.12, а) основана на преобразовании, а затем сравнении методом компенсации напряжений двух пачек импульсов, поступающих от ФД: одной — после задержки импульса на один период, второй — без задержки. Сравнение заключается в поочередном вычитании видеоимпульсов периода N (рис. 6.12, в) из задержанных импульсов периода $N-1$ (рис. 6.12, б). Импульсы от неподвижных целей (светлые) имеют одинаковую амплитуду в обоих периодах, а от движущейся цели (темные) имеют различные амплитуды, а возможно и разные полярности, поэтому останутся некомпенсированные сиг-

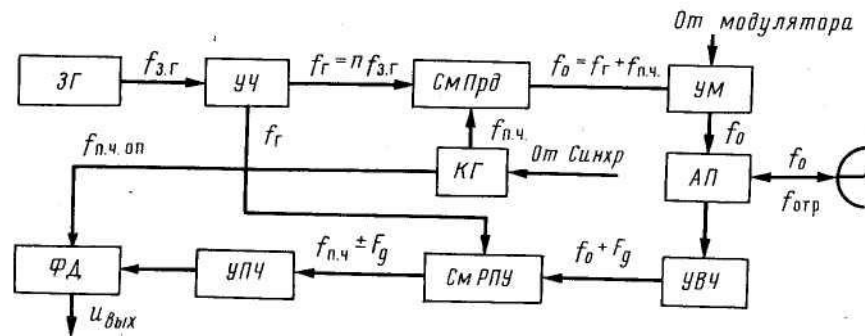


Рис. 6.11. Структурная схема РЛС с устройством СДЦ и ВЧ-генератором на клистроне: ЗГ — задающий генератор; УЧ — умножитель частоты; СмПрд — смеситель передатчика; УМ — умножитель мощности; КГ — когерентный гетеродин; АП — антенный переключатель; ФД — фазовый детектор; УПЧ — усилитель промежуточной частоты; СмРПУ — смеситель радиоприемного устройства; УВЧ — усилитель высокой частоты

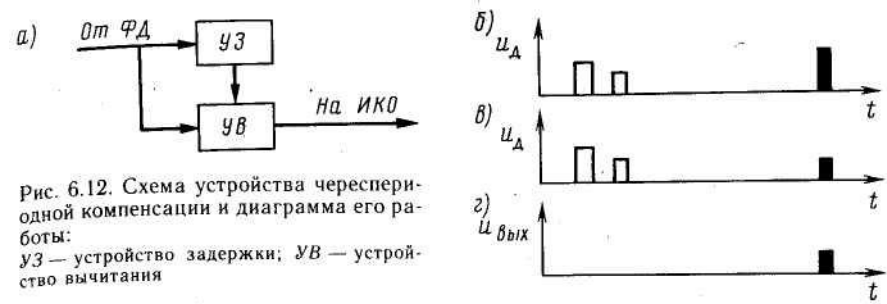


Рис. 6.12. Схема устройства череспериодной компенсации и диаграмма его работы: УЗ — устройство задержки; УВ — устройство вычитания

налы (рис. 6.12, з), а сигналы от помех (неподвижных целей) при идеальной работе ЧПК отсутствуют.

Для улучшения выделения сигналов движущихся объектов и компенсации мешающих сигналов обычно используют последовательно включенные двойные и даже тройные схемы ЧПК. Для обеспечения вычитания в ЧПК используются устройства запоминания или задержки. Они могут быть аналоговыми, цифровыми или дискретно-аналоговыми.

Аналоговые устройства запоминания и задержки. Задержку сигналов можно осуществлять методом их запоминания или задержки на время T_n . Для запоминания используют ЭЛТ с долговременной памятью. В них в $N-1$ периоде луч ЭЛТ записывает на веществе экрана сигналы в виде потенциальных отметок, а в следующий N -й период сигналы считываются и подаются на вычитающее устройство, куда поданы также сигналы, полученные в N -й период.

Для задержки импульсов применяют твердотельные ультразвуковые линии задержки (рис. 6.13). В линии задержки сигнал распространяется со скоростью меньше световой приблизительно в 10^5 раз, что и обеспечивает задержку сигнала во времени. УЛЗ — это пластины из магниевого сплава, кристаллов солей или другого материала, в которых распространяются механические колебания ультразвуковой частоты (УЗЧ). Поэтому сигналы, полученные с фазового детектора РПУ, вначале преобразуются в колебания промежуточной, а затем в колебания УЗЧ — пьезоэлектрическими преобразователями. Колебания направляются внутри тела пластины так, чтобы они многократно переотражались, тем самым удлиняя путь для обеспечения необходимой задержки.

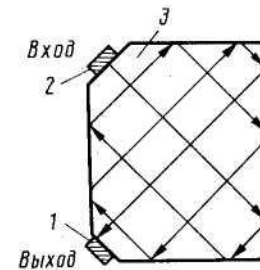


Рис. 6.13. Схема ультразвуковой линии задержки: 1 и 2 — пьезоэлектрические преобразователи; 3 — твердотельная линия задержки

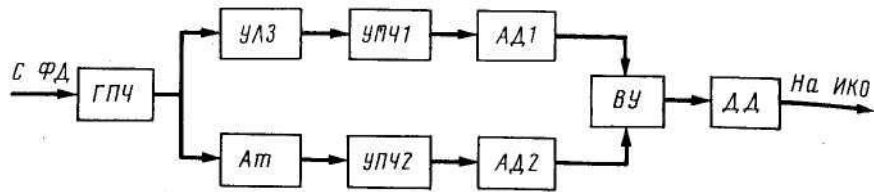


Рис. 6.14. Структурная схема устройства ЧПК:
 ГПЧ — генератор промежуточной частоты; ЛЗ — линия задержки; Ат — аттенюатор (ослабитель); УПЧ1, УПЧ2 — усилители промежуточной частоты; ВУ — вычитающее устройство; ДД — двухтактный детектор

Устройство ЧПК, в котором используется УЛЗ, приведено на рис. 6.14. На его входе имеется генератор промежуточной частоты ГПЧ, модулируемый импульсами с ФД. Полученные импульсы ПЧ направляются в два канала: с задержкой и без задержки. Так как второй канал не имеет УЛЗ, то для идентичности обоих каналов во втором из них для имитации ослабления сигнала в УЛЗ имеется аттенюатор. Колебания УЗЧ возбуждаются в расположенной на входе УЛЗ пластине кристаллического кварца (см. рис. 6.13, поз.-1) импульсами с ГПЧ с помощью пьезоэффекта, при котором электромагнитные колебания возбуждают ультразвуковые, т. е. механические колебания. Эти колебания внутри УЛЗ доходят до выходной кварцевой пластины (см. рис. 6.13, поз. 2) и преобразуются в электромагнитные колебания ПЧ. В УПЧ1 и в УПЧ2 колебания ПЧ (рис. 6.14) усиливаются, а затем детектируются и подаются на устройство вычитания ВУ. Так как результаты вычитания могут иметь разную полярность, то они подаются на двухтактный детектор ДД, а затем, после дополнительного усиления - на ИКО или другие выходные устройства. В хорошей аппаратуре ЧПК нескомпенсированные напряжения на выходе могут быть до 45 дБ от напряжения на входе. Для обеспечения идентичности каналов в незадерживающий канал введены аттенюатор Ат (на 40...80 дБ) и УПЧ, которые имитируют процесс в канале с задержкой. Нескомпенсированные видеоимпульсы, полученные от движущихся целей с выхода вычитающего

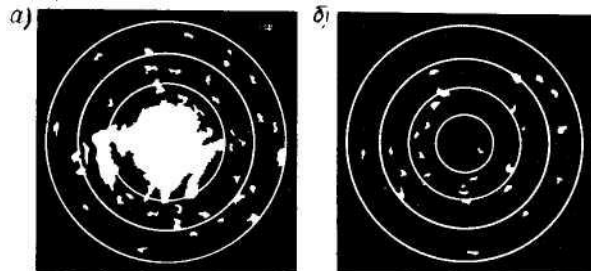
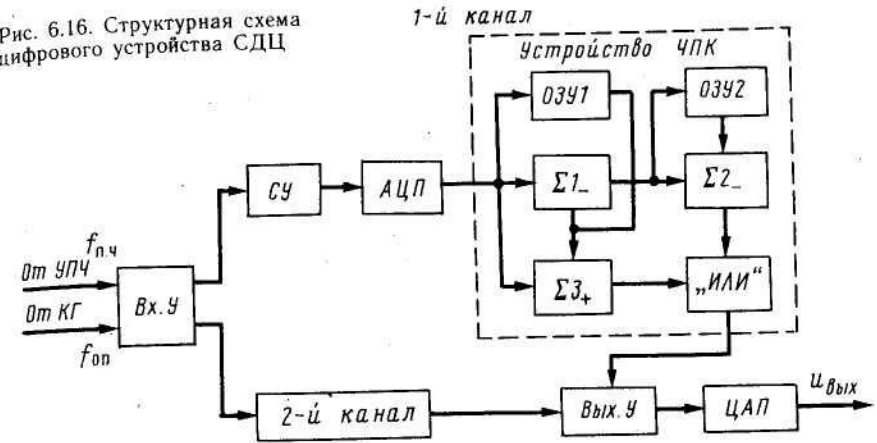


Рис. 6.15. Изображение экрана индикатора РЛС при невключенной (а) и при включенной схеме СДЦ (б)

Рис. 6.16. Структурная схема цифрового устройства СДЦ



устройства ВУ, идут на выходные устройства РЛС. Результат работы устройства СДЦ показан на рис. 6.15.

Цифровая селекция движущихся целей. Структуру и работу цифрового устройства СДЦ рассмотрим на базе схем, использованных в ОРЛС-А «Онега» (рис. 6.16). В этих устройствах напряжения видеоимпульсов с выхода ФД преобразуются в цифровые двоичные коды в аналого-цифровом преобразователе АЦП. Фазовый детектор размещается во входном устройстве Вх.У цифрового селектора. На него поступают опорные сигналы от КГ и сигналы от УПЧ приемника РЛС. Входное устройство СДЦ двухканальное с двумя ФД. На один из них подается синусоидальное опорное напряжение, а на второй — косинусоидальное, т. е. они работают в квадратуре друг относительно друга.

Введение дополнительного второго канала, работающего в квадратуре с первым, позволяет увеличить соотношение P_c/P_n , а также устраняет слепые скорости, так как из-за сдвига на 90° опорных колебаний зоны слепых скоростей (т. е. слепых фаз) одного из каналов соответствуют зонам максимальной чувствительности ФД другого канала.

На цифровую часть устройства ЦСДЦ сигналы с Вх.У поступают через согласующее устройство СУ, в котором производится временная дискретизация входного сигнала и улучшение отношения P_c/P_n . Оптимальным значением дискрета обработки t_d является длительность зондирующего импульса τ . В этом случае отношение P_c/P_n в анализируемом отрезке входного сигнала максимально. Повышение отношения мощностей P_c/P_n в СУ достигается интегрированием поступающего входного сигнала за время τ . Согласующее устройство — двухканальное, каналы работают поочередно. Этим обеспечивается непрерывная обработка поступающего сигнала. В одном канале идет интегрирование, в другом

хранение, считывание и стирание информации. Далее сигналы поступают на АЦП. В нем решаются две задачи: автоматически измеряется интенсивность и устанавливается полярность сигнала а затем эти результаты переводятся в двоичные коды. В этом коде n разрядов предназначено для кодирования амплитуды а $(n+1)$ -й разряд — для кодирования полярности сигнала, так как доплеровская последовательность импульсов — биполярная Код — двоичный, параллельный.

Число разрядов кода n определяет дискретность квантования входного сигнала по уровню, т. е. точность фиксации его интенсивности. В РЛС «Онега» используется $n+1=8$ разрядов что обеспечивает фиксацию амплитуды с точностью $1/128$ максимального значения сигнала ($2^7=128$).

С АЦП коды подаются на двукратное устройство ЧПК, которое состоит из оперативных запоминающих устройств ОЗУ1 и ОЗУ2 и алгебраических сумматоров $\Sigma 1.$ и $\Sigma 2.$ В ОЗУ происходит запоминание n -разрядных кодов сигналов на период повторения T_p . Синхронизация работы ОЗУ осуществляется от синхронизатора РЛС. На сумматоре $\Sigma 1.$ сигнал N -го периода зондирования алгебраически складывается с задержанным, полученным в $N-1$ -м периоде. Результат сложения идет на второй каскад устройства ЧПК. С выхода сумматора $\Sigma 2.$ цифровые коды направляются через схему «ИЛИ» на выходное устройство Вых.У.

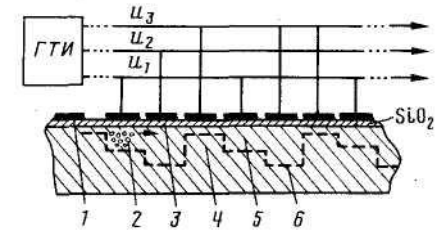
Результаты обработки после вычитания (одно- или двукратного) каждого из каналов в выходном устройстве возводятся в квадрат, суммируются, а затем из результата извлекается квадратный корень. После этого цифровой сигнал в цифроаналоговом преобразователе ЦАП превращается в аналоговое напряжение u_{Σ} , несущее информацию о движущихся целях. С выхода ЦАП аналоговый сигнал u_{Σ} , следующий через время задержки t_z за синхроимпульсом, поступает на выходное устройство РЛС. и на контрольный индикатор.

В устройстве СДЦ имеется также канал, синтезирующий амплитудный сигнал на сумматоре $\Sigma_{3(+)}$ из прямого от АЦП и задержанного с ОЗУ1. Накопленные путем сложения кодов за два периода сигналы с этого канала подаются на ЦАП через схему «ИЛИ» в случае отсутствия сигналов на выходе сумматора $\Sigma_{2(-)}$. Этим обеспечивается наблюдение сигналов от целей с нулевыми радиальными скоростями.

Дискретно-аналоговые задерживающие устройства в ЧПК.

В 1969 г. были предложены приборы с зарядовой связью (ПЗС) между их элементами, каждый из которых выполняет ту же роль, что и элементы сдвигающего регистра в цифровом запоминающем устройстве. В этих устройствах видеосигналы перемещаются в элементах схемы дискретно во времени под воздействием тактовых импульсов, а амплитуда сигналов запоминается в аналоговом виде..

Рис. 6.17. Схема прибора задержки видеосигнала с зарядовой связью: 1— металлические электроды; ГТИ— генератор тактовых импульсов; 2— элементарные заряды (электроны); 3— подложка из двуокиси кремния; 4— подложка p -переходов; 5— потенциальная «яма» (область до границы потенциального рельефа); 6— потенциальный рельеф прибора задержки сигнала



ПЗС (рис. 6.17) являются полупроводниковыми структурами типа «металл — диэлектрик» (МДП) и относятся к схемам высокой степени интеграции до 10^5 элементов в кристалле. В приборах для помещения информации между его элементами используется явление p -перехода зарядов, так называемые дырочные переходы, т. е. с дефицитом носителей — электронов. Переходы обеспечиваются подложкой p -типа, на которой расположена другая подложка, например, из двуокиси кремния SiO_2 , на которой размещены близко друг от друга металлические электроды. Переменением информации управляет генератор ГТИ тактовых импульсов. Первый тактовый импульс u_1 образует за подложкой в районе электрода область, обедненную электронами (потенциальную «яму»), а которую входным сигналом вводятся электроны в количестве, пропорциональном интенсивности сигнала. Второй тактовый импульс создает потенциальную «яму» более глубокую, что обеспечивает переход в нее электронов из первой «ямы», а следовательно, и введенной информации. Под первым электродом «яма» освободится, когда ее заряд достигнет третьего электрода. Этот электрод и третий тактовый импульс служат для обеспечения однонаправленности передачи информации. Задержка $t_z = nT_t$, где T_t — период следования тактовых импульсов, а n — число элементов ПЗС. Задержку можно регулировать путем изменения T_t . В настоящее время испытаны линии задержки с ПЗС, имеющие до 1000 разрядов. Значение T_t ограничивается скоростью протекания и перехода зарядов, а значит и информации в элементе полупроводника. Возможно получение $T_t = 0,1$ кГц. Потери достигают $10^{-3} \dots 10^{-4}$ от входного сигнала, что ограничивает общее время задержки. Задержка имеет высокую стабильность, устройство — малые габаритные размеры, невысокую стоимость и техническую простоту, используется в ОРЛС-А «Экран-85».

Качество работы РЛС с СДЦ. Качество работы системы СДЦ оценивается двумя критериями. Один из них называется коэффициентом подавления помех, т. е. сигналов от неподвижных целей, который равен отношению мощностей помех на входе $P_{п.вх}$ и на выходе $P_{п.вых}$ системы СДЦ. В децибеллах это отношение имеет вид $K_n = 10 \lg(P_{п.вх}/P_{п.вых})$, где $P_{п.вых}$ — мощность нескомпенсированных остатков сигнала неподвижных целей на выходе

системы подавления. Наличие остатков объясняется флюктуациями помеховых сигналов.

Вторым критерием принят коэффициент подпомеховой видимости $K_{п.в}$, который определяется, как отношение мощностей помехи и полезного сигнала на входе системы СДЦ, при котором обнаруживается сигнал от ВС с заданными характеристиками обнаружения ($P_{п.о}$ и $P_{л.т}$):

$$K_{п.в} \text{ (дБ)} = 10 \lg (P_{п.вх} / P_{с.вх})$$

где $K_{п.в}$ выражен в децибеллах.

В эксплуатируемых РЛС коэффициент $K_{п.в}$ — 15...25 дБ а $K_{п.в} = 15...39$ дБ.

Перспективы развития устройств СДЦ. В системах УВД широкое применение РЛС с СДЦ началось с 50-х годов. В первом поколении РЛС («Утес», П-37, ДРЛС-7, «Иртыш») в ЧПК использовались аналоговые принципы задержки и вычитания сигналов, во втором поколении (РЛК типа «Скала») применяются цифровые СДЦ. Нормами предусматривается $K_{пп} = 35$ дБ, что близко к расчетному в случае идеального линейного тракта прохождения сигналов и помех в приемнике.

В следующем поколении РЛС предполагается применение адаптивных (adaptio — лат., прилаживание, приспособление) методов и устройств. С их помощью будет решаться задача анализа и оценки помеховой обстановки в различных элементах облучаемого пространства, а также автоматическое реагирование на ее изменения. В связи с перемещением зондирующего импульса по дальности и азимуту по различной подстилающей поверхности засветка экрана будет неравномерной — от мест сплошной засветки до темных, т. е. незасвеченных мест. В обычных устройствах СДЦ на всю зону засветки устанавливается строб по дальности, в пределах которого обрабатываются сигналы, прошедшие СДЦ, а вне строба получают и обрабатывают видеосигналы из амплитудного канала. Имеются РЛС, где границы стробов изменяются для различных сочетаний используемых каналов РЛС и методов обработки сигналов (РЛК «Утес», «Скала»). При этих методах часть сигналов, которые могут быть получены из зон, свободных от помех, также подвергается обработке, что ухудшает интенсивность сигналов. Потери можно значительно уменьшить путем запоминания карты помех, используемой для введения в обычную амплитудную обработку видеосигналов из тех зон, где помехи отсутствуют. Карта помех должна обновляться в каждом периоде обзора РЛС автоматически, так как интенсивность помех все время изменяется. Для запоминания карты помех ранее использовались запоминающие ЭЛТ, а в настоящее время цифровые устройства (в РЛС «Скала-МПР») и устройства, использующие приборы с зарядовой связью (в РЛС «Экран-85»)-

В перспективных схемах анализа помех широко будут применяться спектральные методы их селекции, которые позволяют различать зоны, свободные от помех, от зон с помехами от земной поверхности и от метеообразований, от повторных и многократных переотражений при аномальном распространении (это помехи на последующих ходах развертки дальности), от птичьих стай и насекомых, а также от других РЛС (несинхронные помехи).

6.3. Электромагнитная совместимость РЭС

Для обеспечения подхода, взлета и посадки ВС необходимо одновременно функционирование многих наземных и бортовых радиоэлектронных средств (РЭС), работающих в ограниченном, выделенном для РЭС ГА частотном диапазоне. Поэтому возникает проблема обеспечения их совместной работы, называемая электромагнитной совместимостью (ЭМС). При решении этой задачи необходимо иметь в виду, что передатчики РЭС, кроме основного, имеют неосновные (побочные) излучения. Возникновение побочных излучений вызвано нелинейными процессами, возникающими при прохождении токов высокой частоты в этих устройствах, а также процессами модуляции сигналов в передатчике из-за паразитных воздействий флюктуационного шума и фона. Неосновное излучение может иметь большие мощности. Даже по установленным международным нормам оно может составлять в широкой полосе частот до 1 % мощности передатчика. Например, РЛС с большими мощностями передатчиков даже на третьей гармонике могут излучать десятки киловатт, на четвертой — сотни ватт, а на частотах между гармониками — десятки ватт. Учитывая, что задний и боковые лепестки имеют ослабление всего лишь 20...25 дБ от основного, получим, что мощности неосновных излучений во всех направлениях очень большие.

Радиоприемные устройства из-за нестабильности передатчика РЛС и гетеродина РПУ обычно имеют полосу пропускания более широкую, чем это требуется для приема сигнала и, кроме того, имеют неосновные каналы приема (побочные и внеполосные). Побочные каналы приема образуются вследствие несовершенства амплитудно-частотных характеристик фильтров приемника, а внеполосные — из-за нелинейности смесительных и некоторых усилительных каскадов. Все это приводит к тому, что при совместной эксплуатации РЭС между ними могут возникать взаимные помехи, причем суммарная их интенсивность может быть значительной.

Наиболее часто встречающиеся импульсные помехи от РЛС на экранах имеют вид спиралей, состоящих из отдельных отметок, которые перемещаясь по экрану, могут объединяться в сплошные



Рис. 6.18. Вид помехи от импульсной РЛС на экране индикатора

области (рис. 6.18), перекрывая в ряде случаев значительную часть экрана, затрудняя обнаружение целей и утомляя оператора.

В районах расположения РЛС могут находиться промышленные источники высокочастотных помех, такие, как высокочастотные промышленные установки, устройства электросварки, системы зажигания автотранспорта. Помехи могут возникать также из-за искрения коллекторов и контактных устройств, переключателей линий электропередачи и токосъемников. Эти помехи создают электромагнитные высокочастотные излучения и называются индустриальными.

Они не являются определяющими для РЛС УВД, так как РЭС УВД и установки — возможные источники помех размещают таким образом, чтобы они не создавали существенных помех. Взаимные помехи могут привести к задержке обнаружения цели, т. е. к уменьшению дальности действия РЛС, появлению на индикаторе ложных целей, искажению передаваемой по радиорелейным линиям информации, погрешностям в определении отклонения ВС от линии курса и глассады, к неразборчивости радиотелефонных передач.

Принципы определения наличия и интенсивности взаимных помех.

Помеховые воздействия возможны в том случае, если совпадают или частично перекрываются полосы частот излучаемых сигналов и приемных каналов. Возможны помехи по соседним каналам. Они лежат вне узкополосного фильтра промежуточной частоты (ПЧ), но внутри широкополосного входного фильтра приемника. В супергетеродинных приемниках эти помехи после преобразования в смесителе не попадают в полосу фильтра ПЧ, однако, подходя одновременно с сигналом к УПЧ, будут уменьшать усиление УПЧ и увеличивать внутренние шумы приемника, преобразуя в смесителе некоторую часть энергетического спектра шумов гетеродина в напряжение ПЧ. Имеются также помехи от сигналов вне полосы пропускания входных контуров приемника, взаимодействующие с гармониками частот гетеродина, но их влияние меньше, чем ранее названных.

Помеха может проникнуть в приемник РЛС в том случае, если сигналы помех будут превышать пороговую чувствительность приемника, поэтому при оценке условий ЭМС должна быть дана энергетическая оценка возможности превышения помехой порога.

Для расчета мощности сигнала на входе приемника необходимо учесть следующие основные параметры: мощность мешающего передатчика $R_{\text{Прд}}$; усиление передающей антенны в направлении приемника $G_{\text{Прд}}$; усиление приемной антенны в направлении передающей антенны $G_{\text{Прм}}$; различные виды потерь энергии между передатчиком и приемником L_n .

Если значения указанных параметров привести в децибеллах, то мощность мешающего сигнала на входе приемника РЛС

$$P_{\text{Прм}} = P_{\text{Прд}} + G_{\text{Прд}} + G_{\text{Прм}} - L_n,$$

где $L_n = K_p K_n K_f K_k$; K_p — множитель затухания при распространении ЭВМ; K_n — множитель, учитывающий разницу в поляризациях приемного и передающего каналов; K_f — множитель, учитывающий несовпадение ширины полос Δf излучаемого $f_{\text{Прд}}$ и принимаемого $f_{\text{Прм}}$ сигналов; $K_f = 10 \lg(\Delta f_{\text{Прм}}/\Delta f_{\text{Прд}})$ при $\Delta f_{\text{Прд}} > \Delta f_{\text{Прм}}$; K_k — множитель, учитывающий уменьшение мощности сигналов неосновного канала, относительно основного при передаче и приеме.

При проведении указанных оценок обращается внимание на зависимость уровня помех от времени суток, например в связи с изменением числа работающих РЛС, на условия распространения радиоволн в различное время года, возможности многократного воздействия мешающего сигнала, возможности и время совпадения основных и боковых лепестков ДН оцениваемых пар РЛС. Важным является также учет результативности мер защиты от помех, принятых в оцениваемых РЛС. Так, например, необходимо учитывать число накапливаемых импульсов, которое будет зависеть от угловой скорости вращения антенны и ширины их ДН.

При оценке $P_{\text{Прм}}$ учитывают как основные, так и неосновные каналы излучения и приема, т. е. все возможное ij -е пары одновременно работающих каналов различных РЛС. Поэтому результирующая мощность помех, воздействующих на оцениваемый приемник, $P_{\Sigma} = \sum_i \sum_j P_{\text{Прм}ij}$. ДНА имеют значительные перепады коэффициентов направленного действия в секторе их сканирования, а сканирование антенн в пространстве не синхронизовано, поэтому экраны РЛС могут быть как свободными от помех, так и засвеченными. Поэтому, кроме оценки энергетических соотношений помехи и порога, весьма важным является определение времени, в течение которого помеховые сигналы превышают порог. Эта оценка может быть получена на основании известных угловых скоростей антенн совместно работающих РЛС. Оценку потерь времени за один обзор можно получить из соотношения времени, затрачиваемого на развертку луча индикатора в секторе сканирования, и времени прохождения этим лучом секторов, засвеченных помехой, или по отношению угла сканирования к суммарному углу засветки.

Из уравнения расчета интенсивности помехового воздействия следует, что для того, чтобы оно отсутствовало, необходимо

размещать передатчики и приемники на таком расстоянии друг от друга, когда выполняется условие, что мощность помехового сигнала будет ниже пороговой чувствительности приемника.

Если по каким-либо соображениям мешающие РЛС не могут быть установлены на расчетном расстоянии, то для получения требуемого ослабления необходимо уменьшить сигнал, излучаемый передатчиком. Эта задача может быть решена путем использования разноса РЛС по частоте излучения на величину Δf , обеспечивающую получение необходимого дополнительного ослабления. Практически эта задача решается определением Δf по полученному значению $L_{\text{доп}}$, для чего используют амплитудно-частотную характеристику приемного устройства. Некоторые приемные и передающие устройства могут иметь до 5...10 неосновных каналов приема и излучения. Из этого следует, что объем работы по оценке условий ЭМС требует применения ЭВМ.

Методы защиты от помех, обеспечивающие ЭМС. Защита от взаимных помех основывается на различии структуры и закономерностей изменения параметров полезных сигналов и помех.

В РЛС УВД ГА используются импульсные методы формирования сигналов. В аэропортах имеется также ряд РТС, которые создают непрерывные сигналы с различными видами модуляции. Создаваемые вследствие работы РЭС помехи по суммарным результатам воздействия близки к флюктуационным. Поэтому все меры, принимаемые для повышения помехоустойчивости РЛС, являются одновременно и мерами по защите от взаимных помех. Назовем их: предотвращение перегрузки приемников, компенсационные методы с использованием дополнительных приемников и антенн (например, в ВРЛ), различные виды селекции: частотная, фазовая, временная, амплитудная (по уровню сигналов и методам накопления), кодовая, по частоте повторения, структурная (по отличию структуры сигнала и помехи), а также различные комбинации этих видов селекции. Эти меры обеспечивают уменьшение влияния проникшей в приемник помехи, но до этого должны быть приняты меры по ослаблению возможного воздействия взаимных помех. Это достигается проведением следующих организационно-технических мероприятий:

рациональным распределением частот в выделенном частотном диапазоне, а также маневрированием частотами, т. е. изменением частот некоторых РТС по мере их включения. Однако эти возможности невелики, так как рабочие частоты назначаются централизованно Государственной инспекцией электросвязи, и диапазон их возможного оперативного и неоперативного изменения невелик;

определением целесообразного размещения РТС на местности, обеспечивающего минимальный уровень сигналов каждого из средств на входах приемников других. Реально размещение про-

водится в соответствии с Нормами технологического проектирования;

изысканием возможностей разделения работы мешающих друг другу средств во времени;

определением ответственных секторов различных РТС, т. е. обеспечением избирательности по направлению.

Ни одному из указанных мероприятий невозможно отдать предпочтение. Только при одновременном проведении всех целесообразных в данных конкретных условиях мероприятий на основе ранее изложенной методики оценки условий ЭМС возможно обеспечить нормальную эксплуатацию РЛС УВД.

Индустриальные помехи не являются определяющими при обеспечении беспомеховой работы РЛС УВД, так как в районе их размещения, как правило, не должно быть источников этого вида помех. Однако все же укажем на некоторые основные меры, принимаемые для борьбы с этого вида высокочастотными помехами. Это — фильтры, расположенные в этих устройствах, а также магнитостатические, электрические и электростатические металлические экраны. Первый замыкает магнитное поле, второй отводит электрические заряды на землю или корпус устройства, создающего помехи. Применяются также такие электромагнитные экраны, в которых вихревые токи, возникающие в экранах, образуют компенсационное поле противоположного направления.

Для обеспечения электромагнитной совместимости разработаны рекомендации и нормы, направленные на ограничение уровня радиопомех. Так, установлены нормы на ширину полосы излучения при различных видах модуляции и по ограничению спектров внеполосного и побочного излучения, а также нормы по стабильности частоты передатчиков. Разработаны нормы и на различные параметры приемных устройств.

7.1. Общие сведения

Обзорные первичные трассовые РЛС предназначены для обеспечения радиолокационного контроля воздушного пространства на трассах и во внеаэродромном пространстве и при отсутствии ВРЛ являются основным источником информации о наличии и координатах ВС в зоне наблюдения для диспетчеров районных центров и пунктов подхода. ОРЛС-Т обеспечивают обнаружение всех ВС, в том числе и не имеющих бортовых ответчиков, а также получение оперативной информации о метеорологической обстановке.

Использование первичных РЛС (ПРЛС) связано с рядом ограничений:

отраженные сигналы чрезвычайно малы и сильно ослабляются при распространении, поэтому для обнаружения ВС на больших дальностях необходимы значительные энергетические потенциалы РЛС, что в свою очередь требует значительных габаритных размеров и массы передающих и антенных устройств и большого энергопотребления;

первичное опознание ВС и непрерывное его поддержание представляет определенные трудности;

процедура передачи управления от одного диспетчера и органа УВД к другому диспетчеру или органу УВД не проста и не всегда однозначна;

на диспетчерском индикаторе иногда бывает значительное число ложных сигналов.

Эти недостатки ликвидируются при одновременной работе ПРЛС и ВРЛС. Радиолокаторы, в которых они конструктивно объединены, называют радиолокационными комплексами (РЛК), а составляющие их станции — первичным и вторичным каналами (ПРК и ВРК). Кроме ПРК и ВРК, комплексы включают аппаратуру первичной обработки отраженных и ответных сигналов (АПОИ) и модемы аппаратуры передачи данных (АПД) от РЛК на КДП.

Трассовые РЛС подразделяют на обзорные трассовые радиолокаторы ОРЛ-Т (вариант А) с максимальной дальностью 400 км и (вариант В) с максимальной дальностью 250 км.

В соответствии с нормами (стандарт СТ СЭВ 2772 — 80) и рекомендациями ИКАО эксплуатируемые первичные ОРЛ-Т (вариант А) должны иметь характеристики, указанные в табл. 7.1 (в скобках указаны рекомендации СЭВ).

Кроме того, установлены требования, чтобы поляризация изменилась от линейной через эллиптическую до круговой и имелась аппаратура вторичного канала.

В настоящее время по числу эксплуатируемых в службе УВД РЛС основными являются станции, созданные на базе передвижной, размещенной в автоприцепах РЛС П-35. К ним относятся РЛС П-35М и РЛС П-37. В устройствах приема и обработки информации этих РЛС используются электровакуумные приборы и старая элементная база, поэтому они обладают невысокими надежностными характеристиками. Эти РЛС используются для обеспечения неавтоматизированных и малой автоматизации систем УВД в зонах со средней ИВД. К достоинству этих РЛС следует отнести их невысокую стоимость.

Таблица 7.1

Характеристика	Нормы СЭВ	Рекомендации
	ОРЛ-Т(А/В)	ИКАО
Максимальная дальность, км	400 / 250	185
Вероятность правильного обнаружения	0,8 / 0,9	0,9
Вероятность ложных тревог	10 ⁻⁶	-
Эквивалентная площадь цели, м ²	10	15
Минимальная дальность, км	15 (5)	-
Максимальная высота, км	20/30	24
Угол места, градус:		
максимальный	35 (45)	30
минимальный	0,5 (0,3)	0,2
Скорость обзора не менее, об/мин	5	-
Разрешающая способность по индикатору:		
по дальности, м	1000	-
по азимуту, градус	1,5 (1,3) / 1,3	1,25
СКП (после цифровой обработки):		
по дальности, м	300/1000	-
по азимуту, °	15/60	15
Длина волны, см	- (2,3)	-
Число ложных обнаружений при автоматической обработке за время 1 обзора, не более	30	-
Дальность действия при СДЦ, км	100... 200	-
Коэффициент подпомеховый видимости для АС УВД, дБ	21...27 (35)	-
Диапазон, свободный от слепых скоростей, км/ч	50...3600	-
Время наработки на отказ, ч, не менее	500	-
Время восстановления (не более), ч	0,5	-
Ресурс работы, тыс. ч, не менее	80	-

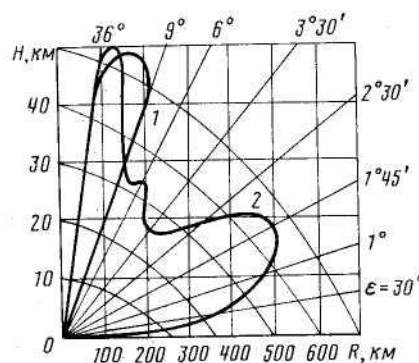


Рис. 7.1. Зона обнаружения в вертикальной плоскости РЛК «Утес»

С внедрением АСУВД требования к эксплуатационным характеристикам РЛС значительно повысились. Необходимо иметь большую дальность действия, способность работать в сложных метеорологических условиях при сильных отражениях от Земли, не допускать большого числа ложных сигналов, которые могут перегрузить системы обработки, поэтому были разработаны новые РЛК.

В 70-х годах был создан и испытан РЛК «Утес», в котором были применены новые решения, обеспечивающие автоматическое

обнаружение ВС и определение их координат при значительной дальности действия (до 450 км при вероятности правильного обнаружения 0,5). Было создано пять таких РЛК. Они эксплуатировались до конца 80-х годов. Для комплекса были созданы передатчики большой мощности, обеспечивающие высокую стабильность излучения сигналов и антенное устройство, формирующее зону видимости двумя лучами, совместно образующими почти косеканс-квадратную ДН. Зона обнаружения РЛК «Утес» показана на рис. 7.1. Нижний луч (2) обеспечивает основной канал обнаружения целей на малых углах места. Верхний луч (1) служит для обнаружения целей на средних и малых дальностях, летящих на большой высоте, и обеспечивает канал индикации высотных целей (ИВЦ). Каналы работают на разных частотах. Мощность передатчика основного канала 2 МВт, частота повторения 250 Гц. Мощность канала ИВЦ 1,5 МВт, частота повторения 750 Гц. Для того чтобы избежать электрической перегрузки волноводов и взаимного влияния сигналов, зондирующие импульсы излучаются не одновременно. Совместная их обработка при приеме обеспечивается задержкой одного из сигналов.

Особенностью построения передающего устройства является схема задающий генератор-умножитель частоты — усилитель мощности. Для обеспечения высокой стабильности колебаний, которая требуется для эффективной работы СДЦ, задающий генератор кварцован. Первичный канал РЛК имел антенну в виде усеченного параболического зеркала двойной кривизны, имеющего решетчатую структуру и размеры 15x10,5 м. Антенна обеспечивает ширину ДН в горизонтальной плоскости около 1°. Каждый из лучей имел свой приемный канал с двумя подканалами для амплитудной и когерентной (при СДЦ) обработки сигналов.

РЛК обеспечивал дальность обнаружения 450 км при $P_{по} = 0,5$ по цели с ЭОП 10 м².

Наличие двух лучей, амплитудного канала приема и канала СДЦ позволили менять конфигурацию зоны видимости в зависимости от дальности до цели, интенсивности отражений от земной поверхности и метеорообразований. Это достигалось путем использования для различных интервалов дальностей своих каналов обнаружения, а также различных устройств защиты от помех и методов обработки сигналов.

В РЛК «Утес-М» был встроен также вторичный канал «Корень-Базальт», работавший как в отечественном, так и в международном диапазоне. До передачи в линию трансляции принятые сигналы обрабатывались в АПОИ. Ее задача — автоматическое обнаружение сигналов целей и измерение их координат, расшифровка полетной информации и подготовка общего формата сигнала для передачи по узкополосной трансляции в цифровом виде. Аналоговые видеосигналы передавались по кабельной широкополосной ВЧ-линии.

Таблица 7.2

Характеристика	1-РЛ139	Скала-М/МПП
Максимальная дальность, км	280	400/350
Эффективная площадь отражения, м ²	10	10
Вероятность обнаружения	0,5	0,8
Минимальная дальность, км	15	12
Высота максимальная, км	20	30
Угол места ε, градус:		
максимальная	30	45
минимальная	0,7	0,7
Длина волны, см	10	23
Разрешающая способность:		
по дальности (ГРК/ВРК), м:		
с ИКО	1000/1000	1000/1000
с АПОИ	—	400/600
по азимуту, градус:		
с ИКО	1,5	1,5/2
с АПОИ	-	0,9
Точность (СКП):		
по дальности, м:		
с ИКО	1000	1000
с АПОИ	-	200
по азимуту, градус:		
с ИКО	1	0,8/1
с АПОИ	-	0,15/0,2
Коэффициент подавления метеоотражений, дБ	15	30
Коэффициент подпомеховой видимости, дБ	15	25/22
Коэффициент подавления отражений от местных объектов	—	40
Среднее время между отказами, ч	250	750

РЛК «Утес» был создан в основном на старой элементной базе, поэтому имел невысокую надежность, а также значительные габаритные размеры и массу всех устройств. В связи с этим был заказан, разработан, а в 1975 г. прошел испытания новый РЛК «Скала-А». В этом комплексе были использованы основные технические решения, проверенные в РЛК «Утес». На базе РЛК «Скала-А» были созданы и приняты в эксплуатацию РЛК «Скала-М» (ТРЛС-10) и подвижный РЛК «Скала-МПР» (ТРЛС-11), которые в основном удовлетворяют требованиям норм СЭВ и рекомендациям ИКАО.

Основные эксплуатационно-технические характеристики трассовых РЛК указаны в табл. 7.2.

7.2. Трассовые РЛС типа П-35М и П-37

РЛС типа П-35 начала эксплуатироваться в ГА в конце 50-х годов. Она подвергалась неоднократной модернизации, улучшились ее надежность, помехозащищенность и другие технические характеристики. В настоящее время в ГА эксплуатируется только РЛС П-37, (1-РЛ-139).

Аппаратура РЛС размещается в четырех автомобильных фургонах. Передвижная конструкция РЛС в ряде случаев имеет большие преимущества перед стационарным вариантом, так как отсутствует необходимость в капитальном строительстве здания для расположения аппаратуры и антенного поста, требующем длительного времени и значительных затрат. Передвижная РЛС мобильна и может быть развернута практически в любом месте при минимальных затратах на инженерно-строительные работы. В РЛС и П-37 (рис. 7.2) имеется встроенные активные (вторичные) каналы (Прд — Прм — Актив). Они работают в режиме «УВД» с бортовыми ответчиками типа СОД-57 и СОМ-64. Эти РЛС могут работать в сопряжении с ВРЛС «Корень-АС», который работает в режимах «УВД» и «RBS» (ИКАО). Для обеспечения их совместной работы в состав комплекса включается аппаратура сопряжения и синхронизации их работы.

Передающее устройство *Прд* РЛС П-37 имеет пять передатчиков на резонаторных магнетронах МИ-29, работающих на волне длиной 10 см с импульсной мощностью 0,9 МВт каждый (средняя мощность 700 Вт). Антенные устройства излучают горизонтально поляризованные ВЧ-импульсы длительностью 2,7 мкс с частотой повторения 375 Гц. Передатчики построены по обычной схеме подмодулятор — модулятор — магнетрон. Магнетрон имеет механическую автоматическую подстройку частоты. Антенное устройство состоит из двух зеркал (отражателей), укрепленных спереди и сзади кабины на разной высоте. Зеркала обеих антенн имеют размеры 9,7х3 м и сделаны сборно-разборными из сеччатых или сплошных металлических щитов. Частота вращения антенной

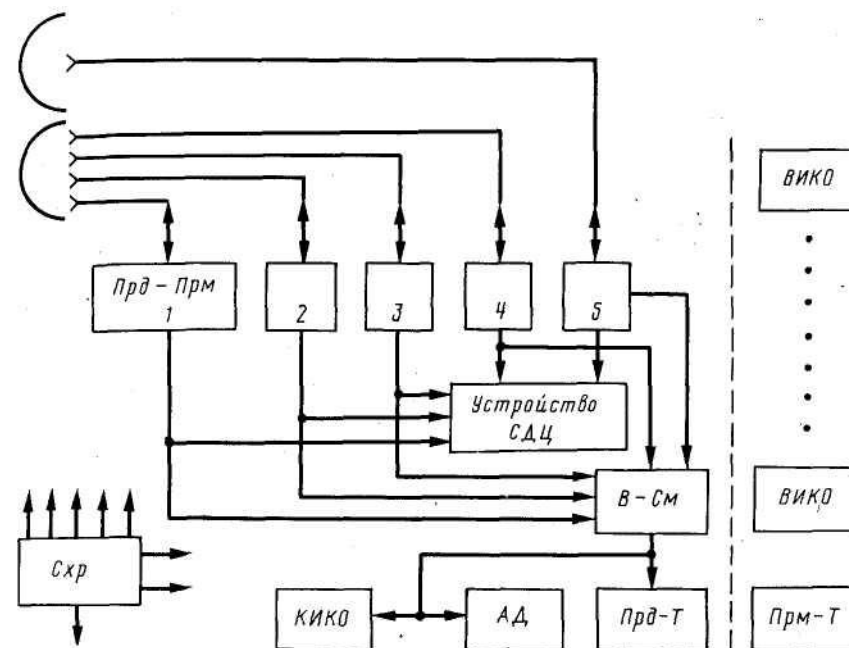


Рис. 7.2. Структурная схема РЛС П-37

системы вместе с кабиной 3 или 6 об/мин, дистанционно могут изменяться углы наклона зеркал.

Энергия подводится по пяти волноводным трактам, оканчивающимся рупорными облучателями. У нижней антенны четыре облучателя, у верхней два (второй для активного канала). Электрические оси антенн совмещены в горизонтальной плоскости и разнесены по углу в вертикальной, поэтому суммарная ДНА веерообразная, состоит из пяти перекрывающихся диаграмм, и имеет ширину в горизонтальной плоскости 1,5°, а в вертикальной 35°. Все передатчики излучают зондирующие импульсы одновременно на разных частотах, что обеспечивает беспомеховый прием сигналов из перекрывающихся области ДН. В каждой волноводной линии свой антенный переключатель с ключами на электронных газонаполненных лампах. Приемных каналов пять. В РЛС П-35М шесть приемопередающих каналов. Обеспечиваемая ими зона обнаружения ДН показана на рис. 7.3. Вместо приемопередатчика шестого канала в РЛС П-37 встроена аппаратура СДЦ, которая обеспечивает работу всех пяти каналов. Для сохранения угловых размеров зоны обзора ДН пятого канала в вертикальной плоскости была увеличена почти вдвое. Трудности конструирования многоканального вращающегося перехода для кана-

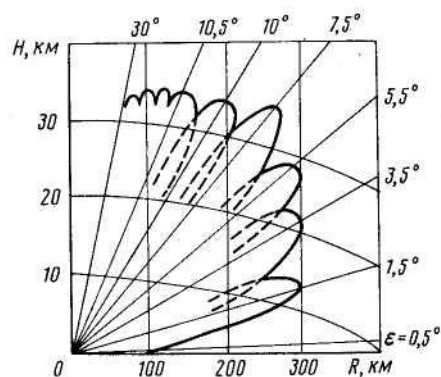


Рис. 7.3. Зона обнаружения в вертикальной плоскости РЛС П-37 ($P_{\text{п}} = 0,5$)

лизации ВЧ-энергии пяти каналов привели к решению проводить обзоры пространства путем вращения кабины с аппаратурой и антеннами.

Приемные устройства (РПУ) супергетеродинного типа с УВЧ. Приемный канал, по которому воздействует помеха, решающая наблюдать полезные сигналы, можно отключать. Имеется АПЧ

клизотрона гетеродина и различного вида АРУ для борьбы с непрерывными и импульсными помехами, а также ВАРУ, защищающая приемник от переотражений от земли на расстоянии 70...80 км от РЛС. В РПУ введены схемы дифференцирования, которые преобразуют сигналы большей длительности от облаков и земли в два коротких сигнала, между которыми может обнаруживаться сигнал цели. После детектирования и усиления видеоимпульсов в разных приемных каналах они объединяются в общий сигнал в смесителе В-См и после усиления подаются на контрольный индикатор кругового обзора КИКО и на передающее устройство линии трансляции Прд-Т для передачи на ее приемную часть Прм-Т. Имеется возможность бланкирования отдельных каналов, по которым воздействует помеха.

Устройство СДЦ обрабатывает сигналы, получаемые со всех каналов приема. В состав приемников введены когерентные каналы, в которых производится фазовое детектирование принятых сигналов. Устройство череспериодной компенсации СДЦ несколько раз усовершенствовало с целью увеличения стабильности его работы, влияющей на эффективность СДЦ. Вначале использовалась ЭЛТ типа потенциалоскоп, затем ультразвуковая линия задержки, а в настоящее время в ЧПК, применены цифровые устройства вычитания с двумя квадратурными каналами. После устройства СДЦ встроено устройство для защиты от несинхронных импульсных помех, возникающих из выбросов шумовых напряжений и в связи с работой иных радиотехнических устройств.

138

В смеситель В-См поступают: сигналы с выхода видеоусилителя амплитудного канала или фазового канала (СДЦ), запускающие импульсы от синхронизатора Схр, сигналы азимутального положения антенны от датчиков, связанных с электромеханическим поворотным устройством кабины. Эти сигналы поступают на контрольный КИКО и на Прд-Т.

После приема радиолокационных сигналов в Прм-Т они идут на выносные ИКО (ВИКО). Их может быть несколько. ВИКО расположены в индикаторной кабине. В индикаторах используется темновая ЭЛТ 31ЛМ32. Развертка луча производится магнитной отклоняющей системой с вращающимися катушками, обеспечивающими развертывание луча ЭЛТ по азимуту. Имеются три масштаба дальности: 100, 200 и 400 км. Масштабные метки дальности поступают через 2, 10, 50 и 100 км, а азимута — через 1, 5 и 30°.

Обеспечены три режима работы: круговой, кольцевой и секторный. В кольцевом режиме начало развертки задерживается с дискретностью 10 км на дальностях 40...350 км. Кроме ВИКО, имеется индикатор азимут — дальность АД с прямоугольной разверткой, который дает возможность более точного определения координат ВС. Масштаб дальности 10, 50 и 30 км, а по азимуту 20, 60°.

На рабочих местах диспетчеров, кроме ИКО, расположены цифровые табло для отображения полетной информации, получаемой по вторичному каналу от четырех ВС. Ввод в автосопровождение может производиться по бортовому номеру с помощью фотопистолета, накладываемого на отметку ВС и вырабатывающему импульс при прохождении разверткой отметки, а также по полярным координатам самолета известным или предполагаемым. Координаты вводятся с помощью цифронабирателя. Ввод может быть проведен в стробе, имеющем размер по азимуту 10 или 45°. Набранное значение азимута дальности для проверки высвечивается на цифровом табло.

Защита от метеобразований обеспечивается устройством поляризационной селекции. Задержка одной из ортогональных составляющих ЭМВ по фазе относительно другой на 90° и получение поляризованной по кругу волны осуществляются в нижнем канале в волноводном устройстве с помощью фторопластовых вставок и в волноводной скрутке. Вид поляризации подбирается оператором дистанционно по визуальной оценке качества изображения. Коэффициент подавления помех невелик — около 15 дБ.

В РЛС П-37 использованы электровакуумные приборы и элементная база старого типа, поэтому у них невысокие характеристики надежности. Однако принятые при модификациях меры, в частности переход на элементную базу второго поколения, позволили поднять их уровень надежности.

7.3. Трассовые РЛК «Скала-М» и «Скала-МПР»

РЛК «Скала-М» (ТРЛК-10) и «Скала-МПР» (ТРЛК-11) предназначены для работы в составе районных АС УВД и должны обеспечивать получение координатной и полетной информации от ВС по первичному и вторичному каналам. РЛК «Скала-М» разработан на базе опытного РЛК «Скала-А», который был установлен в районе Домодедово в 1975 г. для обслуживания аэропортов Московской зоны УВД. РЛК «Скала-М» (рис. 7.4) является стационарным комплексом и размещается в специальном здании. Опорно-повторное устройство (ОПУ) с антеннами ПРК и ВРК и приемопередающее устройство расположено в башне здания. Размер зеркала антенны ПРК 10,5x15 м. Обе антенны закрыты радиопрозрачным укрытием типа «Шалаш-2у», которое обеспечивает защиту антенного устройства от воздействия метеосадков и ветра, скорость которого до 50 м/с. У РЛК Скала МПР зеркало антенны ПРК имеет размер 13x7 м. Антенны ВРЛ и ПРК не имеют укрытия и могут устанавливаться на площадках, расположенных на основаниях, которые в зависимости от числа секций имеют высоту 13,2; 19,8 или 26,4 м.

Аппаратура вторичного канала создана на базе ВРЛ «Корень АС» и называется «Малахит». Недостатком РЛК «Скала-М» является необходимость строительства здания для РЛК и сооружения для размещения антенн, поэтому на базе РЛК «Скала-М» создан перевозимый РЛК «Скала-МПР», который (кроме аппаратуры отображения КДП-4) размещается в пяти автофургонах и может быть оперативно развернут в необходимом месте (рис. 7.5). РЛК «Скала-МПР» предназначен

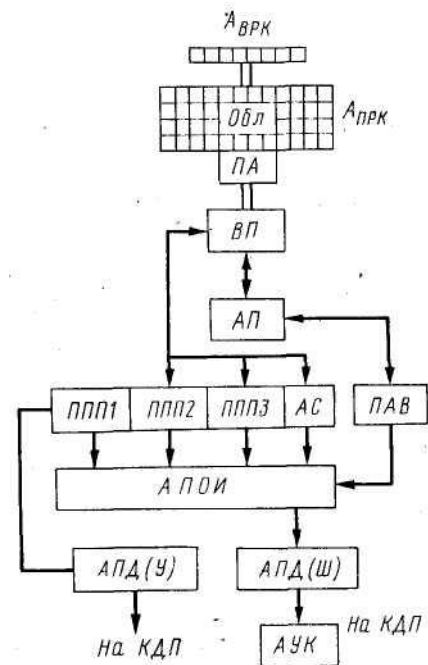


Рис. 7.4. Общая структурная схема РЛК «Скала-М»:

АВРК — антенна вторичного канала; АПРК — антенна первичного канала; Обл — облучатель антенны первичного канала; ПА — привод антенны; ВП и АП — вращающиеся переходы и антенные переключатели ПРК; ППП1...ППП3 — приемопередатчики ПРК; АС — Аппаратура синхронизации; ППВ — приемопередатчики ВРК; АПОИ — аппарат первичной обработки информации; АПД(У) и АПД(Ш) — аппаратура передачи данных (узкополосная и широкополосная); АУК — устройство управления РЛК и контрольный индикатор

для работы в составе любой системы АС УВД или в системе УВД малой автоматизации. Зоны обзора, обеспечиваемые РЛК «Скала-М» и РЛК «Скала-МПР», приведены на рис. 7.6.

Комплекс конструировался, как аппаратура, предназначенная для работы без обслуживающего персонала, с дистанционным контролем и управлением. В эксплуатацию принят в 1987 г.

Первичный канал (рис. 7.7). РЛК «Скала-М» имеет три приемопередающих канала (третий — резервный). В РЛК «Скала-МПР» два канала приемопередачи.

Передающее устройство *Прд* генерирует высокочастотные импульсные сигналы мощностью 3,6 МВт и длительностью 3,3 мкс в диапазоне 23 см на частотах f_1, \dots, f_3 . Излучение колебаний производится в основном луче. Верхний луч работает только в режиме приема, сигналы, отраженные от земли и принимаемые этим каналом, на 14 дБ меньше, чем в основном луче. Первый передатчик обеспечивает наблюдение в ближней зоне и излучает сигналы с частотой повторения $F_{п1} = 1000$ и $F_{п2} = 930$ Гц. Две частоты повторения необходимы для защиты от слепых скоростей. Второй передатчик обеспечивает наблюдение в дальней зоне, поэтому $F_{п3} = 333$ Гц и $F_{п4} = 310$ Гц.

Излучения сигналов двух передатчиков разнесены во времени для избежания электрического пробоя волноводов. Совместная работа двух *Прд* с разными частотами излучения обеспечивает повышение обнаружения сигналов из-за устранения влияния флюктуации отраженных от целей сигналов. Третий передатчик резервный и может работать как при частом, так и при редком запуске. В форсированном режиме возможна работа всех трех передатчиков, причем резервный работает совместно с первым. Обеспечивается также возможность работы передатчиков на половинной мощности.

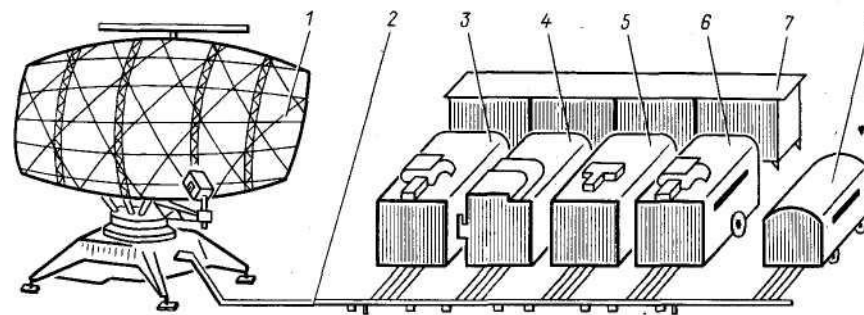


Рис. 7.5. РЛК «Скала-МПР»:

1 — антенное и поворотное устройство ПРК и ВРК; 2 — волноводные и кабельные тракты передачи ВЧ-энергии и связи; 3, 4 — приемопередающие модули; 5 — модуль обработки и передачи информации; 6 — модуль электропитания; 7 — общий переход; 8 — дизель-электростанция

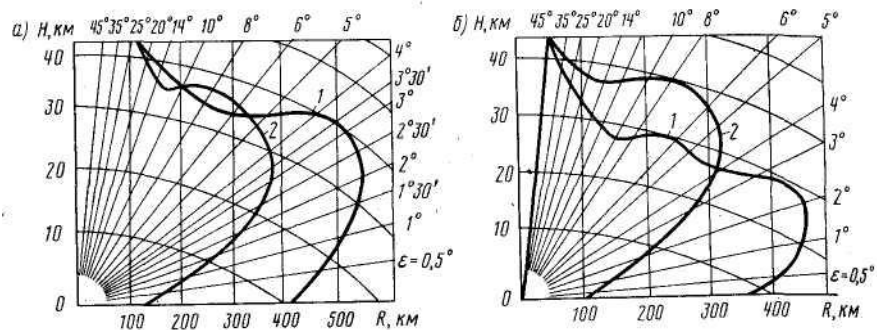


Рис. 7.6. Зоны обзора в вертикальной плоскости для: а — РЛК «Скала-М»; б — РЛК «Скала-МР»; 1 — нижний луч для дальнего обнаружения (на малых углах места); 2 — верхний луч для обнаружения целей (на больших углах места)

Для обеспечения высокой эффективности системы СДЦ излучаемые сигналы частоты f_{c1} , f_{c2} , f_{c3} создаются сложением высокостабильных сигналов гетеродинных частот f_{r1} , ..., f_{r3} и промежуточной частоты $f_{п.ч}$, получаемых от кварцеванных задающих генераторов. Эти частоты используются также в гетеродинах смесителей приемников, а частота $f_{п.ч}$ как опорная $f_{п.ч оп}$ — в фазовом детекторе канала СДЦ. Сложение и предварительное усиление излучаемых сигналов производятся в пролетных клистронах смесителей-возбудителей передатчиков. Усилителями мощности являются четырехрезонаторные пролетные клистроны с жидкостным охлаждением коллекторов. Максимальная мощность излучения около 3,6 МВт. Сигналы различных частот складываются в двух

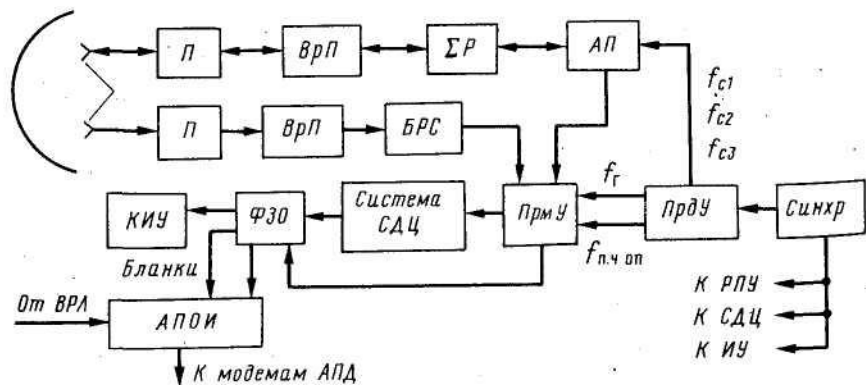


Рис. 7.7. Структурная схема первичных каналов РЛК типа «Скала»: П — поляризатор; КИУ — контрольное индикаторное устройство; ВрП — вращающийся переход; ФЗО — формирователь зоны обзора; ΣР — блоки сложения мощностей; АП — антенные переключатели; ПрМУ — приемные устройства; ПрДУ — передающие устройства; Синхр — синхронизатор; БРС — блок разделения частот сигналов

блоках сложения мощностей попарно-последовательно. Распределение по приемникам сигналов трех частот, принятых основным каналом, производится теми же устройствами сложения мощностей, а принятых каналом ИВЦ — блоком частотного разделения сигналов. Антенных переключателей АП три (см. рис. 7.7). Опорно-поворотное устройство общее для ПРК и ВРК. Антенное устройство имеет зеркало отражателя 1 и два рупорных облучателя 2 для ПРК. Выше зеркала располагается антенна ВРК в виде линейной решетки рупорных облучателей. Канализация энергии обоих каналов осуществляется системой коаксиальных вращающихся переходов Вр.П. Отражатель имеет поверхность двойной кривизны и вместе с облучателями формирует две ДН — нижнего и верхнего лучей, которые создают близкую к косеканс-квадратной зону видимости.

Характеристики ДНА следующие: ширина в горизонтальной плоскости на уровне 3 дБ $\theta_r = 1^\circ$, коэффициент усиления у нижней ДН 36 дБ, а у верхней ДН 35 дБ. Уровень боковых лепестков 20 дБ. ДН в вертикальной плоскости $\theta_v = 0,7...40^\circ$.

В обоих каналах ПРК установлены поляризаторы с диэлектрическими вставками и волноводными скрутками, обеспечивающими защиту принимаемых сигналов в условиях метеорообразований.

С датчиков, связанных с приводом антенны, снимаются метки МАИ, метка «Север», косинусные и синусные напряжения для передачи на контрольное индикаторное устройство КИУ. Датчиками МАИ являются диски с прорезями, фотодиоды и лампы накаливания. В качестве датчика разворачивающих напряжений для КИУ используется вращающийся трансформатор, с которого снимаются синусные и косинусные напряжения.

В РЛК «Скала-М» два основных приемных устройства, третье — резервное. Приемные устройства (рис. 7.8) — двухканальные. В одном обрабатываются сигналы, поступающие от нижней (основной) ДН антенны, в другом — от верхней (дополнительной). Приемники идентичны, выполнены по супергетеродинной схеме и имеют чувствительность 142 дБ/Вт. Усиление на высокой частоте производится малошумящими УВЧ с коэффициентом шума около 3 дБ и коэффициентом усиления 18 дБ. С выхода УВЧ сигналы поступают на преселектор Прс, в котором ослабляется зеркальный канал приема. Преселектор представляет собой двухконтурный волноводный помеховый фильтр. С него сигналы идут на смеситель См, куда от одного из задающих генераторов передатчика Прд поступает гетеродинный сигнал с частотой f_r . Первоначальное усиление сигналов ПЧ производится в предварительном усилителе промежуточной частоты усиления ВАРУ, АРУ и ШАРУ, которые обеспечивают поддержание заданных уровней помех, т.е. постоянство уровня ложных тревог. Кроме того, имеется возможность уменьшения коэффициента

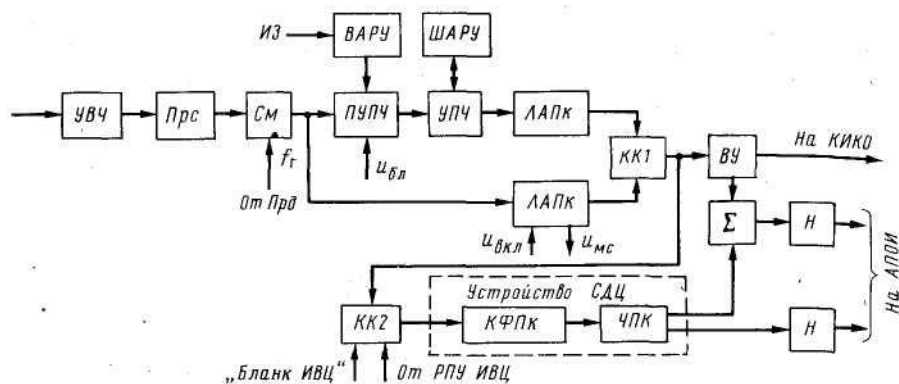


Рис. 7.8. Структурная схема приемника первичного канала РЛК «Скала»: $u_{\text{бл}}$ — сигнал бланкирования; $u_{\text{вкл}}$ — сигнал включения; $u_{\text{мс}}$ — метеоимпульс

усиления в некоторых областях наблюдения для уменьшения действий сильных помех. Для этого на необходимых дальностях и азимутах в цепь ПУЧ подаются бланкирующие импульсы (не более двух), положение которых устанавливается помощью двух кнопок.

Приемники после УПЧ имеют по три подканала обработки: линейный амплитудный АПк, логарифмический амплитудный ЛАПк и когерентный фазовый КФПК. Линейные амплитудные каналы производят амплитудное детектирование сигналов и обеспечивают обнаружение объектов в дальней зоне обоих лучей ДН при отсутствии метеоимпульсов. Логарифмические каналы предназначены для работы при наличии метеоосадков. Каналы к выходу РПУ подключаются коммутатором КК1 по сигналам наличия метеообразования. Для защиты от метеопомех, обеспечения видимости сигналов и уменьшения ложных тревог в логарифмическом амплитудном канале применяется схема Лог — БПВ — Антилог. Флюктуирующие сигналы от метеообразований могут иметь большой динамический диапазон значений интенсивности. Среднее квадратическое значение их отклонений зависит от среднего их значения. Логарифмический тракт обработки уменьшает величину принимаемых сигналов и практически делает их отклонения постоянными. Затем фильтр в виде цифровой дифференцирующей цепочки с быстрой постоянной времени (БПВ) убирает постоянную составляющую на фильтре высоких частот, устраняющем импульсы длительностью больше 1,5 длительности зондирующих импульсов. Так как одновременно с помехой уменьшается амплитуда полезных сигналов, поэтому на выходе логарифмического канала имеется видеусилитель с антилогарифмической (экспоненциальной) характеристикой для частичного восстановления интенсивности сигналов.

В когерентном подканале производится фазовая обработка сигналов в устройстве квадратурной СДЦ с двумя фазовыми детекторами. Подканал СДЦ — общий для каналов основного и ИВЦ. Сигналы для этого подканала формируются в коммутаторе фазового канала КК2, причем по команде «Бланк ИВЦ» вначале поступают сигналы от канала ИВЦ, затем от основного. С коммутатора сигналы подаются на два фазовых детектора. В одном из них выделяется синфазная составляющая сигналов (СФС) с нулевым сдвигом фазы, в другом квадратурная (КВС), сдвиг фаз 90° . С фазовых детекторов приемных трактов эти сигналы поступают на ЧПК с двух- или трехкратным вычитанием.

Видеосигналы от всех трех подканалов приемника (линейный, логарифмический, когерентный) объединяются в сумматоре Σ попарно в любой комбинации, а затем обрабатываются в накопителе по критерию «2 из 3» для увеличения отношения $P_c/P_{\text{ш}}$, а также для устранения несинхронных импульсных помех. После устройства ЧПК имеются накопитель H , а также схема обработки сигнала типа «Лог — БПВ — Антилог», которая обеспечивает видимость цели и постоянство ложных тревог в условиях метеообразований. С выхода накопителей сигналы поступают на АПОИ, куда приходят также сигналы от ВРЛ. От когерентного канала сигналы на АПОИ могут идти самостоятельно. В РЛК «Скала-М» использовалась АПОИ (экстрактор) типа СХ-1100, а в РЛК «Скала-МПР» — «Обзор-С».

В АПОИ производится обнаружение сигналов по критерию K из M на цифровых схемах, построенных по типу схем «движущееся окно». Обеспечивается обнаружение сигналов с вероятностью $P_{\text{но}} = 0,9$ при $P_c/P_{\text{ш}} = 3$. После обнаружения осуществляется отождествление координатных сигналов ПРК и ВРК и измеряются координаты в цифровой форме. Затем координатная и полетная информации объединяются в общий формат сообщения.

На входе АПОИ имеется буферное устройство, управляемое тактовыми импульсами, поступающими с РЛС и обеспечивающими запись и запоминание всей информации. Такая схема обеспечивает независимость последующего съема информации от записи, которая может идти различным темпом. В АПОИ производится бланкирование определенных участков сигнала во времени в соответствии с установленными границами участков на местности, с которых сигналы не должны обрабатываться. В составе аппаратуры РЛК имеется контрольный ИВО, на котором отображаются координатные отметки целей, полученные от первичного и вторичного каналов, а также метеорологические отметки.

Общий формат сигнала с АПОИ выдается на модемы (модулятор — демодулятор) узкополосной линии связи для передачи данных на КДП в цифровой форме. При работе с автономным КДП-4 видеосигналы амплитудного и фазового каналов снимаются также и с широкополосного выхода РПУ и передаются по широкополосному ВЧ-кабелю.

Для передачи цифровой информации используются узкополосные проводные линии. Цифровая информация передается на несущей частоте 1800 Гц методом двойной фазовой модуляции. Каналы передачи резервируются. При дальности передачи до 10 км на линии связи ставят промежуточные и корректирующие усилители. Последние устраняют частотные и фазовые искажения, возникающие при передаче. Передача данных на большие расстояния может производиться с помощью радиорелейных станций. При этом видеосигналы, сигналы синхронизации, сигналы «Север», углового положения антенны и другие поступают на устройство объединения информации, где осуществляется частотное уплотнение этих сигналов, а затем они по кабелю передаются на вход радиорелейной станции.

Обеспечение работы РЛК «Скала-М» и «Скала-МПР» в различной помеховой обстановке. Наличие в РЛК нижнего и верхнего лучей ДНА, трех приемопередающих каналов (ППК) и трех подканалов обработки в приемнике позволяет определять наиболее целесообразные сочетания функционирования перечисленных каналов, устройств и методов обработки сигналов в зависимости от уровня на различных дальностях от РЛС (рис. 7.9).

Приемопередающие каналы (ППК) в РЛК «Скала-М» можно использовать в двух режимах. В первом два ППК работают на разнесенных частотах с редкой частотой, повторения, а третий ППК — резервный. Устройство СДЦ устанавливается для работы на расстояние до 390 км. Во втором режиме одновременно могут работать все ППК: два на частоте $f_{\text{сдц}} = 330$ Гц, один на $f_{\text{сдц}} = 1000$ Гц. При этом устройство СДЦ работает на расстоянии до 130 км. Кроме того, должен осуществляться выбор приема сигналов от верхнего или нижнего луча, а также от амплитудного или фазового (СДЦ) канала обработки. Варианты приема выбираются вручную после установки РЛК на позицию.

В РЛК «Скала-МПР» два ППК- В приемных каналах имеется аппаратура адаптации, которая обеспечивает автоматический выбор верхнего или нижнего луча ДНА для приема сигналов, а также канала обработки — амплитудного или фазового в зависимости от уровня фиксируемых на различных дальностях помех. Кроме того, в схеме ВАРУ при настройке РЛК после его установки на позиции осуществляется выбор четырех уровней ослабления в четырех коль-

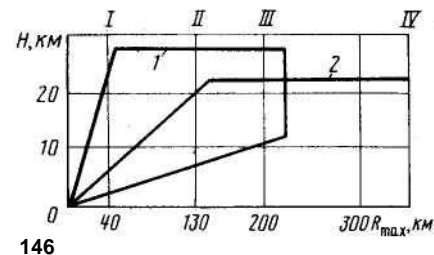
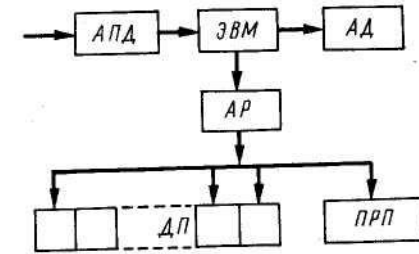


Рис. 7.9. Диаграмма приема информации из разных зон ВП и методов обработки сигналов в режиме работы двух ППК:

I — зона приема от верхнего (1) луча при СДЦ (оба ППК); II — зона приема от верхнего луча при АД (оба ППК) и от нижнего (2) луча при СДЦ (один ППК); III — зона приема от верхнего и нижнего луча при АД; IV — зона приема от нижнего луча при АД

Рис. 7.10. Автоматическая аппаратура отображения КДП-4:
 АПД — аппаратура приема данных; АП — аппаратура документирования; АР — аппаратура размножения; ДП — диспетчерские пульты; ПРП — пульт руководителя полетов



цах дальности шириной 22,5 км каждый. Имеется также самонастраивающийся аттенюатор помех в азимутально-дальностных секторах с дискретами уменьшения помех 4 дБ. Аттенюатор имеет большой динамический диапазон работы (64 дБ). В приемном канале выделяются зона опасных метеообразований и автоматически выбирается амплитудный или логарифмический канал обработки.

Аппаратура КДП-4 (рис. 7.10) используется при автономной работе РЛК «Скала-М» и «Скала-МПР». Она может принять, обработать и отобразить информацию, получаемую от 1...3 РЛК. Вся аппаратура, включая индикаторы, построена на принципах цифровой техники, что обеспечивает при отображении высокую точность совмещения информации, получаемой от различных каналов. Аппаратура КДП-4 обеспечивает функционирование до 19 диспетчерских мест. В индикаторах используются двухцветные ЭЛТ «Монолит-2с». Эта трубка имеет длительное послесвечение зеленого цвета, которое используется для отображения в режиме «Аналог». Синтетическая информация отображается красным цветом.

Диспетчерские индикаторы имеют масштабы 100, 200 и 400 км. Предусмотрены три режима отображения: основной «Синтетика» и резервный «Аналог», а также режим «Т». В режиме «Синтетика» вся информация поступает от одного или нескольких РЛК в цифровом виде по узкополосным линиям трансляции, на индикаторах отображается совмещенная координатная и знаковая информация. Непрерывность наличия на экране информации обеспечивается ее регенерацией с частотой 50 Гц. В режиме «Аналог» информация поступает от одного РЛК. При этом координатная информация поступает в виде видеосигналов по широкополосным линиям, а импульсы запуска и положения антенны — по узкополосным. Режим «Аналог» подразделяется на «Аналог-1» и «Аналог-2». В режиме «Аналог-1» обеспечивается отображение той же информации, что и в режиме «Синтетика», а также аналоговой информации в виде отметок ВС и масштабных меток дальности и азимута. Синтетическая и аналоговая информация отображается через кадр длительностью 20 мс, т. е. с частотой 50 Гц.

В режиме «Аналог-2» на экране отображаются только аналоговые координатные отметки в реальном времени, т. е. по мере по-

ступления информации от РЛК- При наличии аппаратуры телевизионного отображения «Строка-Б» аппаратура КДП-4 обеспечивает возможность работы всех или части диспетчерских индикаторов в знаково-телевизионном режиме (режим «Т»).

В режиме «Синтетика» аппаратурой каждого сектора обеспечивается автосопровождение до 16 ВС по бортовому номеру и контроль по координатам до 200 целей. Всего в системе может быть 11 секторов УВД. На индикаторах диспетчеров и контрольном индикаторе техника в этом режиме отображается следующая информация: линии карт трасс, символы координат ВС, полученные от первичного и вторичного радиолокационных каналов, и следы их движения за время трех обзоров, формуляры и линии связи, микротабло (на 16 строк), линии пеленга; визирная линия с масштабными метками, символы метеопомех, зоны автозахвата и автосброса (по две зоны), обозначаемые командами диспетчера, результаты вычисления расстояния и азимута, маркер, дополнительные линии, вводимые диспетчером.

Глава 8

АЭРОДРОМНЫЕ ОБЗОРНЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ И КОМПЛЕКСЫ

8.1. Общие сведения

Аэродромные обзорные РЛС (ОРЛС-А) предназначены для получения информации о воздушной обстановке, необходимой при контроле и УВД в районе аэродрома и для ввода ВС в зону действия посадочных средств. В нормах, принятых в ГА и выработанных Постоянной комиссией по радиотехнической и электронной промышленности, ОРЛС-А обозначены ПРЛ-В и делятся на следующие классы: ПРЛ-В1 с $R_{\max}=150$ км; ПРЛ-В2 с $R_{\max} = 80$ км и ПРЛ-В3 с $R_{\max} = 46$ км.

В табл. 8.1 указаны нормы для первичных каналов РЛС класса В1 и В2 через косую, а также приведены рекомендации

Таблица 8.1

Характеристика	Нормы СЭВ	Рекомендации ИКАО
Максимальная дальность, км	150/80	46
Вероятность правильного обнаружения	0,9	0,9
Вероятность ложных тревог	10^6	10^6
Эквивалентная площадь цели, м ²	10	15
Угол места, градус	0,3...45	0,5...30
Скорость обзора, об/мин	15/10	15
Разрешающая способность:		
по дальности, м	500/300	230 или 1% от R_{\max}
по азимуту, градус	1,5/2	4
Погрешность измерения (СКП) дальности:		150 или 0,03% от R_{\max}
по индикатору (после цифровой обработки), м	500/250	-
после цифровой обработки, м	300	-
Точность измерения азимута:		2
по индикатору, градус	1	-
после цифровой обработки, угл. мин	12	-
Длина волны, см	23 или 10	-
Дальность действия системы СДЦ	0...150	-
Коэффициент подпомеховой видимости, дБ		Максимальный
I этап	21	-
П...III этапы	27 ... 35	-
Диапазон, свободный от слепых скоростей	40... 1500	-
Время наработки на отказ, ч	500	-
Ресурс работы, тыс. ч	80	-

ИКАО. В Нормах СЭВ даны также рекомендации по совершенствованию ОРЛС-А и указано на необходимость наличия в составе аппаратуры ОРЛС-А поляризаторов, способных изменять поляризацию излучаемых волн от линейной через эллиптическую до круговой, о возможности встраивания вторичного канала.

Таблица 8.2

Характеристика	ДРЛС-7 см	ДРЛС-9	«Иртыш»	«Дружба» («Онега»)	«Экран-85»	«Скала-МПА»
Дальность максимальная, км	80	140	160	150	100	200
Вероятность обнаружения	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9
Эффективная поверхность цели, м ²	10	10	10	10	10	10
Дальность минимальная, км	4,0	3,5	3,5	0,9	0,8	1,5
Максимальная высота обнаружения, км	8	10	10	12	10	12
Угол места, градус	1...20	0,5...35	0,5...36	0,3...45	0,3...35	0,3...45
Разрешающая способность:						
по дальности, м: с ИКО	1,5..2 %M	1,5..2 %M	1,5..2 %M			
с АПОИ	-	-	450	400	800	600
по азимуту, градус: с ИКО	7	3,5	3,5	1,5	7	1,5
с АПОИ	-	-	0,4	1	0,25	600
Точность (СКП):						
по дальности, м: с ИКО			1...1,5 % M			
с АПОИ	-	-	200	250	300	300
по азимуту, градус: с ИКО	1,5	1,5	1	1	2	1
с АПОИ			0,15	0,15	0,25	0,2
Темп обновления информации, с	6	6	6	6	6	5
Коэффициент подавления метеоотражений, дБ	10	10	10	25	18	30
Коэффициент подпомеховой видимости, дБ	—	—	18	18	18	22
Длина волны, см	35	35	35	10	23	23
Наработка на отказ, ч	400	500	500	3000	1000	750
Среднее время восстановления, ч	—	—	1	0,5	1	0,5
Средний ресурс, тыс.ч	25	25	60	80	60	80

Первым диспетчерским РЛ, эксплуатировавшимся в аэропортах ГА, был ОРЛ-4 в составе системы посадки «Глобус» (РСР-4), в которую входили также посадочная РЛС-П типа ПРЛ-4, а затем ПРЛ-5. Локатор ОРЛ-4 работал в сантиметровом диапазоне волн. Его характеристики невысоки. Так, дальность действия была около 40 км. Поэтому в 1960...70 гг. были разработаны и приняты в эксплуатацию радиолокаторы ДРЛС-7с («Экран»), ДРЛС-7с («Экран-Д»), ДРЛС-7см («Экран-3») и ДРЛС-7ск («Экран-ДК»). Модификации этой РЛС в аэропортах с небольшой плотностью ИВД в настоящее время являются наиболее распространенным видом ОРЛС-А (табл. 8.2).

Для защиты от отражений от местных предметов в приемном канале РЛС этого типа имеются схема ВАРУ и устройство СДЦ с однократным череспериодным вычитанием на аналоговых схемах с ультразвуковыми линиями задержки. Имеется также возможность изменять в пределах 4° угол наклона ДНА.

В РЛС использован диапазон 35 см, что уменьшает интенсивность отражений от земли и от метеообразований по сравнению с РДС, имеющими меньшую длину волны. Однако в связи с этим ДНА довольно большая и обеспечивает разрешающую способность по азимуту только около 9°. Для уменьшения отражений от метеообразований в РЛС имеется поляризационная селекция. Зона видимости приведена на рис. 8.1.

РЛС типа ДРЛС-7 размещаются в двух кабинах автоприцепов, установленных стационарно рядом с антенным устройством. РЛС имеет первичный и вторичный каналы (отечественного и международного диапазонов). Первичный канал имеет дальность до 80 км, вторичный — более 100 км. Выносные индикаторы — основной и резервный — размещаются на КДП, который расположен на расстоянии не более 3 км от РЛС.

Антенная система состоит из разборной основной антенны первичного канала в виде усеченного парабооида из металлических решеток и антенны подавления во вторичном канале в виде щелей, расположенных вертикально по стенке волновода. Передатчик имеет ВЧ-генератор на магнетроне мощностью 230 кВт и $\tau = 2$ мкс (в режиме СДЦ $\tau = 1$ мкс). РЛС имеет механическую автоподстройку частоты магнетрона. РПУ супергетеродинного типа с усилителем ВЧ на входе.

Усилительные и импульсные схемы РЛС выполнены в основном на базе электровакуумных приборов. Вследствие этого среднее

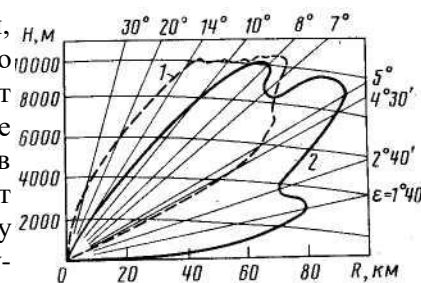


Рис. 8.1. Зона видимости в вертикальной плоскости РЛС типа ДРЛС-7: 1, 2 — верхнее и нижнее положение антенны соответственно

время наработки на отказ не более 400 ч (до модернизации было меньше).

РЛС комплектуется индикаторным устройством (ИУ) ВИС-7 с темновой ЭЛТ, радиально-круговой разверткой и яркостной отметкой цели. Текущее угловое положение снимается с фотоэлектронного датчика меток азимута. На индикаторе можно проводить опознавание ВС по пеленгу на работающую самолетную РС, полученному от АРП.

Первичный канал РЛС имеет режимы «Пассив», «СДЦ» и «Актив». В активном режиме, в режимах УВД и RBS излучаются кодовые пары запросных импульсов. В первичном канале в качестве зондирующих также используются парные импульсы, энергия которых суммируется при обработке в РПУ. За годы эксплуатации РЛС неоднократно модернизировалась для улучшения эксплуатационно-технических характеристик РЛС: технической надежности, обеспечения возможности работы в международном диапазоне в активном режиме, совершенствование индикаторных устройств и др. Повысилась эффективность СДЦ, введено устройство защиты от несинхронных помех, обеспечено сопряжение с аппаратурой «Строка-Б» для преобразования радиолокационного изображения в телевизионное, а также с аппаратурой отображения «Знак».

Было разработано ИУ «Комета-МД» (для ДРЛС-7ск) с яркостной ЭЛТ, обеспечивающей непрерывное наличие отметок целей и позволяющей работать при внешнем освещении.

Невысокая дальность действия, недостаточная техническая надежность и затруднения в эксплуатации из-за старой элементной базы требовали создания более совершенных РЛС, поэтому для контроля и УВД в аэропортах были разработаны РЛК ДРЛС-9 («Нарва»), «Нарва-С», «Иртыш», а затем «Скала-МПА», «Онега» («Дружба») и «Экран-85». Эксплуатационно-технические данные первичных каналов этих РЛС приведены в табл. 8.2.

Радиолокатор ДРЛС-9 («Нарва») имеет три режима работы: пассивный, пассивный с СДЦ и активный в двух диапазонах, который обеспечивается излучением парных импульсов. Для обеспечения эффективного функционирования АСУВД комплекс «Нарва» сопряжен с вторичным РЛ «Корень-АС». Этот комплекс получил наименование «Нарва-С». При этом была модернизирована и ДРЛС-9. Так, например, изменена частота вращения антенны с 15 об/мин на 12 об/мин. Для защиты от слепых скоростей (при использовании СДЦ) введены три частоты повторения зондирующих импульсов, усовершенствованы устройства съема с антенны угловой информации, улучшена элементная база, обеспечено сопряжение с аппаратурой автоматического обнаружения и измерения координат («Вуокса»).

Модернизированная РЛС названа ДРЛС-А. Она сопряжена с ВРЛ «Корень-АС» и называется РЛК «Иртыш». Этот комплекс обес-

печивает информацией в настоящее время все АСУВД «Старт», эксплуатируемые в ГА. На базе РЛК «Иртыш» разработан контейнерный перевозимый в трех автофургонах вариант РЛК «Иртыш-СК», который предназначен для временной установки на РЛП на период замены РЛС на более совершенные, новые. Этот комплекс создан при использовании новой элементной базы (интегральных микромодулей и полупроводников) и имеет повышенную надежность. Устройство СДЦ выполнено на цифровых элементах и обеспечивает коэффициент подпомеховой видимости не хуже 24 дБ.

В первичном канале вместо режима парных импульсов введено одновременное излучение на двух частотах с последующей их совместной обработкой. Флюктуации амплитуд отраженных сигналов, полученные на разных частотах, некоррелированы. Поэтому хотя бы один из двух сигналов будет иметь большую амплитуду, которая обеспечит необходимую дальность обнаружения. У РЛК «Иртыш-СК» хорошие эксплуатационные характеристики, поэтому этот комплекс имеет и стационарный вариант «Иртыш-М».

Кроме этих РЛК, полученных в результате различной степени модернизации, были проведены разработки ОРЛС-А «Экран-85», «Онега» и РЛК «Скала-МПА» на базе РЛК «Скала-МПР». Они имеют первичные и встроенные вторичные каналы с необходимой дальностью действия при высокой вероятности правильного обнаружения ($P_{по} = 0,9$; $P_k = 0,95$), а также высокой надежностью и ремонтоспособностью. РЛС «Онега» прошла испытания в 1982 г., РЛК «Скала-МПР» в 1984 г., РЛС «Экран-85» в 1985 г.

В РЛС «Онега» используется 10-сантиметровый диапазон радиоволн, в «Скале-МПА» и «Экране-85» — 23 см. Испытания показали, что при работе в этом диапазоне (по сравнению с работой $\lambda=23$ см) существенны помехи от метеообразований и земной поверхности, так как они больше на 14 и 7 дБ соответственно. Испытания РЛК «Онега» показали, что при воздействии метеообразований она работает вполне удовлетворительно на дальностях до 150 км. Использование в РЛС «Онега» 10-сантиметрового диапазона привело к уменьшению габаритных размеров и массы антенного устройства и передатчика, что обеспечило создание сравнительно небольшой по размерам РЛС. РЛС «Онега» рекомендуется для использования в системах УВД с малой автоматизацией (МАС) в аэродромных зонах радиусом менее 150 км, а также для АСУ УВД, работающих в зонах с невысокой и средней интенсивностью воздушного движения. В МАС УВД РЛС «Онега» должна использоваться с АПОИ «Вуокса» и аппаратурой отображения типа «Символ-Д». В дальнейшем при поступлении в эксплуатацию РЛС «Онега» будет называться «Дружба». В РЛК имеется вторичный канал, созданный заново.

В аэродромных АСУ УВД с 1984 г. используется РЛК «Скала-МПА» («Скала-М» перевозимая, аэродромная), который создан на базе трассового РЛК «Скала-МПР» и унифицирован с ним. Основ-

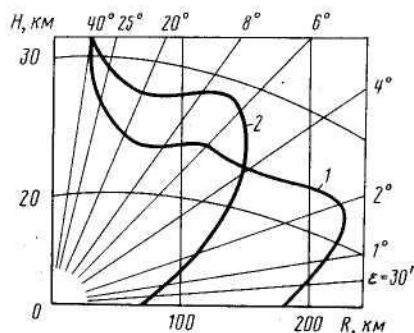


Рис. 8.2. Зона обзора РЛК «Скала-МПА» в вертикальной плоскости: 1, 2 — для нижнего и верхнего луча ДН соответственно

ные отличия — уменьшение излучаемой мощности, размеров антенны и отсутствие третьего (резервного) передатчика. «Скала-МПА» имеет почти вдвое меньшую дальность по сравнению с трассовой РЛС (рис. 8.2). Характеристики РЛК «Скала-МПА», кроме максимальной дальности, практически идентичны характеристикам РЛК «Скала-МНР». РЛС «Экран-85», называемая также глубокая модернизация ДРЛС-7см, а практически выполнена как новая разработка, за исключением антенной системы (на первом этапе). РЛС имеет высокую техническую надежность и может применяться для УВД в аэродромных зонах с малой и средней ИВД. Конструкция вторичного канала в ней заимствована из РЛС «Онега».

8.2. Аэродромный РЛК «Иртыш»

Радиолокаторы ДРЛС-А и «Корень-АС» в РЛК «Иртыш» расположены на одной РЛП и сопряжены в работе при запуске ВРЛС от ДРЛС-А. Антенны ПРК и ВРК располагаются на общем основании. Аппаратура РЛК размещена в антенном домике недалеко от КДП и частично на КДП. Далее будет дано описание структурной схемы только первичного канала, т. е. ДРЛС-А (рис. 8.3). Радиолокатор имеет два независимых приемопередающих канала. В первом канале при приеме производится амплитудная обработка сигналов, во втором — фазовая для СДЦ. Передатчики имеют обозначения *Прд-А* и *Прд-Ф* или *Прд-СДЦ* соответственно. Имеется также третий резервный передатчик *Прд-Р*. Передатчик *Прд-Ф* для обеспечения защиты от слепых скоростей имеет три фиксированных частоты повторения. Резервный передатчик может работать на любой из них. Передатчики имеют магнетронные генераторы с механической подстройкой частоты по сигналам от схемы автоматической подстройки частоты АПЧ в случае ухода частоты магнетрона или гетеродина. Ранее *Прд-А* предназначался для формирования зондирующих импульсов не только в пассивном, но и в активном режиме. Он излучал парные посылки — запросный код, одновременно являющийся зондирующей посылкой для пассивного первичного канала, называемого также каналом парных импульсов (ПИ). Этот режим излучения остался. Каждый из передатчиков имеет свою несущую частоту.

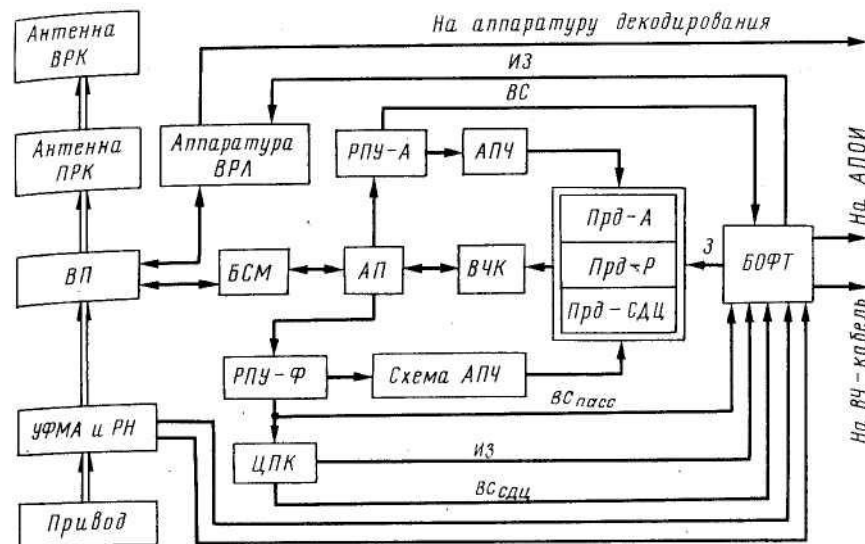


Рис. 8.3. Структурная схема первичного канала РЛК «Иртыш» (ДРЛС-А): ИЗ — импульс запуска; ВС — видеосигнал; $ВС_{пасс}$ — видеосигнал пассивный

Основная антенна РЛК размерами 14x7 м имеет ширину ДН $\theta_{\Gamma} = 1,5^{\circ}$ и коэффициент усиления $G=1300$. Антенна закрыта стеклотекстолитовым радиопрозрачным ветрозащитным устройством «Шалаш-2у» диаметром 26 м, состоящим из панелей, скрепленных болтами из того же материала. Вне укрытия размещена резервная антенна размерами 9x4 м с $\theta_{\Gamma} = 2,5^{\circ}$ и $G = 900$. Зеркала антенн решетчатые и создают косекансные ДН. Зоны обзора в вертикальной плоскости, создаваемые этими антеннами и антенной ВРК, приведены на рис. 8.4. При установке РЛК, в горной местности создается луч индикации высотных целей, который приподнят на 5° над направлением максимума нижнего луча. Для образования верхнего луча в антенное устройство вводится специальный облучатель. К антенне энергия подается через высокочастотный коммутатор (ВЧК), антенные переключатели АП, блок сложения мощностей БСМ (см. рис. 8.3) и коммутатор

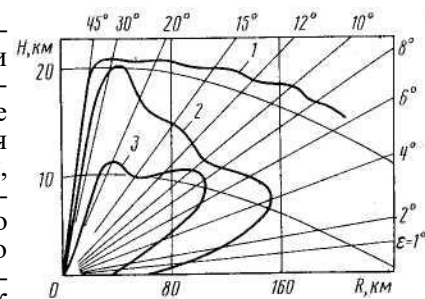


Рис. 8.4. Зона обзора РЛК «Иртыш» в вертикальной плоскости: 1 — для активного (вторичного) канала; 2 — для основной антенны первичного канала; 3 — для резервной антенны первичного канала

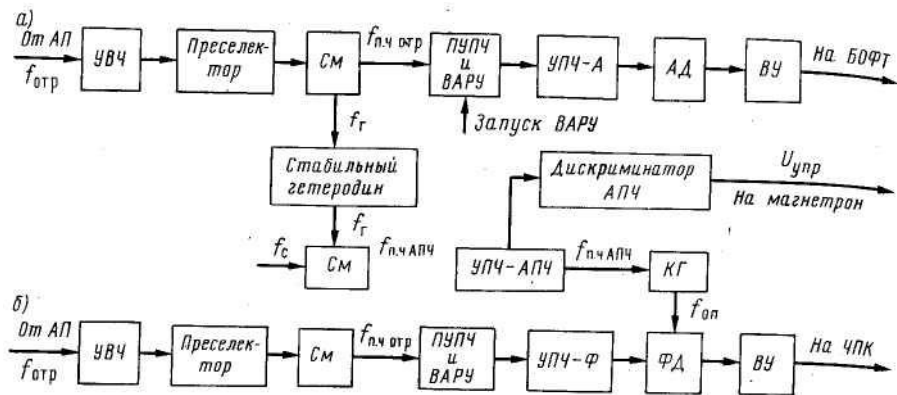


Рис. 8.5. Структурная схема приемного устройства первичного канала РЛК «Иртыш»: а — канал амплитудного детектирования; б — канал фазового детектирования

антенн, который подключает к тракту основную или резервную антенну. В волноводном тракте имеется вращающийся переход ВП. С антенным приводом связано устройство формирования малых азимутальных меток и развертывающих напряжений УФМА и РН.

Первичный радиолокационный канал имеет два супергетеродинных радиоприемных устройства: РПУ-А (рис. 8.5, а) и РПУ-Ф (рис. 8.5, б). В канал парных импульсов (РПУ-А) входит амплитудный детектор АД, в канал СДЦ (РПУ-Ф) — фазовый детектор ФД. Оба приемника имеют усилители высокой частоты УВЧ транзисторного типа, обеспечивающие усиление около 16 дБ и имеющие коэффициент шума 6,5 дБ. Из УВЧ сигналы поступают на преселекторы, затем на смесители СМ преобразователей частоты и далее в предварительные усилители промежуточной частоты ПУПЧ. В них имеется схема VARU для защиты от сильных сигналов, отраженных от земной поверхности и местных предметов в ближней зоне (15... 45 км). После детектирования в амплитудном детекторе и усиле-

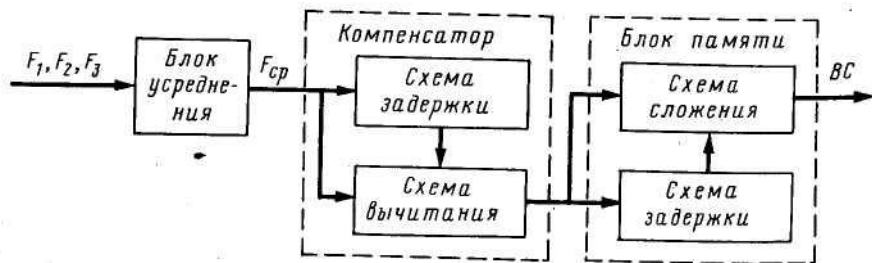


Рис. 8.6. Структурная схема череспериодного компенсатора устройства СДЦ РЛК «Иртыш»

ния в ВУ из РПУ-А видеосигналы подаются на блок обработки и формирования сигналов трансляции БОФТ (см. рис. 8.3). В РПУ-Ф отраженный сигнал $f_{отр}$ (на ПЧ) сравнивается с фазой опорного сигнала $f_{оп}$, полученного от когерентного гетеродина КГ, которому навязана фаза зондирующего импульса $f_{пч.апч}$. Напряжение огибающей колебаний, полученных из-за разности фаз колебаний сравниваемых в ФД частот $f_{пч.отр}$ и $f_{оп}$, превращается в видеосигналы с той же огибающей. Они после усиления в ВУ идут на череспериодный компенсатор ЧПК устройства СДЦ. Компенсатор работает с однократным вычитанием (рис. 8.6), его задачей является селекция сигналов движущихся целей. На входе компенсатора три частоты повторения усредняются до $F_{cp} = 1000$ Гц в блоке усреднения. Для увеличения вероятности обнаружения полезных сигналов на выходе ЧПК имеется блок памяти, задачей которого является сложение сигналов за два очередных периода повторения. Остатки сигналов от неподвижных целей в блоке памяти ликвидируются методом ограничения снизу.

От ЧПК и видеоусилителя канала РПУ-А или от видеоусилителей каналов РПУ-А и РПУ-Ф сигналы подаются на устройства обработки, очистки и формирования их для подготовки трансляции на КДП (рис. 8.7). В этом блоке производится обработка смеси напряжений сигналов и шумов в пороговых устройствах по критерию $U_{с+ш} / U_{пор} \geq 3$. После порога сигналы объединяются в схеме сложения. Видеосигналы, поступающие из канала СДЦ, бланкируются по времени сигналами, соответствующими дальностям расположения мешающих местных объектов в диапазоне 15...57 км (100...380 мкс).

Селекция и обнаружение сигналов осуществляются по методу «движущегося» окна по критерию «К из М». В цифровом анализаторе могут быть установлены критерии $K = 2, 3, 4$ при $M = 2, 3, 4, 5$. Видеосигналы целей формируются, а затем передаются на КДП вместе со служебными сигналами (импульсы запуска, метки дальности и азимута а, импульс «Север», развертывающие напряже-

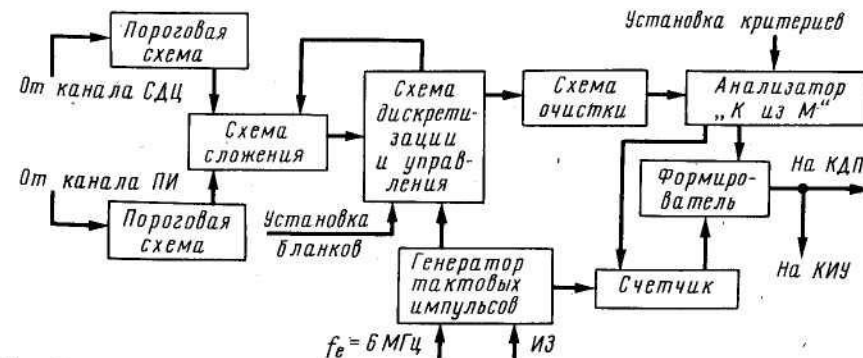


Рис. 8.7. Структурная схема блока очистки и формирования выходных сигналов РЛК «Иртыш»

ния). Информация от РЛС передается в АС УВД по двум каналам: широкополосному ВЧ-кабелю и по узкополосной проводной линии. По ВЧ-кабелю идут видеосигналы и импульс запуска. По узкополосной линии передаются сигналы для формирования меток и развертки на ИКО.

Датчиком меток азимута и импульсов формирования развертывающих напряжений (РН) является связанный с приводом антенны магнитный барабан с магнитными головками — устройство ФМА и РН (см. рис. 8.3). На поверхности барабана нанесены 7 основных и 7 запасных дорожек, на каждой паре которых имеются: три квадрантные метки (через 90°), одна метка «Север», 4096 азимутальных меток (каждая метка через $5'$), 24 азимутальные метки через 10° и 12 через 30° , 2044 метки, временные промежутки между которыми распределены по синусоидальному закону, 2044 — с распределением промежутков по косинусоидальному закону. Все метки поступают на блок формирования и трансляции на приемной стороне.

Выносной ИКО на КДП (рис. 8.8) предназначен для получения на экране ЭЛТ отметок целей и линии пеленга с АРП на ВС, с экипажем которого оператор ведет связь. В ИКО использована ЭЛТ типа 31 ЛМ 32 В с магнитной фокусировкой и магнитным отклонением луча. Развертка — радиально-круговая, создаваемая напряжением, идущим с генератора пилообразных напряжений («пилы»), и напряжениями $u \sin \alpha$ и $u \cos \alpha$, поступающими с цифроаналогового преобразователя ЦАП на горизонтально и вертикально отклоняющие катушки ГОК и ВОК соответственно.

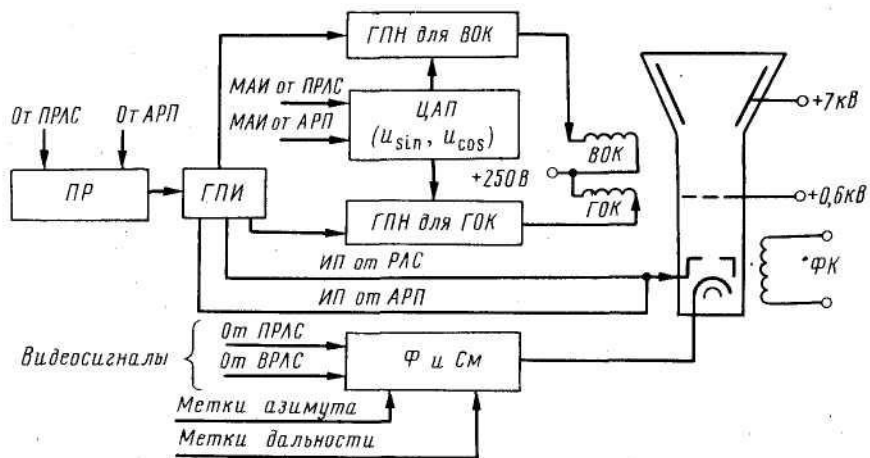


Рис. 8.8. Схема выносного ИКО (РЛК «Иртыш»): ПР — переключатель режимов; ГПИ — генератор прямоугольных импульсов; ГПН — генератор пилообразных напряжений; Ф и См — формирователь и смеситель; ИП — импульсы подсвета

Индикатор имеет четыре масштаба дальности: 30, 45, 90 и 200 км. На экране высвечиваются основные и опорные метки дальности — 10 и 2 км для масштабов 45 и 30 км, а также 50 и 10 км для масштабов 90 и 200 км. В ИКО можно регулировать фокусировку луча, центрирование развертки по горизонтали и вертикали, смещение центра, яркость меток.

Аппаратурой РЛС «Иртыш» можно управлять местно и дистанционно. Управление и контроль работоспособности РЛС централизованы и сосредоточены на пультах управления, находящихся на радиолокационной позиции и КДП. Дистанционное управление и сигнализация о состоянии аппаратуры осуществляются по кабельной линии связи с помощью аппаратуры телеуправления и телесигнализации (ТУ—ТС). Основной режим резервирования — автоматический, осуществляемый по сигналам работоспособности, вырабатываемым встроенной аппаратурой контроля.

8.3. Аэродромная обзорная РЛС АОРЛ-85 («Экран-85»)

РЛС предназначена для обнаружения ВС в аэродромной зоне с малой и средней интенсивностью полетов. Она разрабатывалась как модернизация ДРЛС-7см с внесением в нее следующих изменений: перевод на новую элементную базу, создание новых первичного и вторичного каналов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, разработка принципиально нового по конструкции и с улучшенными характеристиками устройства СДЦ, сопряжение с новыми и перспективными средствами обработки и отображения РЛ информации, введение устройств, обеспечивающих допусковый контроль работоспособности и автоматическое обнаружение неисправностей аппаратуры, и функционально законченных устройств. РЛС испытана совместно с аппаратурой отображения «Символ-Д» и «Комета-МД» в 1985 г. в аэропорту Челябинск и с аппаратурой «Знак» в аэропорту Адлер.

АОРЛ-85 («Экран-85») — передвижная, размещается в двух автомобильных кузовах. Кузова съемные и могут устанавливаться на фундаменте. Антенная система, устанавливаемая на крыше, перед транспортировкой снимается. Для резервирования используется второй комплект. Планируются три варианта комплектации: РЛС «Экран-85», АПОИ «Вуокса», АПД, аппаратура отображения «Строка-Б — Страница»; РЛС «Экран-85», АПОИ «Вуокса», АПД, аппаратура отображения «Символ-Д»; РЛС «Экран-85», линия трансляции, аппаратура отображения «Комета-МД».

РЛС имеет круговой и секторный (в пределах угла 45°) обзор по азимуту. ЭТХ указаны в табл. 8.2. Для уменьшения отражений от земли угол места антенны может изменяться от $+3^\circ 40'$ до $-3^\circ 20'$. Зоны обзора, обеспечиваемые каналами ПРК и ВРК, приведены на рис. 8.9.

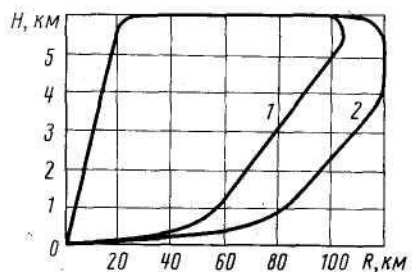


Рис. 8.9. Зона обзора РЛК «Экран-85» в вертикальной плоскости: 1— ПРК; 2— ВРК

ПРК работает в диапазоне волн $\lambda = 3$ см и имеет два режима - пассивный и активный с СДЦ ВРК работает с ответчиком СОМ-64 в режимах УВД, РБС и УВД-М. С устройством СДЦ дальность действия 50... 100 км. Размеры зоны действия СДЦ радиусом до 50 и до 100 км устанавливаются оперативно. Для защиты от слепых скоростей используется восемь переменных частот повторения зондирующих импульсов с периодами повторения 1888...2600 мкс. Кроме

обычных методов защиты приемника ПРК от помех, введено специальное устройство защиты от несинхронных импульсных помех, создаваемых другими РЛС. Принятые меры по защите РЛС от помех обеспечивают получение на выходе не более 25 ложных обнаружений ВС, что позволяет использовать РЛС в АС УВД.

В аппаратном и агрегатном кузовах расположены передающие и приемные устройства каналов ВРК и ПРК с устройствами СДЦ, а также приводы вращения антенных систем, АПОИ «Вуокса» и передающая часть АПД, аппаратура ТУ—ТС, контрольный индикатор, вспомогательное оборудование, ЗИП, контрольно-измерительные приборы, эксплуатационная документация.

Аппаратура РЛС имеет 100%-ное резервирование (кроме антенной системы). Комплекты передающей и приемной аппаратуры размещаются в разных автокузовах. Имеется резервное питание. Время приведения РЛС в рабочее состояние не более 6 мин. Переход с работающего комплекса РЛС на резервный не более 12 с. Переход на резервное питание автоматический. При перерыве в питании 2 с повторного включения не требуется, но перерыв в выдаче информации будет 12 с.

Трехкаскадный передатчик (транзисторный усилитель, усилитель ЛБВ, усилитель на амплитроне) имеет дисперсионный фильтр, который производит линейно-частотную модуляцию зондирующего импульса длительностью 24 мкс и мощностью 30 кВт. Этот импульс при приеме сжимается своим дисперсионным фильтром до 1 мкс.

Антенна (с зеркалом 7,5X4 м) формирует ДН в вертикальной плоскости из двух лучей: верхнего и нижнего, у каждого луча свой облучатель. В ВРК имеется антенна подавления, работающая в отечественном и международном диапазонах для заднего полупространства. Для переднего полупространства диаграмма подавления формируется зеркалом ПРК и облучателем ВРК международного диапазона.

Привод антенны имеет опору и редуктор. Опора соединена с валом преобразователя, в котором фотоэлектрическим способом,

т.е. с помощью диска с прорезями, электрических ламп и фотодиодов текущий угол поворота антенны превращается в импульсы «Север» и 4096 МАИ. Вал связан с электромагнитным датчиком, обеспечивающим съём синусно-косинусных напряжений, необходимых для создания развертывающих напряжений в контрольном индикаторе. Редуктор имеет два электропривода, которые работают вместе при пуске РЛС и в случае сильных ветровых нагрузок.

Передатчик ВРК и сигналы, им излучаемые, имеют стандартные для этого канала параметры. В передатчик ВРК входят транзисторный возбудитель и трехкаскадный усилитель на металлокерамических лампах. Переключение излучения из запросного канала в канал подавления осуществляется с помощью быстродействующего переключателя, что позволило отказаться от дополнительного передатчика подавления.

Приемное устройство ПРК - супергетеродинного типа, чувствительность 137 дБ/Вт, двухканальное (для обеспечения приема по верхнему и нижнему лучам), имеет ШАРУ и ВАРУ. Устройство СДЦ с двукратным ЧПК выполнено на базе приборов с переносом зарядов (см. § 6.2). Зона действия СДЦ разбивается элементами его устройства на дискреты, значения которых зависят от размеров зоны: в зоне до 60 км дискреты 10x10 км, в зоне 60...120 км дискреты 10x20 км. Устройство СДЦ обеспечивает коэффициент подпомеховой видимости 18 дБ. Приемные тракты ВРК имеют каналы подавления боковых лепестков и ВАРУ, включающиеся при прохождении лучом антенны заданного сектора.

Масса и габаритные размеры приемников и импульсных схем ПРК и ВРК значительно уменьшены по сравнению с ДРЛС-7 см, так как собраны на полупроводниках, микросхемах и микросборках. В передатчике использован сложный широкополосный сигнал с линейной частотной модуляцией. Надежность РЛС улучшилась.

В зависимости от комплектации на КДП передаются либо аналоговые, либо обработанные в АПОИ кодовые сигналы. Аналоговые сигналы передаются по широкополосному кабелю на дальность до 3 км. Кодовая информация, сигналы «Север» и МАИ передаются по узкополосным линиям.

Аппаратура телеуправления и телеконтроля, установленная в КДП, обеспечивает дистанционное управление режимами работы РЛС, а также контроль и сигнализацию о ее техническом состоянии.

8-4. Аэродромная РЛС «Дружба» («Онега-А»)

РЛС «Дружба» («Онега») предназначена для обеспечения радиолокационного контроля и УВД в аэродромных зонах со средней интенсивностью полетов при использовании информации, получаемой по первичному и вторичному каналам. Последний работает в режимах УВД, РБС и УВД-М.

⁶ Зак. 1972

РЛС - перевозимая, размещается в кузовах трех автомобилей В состав РЛС входят: аппаратура ОРЛС-А; две антенные системы с опорно-поворотными устройствами, установленными на 15-метровых мачтах; аппаратура первичной обработки информации АПОИ «Вуокса»; аппаратура, размещаемая на КДП (аппаратура приема обработанной РЛИ, аппаратура отображения воздушной обстановки «Символ-Д», аппаратура ТУ — ТК дистанционного управления РЛС, контроля и сигнализации о ее техническом состоянии); устройство кабельной высокочастотной (широкополосной) и проводной (узкополосной) линии для передачи аналоговой и кодированной РЛИ на КДП аэродрома. Эта линия может иметь длину до 2 км.

Аппаратура основного и резервного комплектов РЛС «Онега» размещается в двух кузовах. В третьем кузове размещаются устройства сопряжения всей перечисленной ранее аппаратуры.

РЛС работает в диапазоне радиоволн $\lambda = 10$ см, использование которого позволило снизить габаритные размеры и массу антенных и передающих устройств. Однако в этом диапазоне в ПРК при дальности до 50 км наблюдаются большие, чем в более длинноволновом диапазоне, отражения от земной поверхности. Это усложняет защиту от них.

Особенность ПРК этой РЛС — использование в нем сложного широкополосного сигнала с линейной частотной внутриимпульсной модуляцией. Длительность зондирующего сигнала $\tau = 24$ мкс с девиацией частоты внутри импульса 2 МГц. При приеме в процессе обработки сигнал сжимается до 1 мкс, поэтому большая длительность зондирующего сигнала не ухудшает разрешающей способности РЛС по дальности.

В передатчиках ПРК применяются многорезонаторные усилительные клистроны типа «Аэродром», генерирующие сигнал мощностью $P_{и} = 100$ кВт, которая излучается с частотой повторения 700 Гц и изменяется в пределах $\pm 20\%$ (для ликвидации «слепых» скоростей наблюдаемых целей). Использование этого сигнала и оптимальная фильтрация в приемнике с сжатием длительности импульса и чувствительностью 128 дБ/Вт позволили обеспечить необходимую максимальную дальность действия РЛС и достаточно высокую разрешающую способность по дальности.

Аппаратура ВРК сконструирована заново, удовлетворяет требованиям, предъявляемым нормами к ВРЛ. В ее схемах использована новая элементная база, которая позволила значительно повысить надежность канала. Основные эксплуатационно-технические характеристики РЛК следующие: зона обзора по каналу ПРК при $P_{по} = 0,9$; $P_{лт} = 10^{-6}$ и $\sigma = 10$ м² с основной (резервной) антенной при высоте полета 1200 м 3...80 км (5...50 км), а при высоте 10 000 м 18...150 км (26...90 км). По каналу ВРК при $P_{к} = 0,95$ дальность действия будет: при высоте полета 1000 м — 110 км, а при высоте 10 000 м — 200 км. Остальные характеристики приведены в табл. 8.2.

9.1. Особенности использования и основные требования к РЛС-П

Радиолокационные станции посадки (РЛС-П) или, как они именуются в ряде документов, посадочные радиолокаторы (ПРЛ) являются частью радиотехнических средств обеспечения посадки (РТС ОП) наряду с радиомаячными системами посадки (РМСП). Маячная система обеспечивает получение на борту информации, необходимой для движения ВС по заданной линии посадки, а с помощью РЛС-П осуществляется наземный контроль за снижением ВС по линии курса (ЛК) и глиссады (ЛГ) путем определения удаления ВС от расчетной точки приземления (ТП) и его отклонений от ЛК и ЛГ. Измеренные диспетчером или автоматически значения удаления и отклонений передаются на борт ВС.

В документах ИКАО указывается, что наличие РЛС-П желательно во всех системах средств обеспечения посадки, однако их содержание и использование относительно дороги и в ряде случаев состав РТСОП ограничивается только РМСП. РЛС-П является трехкоординатной станцией, осуществляющей обзор воздушного пространства (ВП) в зоне предпосадочного и посадочного маневров. Для оценки удаления ВС от ТП и отклонений от ЛК и ЛГ на ИУ станции строятся два изображения: курсовое и глиссадное.

Отображение пространства в РЛС-П бывает двух видов: клиновидное и прямоугольное. При этом клиновидное отображение — с радиально-секторной разверткой луча ЭЛТ (рис. 9.1, а), прямоугольное — со строчно-кадровой разверткой (рис. 9.1, б). На клиновидном изображении ЛГ и ЛК отображаются прямыми линиями, на прямоугольном — кривыми параболической формы. В первом случае пространство отображается в естественном, неискаженном виде, а при прямоугольном оно искажается. Однако при этом с уменьшением удаления ВС видимое на экране отклонение ВС от ЛГ и ЛК увеличивается, что обеспечивает большую точность определения отклонения, чем на клиновидном изображении. Искажению подвергаются все линии, не проходящие через точку расположения РЛС-П. Кроме ЛК и ЛГ, называемых также линиями заданного положения- (ЛЗП), на экране (рис. 9.2) отображаются: линии равных высот *ЛРВ*, линии равных отклонений *ЛРО* от ЛК и ЛГ, необходимые для контроля посадочного маневра и оценки отклонений ВС,

метки дальности $MД$ для определения удаления ВС и метки азимутов $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_{20}$ (МА) и углов места $\beta_0, \beta_1, \beta_{20}$ (МУМ) для контроля правильности отображения местности на экране. Так как числовая оценка азимута ВС и угла места диспетчеру не нужна, то на вертикальных осях изображений эти величины отсутствуют.

Дальность откладывается по горизонтальной оси изображения и может иметь линейный или нелинейный масштабы. Последний обеспечивает большую точность оценки малых дальностей. Для определения дальностей имеются метки: опорные через 5 км, основные через 1 км.

К РЛС-П предъявляются высокие требования по разрешающей способности и точности определения удаления и отклонений ВС от ЛЗП. Поэтому для РЛС-П выбран сантиметровый диапазон радиоволн (около 3,2 см), в котором легче создаются узкие ДН (меньше 1°), необходимые для получения высокой разрешающей способности по углу. Этот диапазон волн позволяет создать антенны приемлемых габаритных размеров с относительно небольшой массой и организовать быстрое сканирование антенн для получения малого времени обновления информации (≈ 1 с).

Существенный недостаток сантиметрового диапазона — довольно сильное поглощение энергии в метеосадках — в РЛС-П компенсируется сравнительно большой мощностью излучения (около 150 кВт), что достаточно, так как РЛС-П должны обеспечивать дальность действия 20...30 км. В сантиметровом диапазоне проще создать импульсы малой длительности (около 0,5 мкс), которые необходимы для получения высокой разрешающей способности по дальности и точности определения отклонений. Кроме того, в этом диапазоне волноводы канализации энергии также имеют небольшие габаритные размеры.

Высокая вероятность обнаружения сигналов, отраженных от ВС при значительных внутренних шумах, присущих сантиметровому

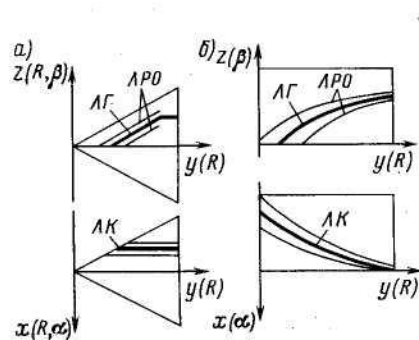


Рис. 9.1. Схемы клиновидных (а) и прямоугольных (б) изображений линий: глissады, курса и равных отклонений

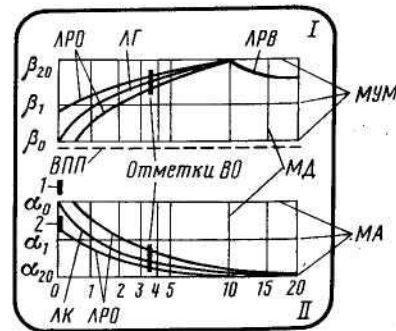


Рис. 9.2. Глissадное (I) и курсовое (II) прямоугольные изображения: 1, 2 — отметки от «уголков»

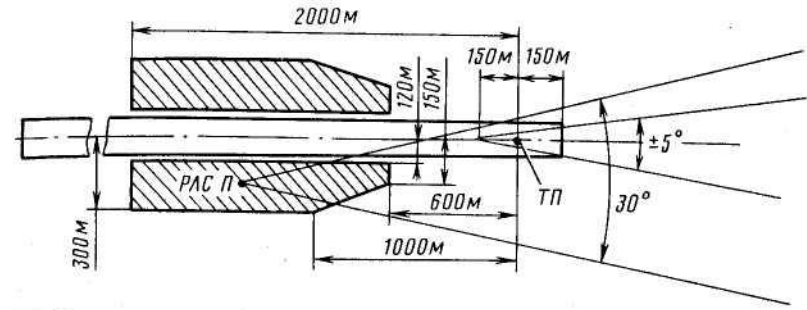


Рис. 9.3. Схема расположения площадей возможного размещения РЛС-П относительно ВПП и углы обзора, обеспечиваемые РЛС-П

диапазону, а также точность оценок отклонений ВС обеспечена значительным количеством импульсов в пачке отраженных сигналов, так как РЛС-П имеет высокую частоту повторения (около 2 кГц). Все указанные особенности позволили создать РЛС-П в относительно небольших габаритах. Это дало возможность разместить ее антенную и высокочастотную части вблизи ВПП.

РЛС-П представляет собой обычную РЛС с магнетронным передатчиком. РЛС резервирована. Основная обрабатывающая угловую и координатную информацию аппаратура размещается в техническом зале, а индикаторы и пульта управления — в диспетчерском зале КДП. Аппаратура технического зала и антенного домика, где размещается ВЧ часть РЛС и часть обрабатывающей аппаратуры, могут располагаться на расстоянии 5...6 км.

По межведомственным нормам рекомендуется иметь как пассивный, так и активный режимы работы РЛС-П. В ГА используются РЛС-П, изготавливаемые фирмой «Tesla» (РП-3ф, РП-3Г, РП-4Г и РП-5Г). Все эти РЛС-П работают только в пассивном режиме и создают прямоугольные изображения. В нашей стране эксплуатируются также РЛС-П с клиновидными изображениями (ранее ПРЛ-4, ПРЛ-5, ПРЛ-6, ныне ПРЛ-7 и ПРЛ-8), работающие в пассивном и активном режимах.

Размещение РЛС-П и требования к зоне обзора. РЛС-П размещается вблизи ВПП. Места ее возможного расположения относительно ВПП указаны в технической документации. Так, для РП-4Г эти места показаны заштрихованными площадками на рис. 9.3.

При длинных ВПП РЛС устанавливается таким образом, чтобы посадка была возможна с обоих направлений. Размещение РЛС-П в пределах указанных площадок обеспечивает выполнение требований наблюдения ВС в зоне обзора РЛС, расположенной определенным образом по отношению к оси ВПП и точке приземления (ТП). Эти требования определены документами ИКАО и дополнены межведомственными нормами, действующими в нашей стране. По требо-

ваниям ИКАО РЛС-П должна обнаруживать ВС с эффективной площадью отражения 15 м^2 на расстоянии не менее 17 км в секторе не менее 20° по азимуту и не менее 7° по углу места. По межведомственным нормам дальность обнаружения должна быть не менее 20 км при дожде 4 мм/ч и работе РЛС-П в режиме СДЦ, а сектор обзора не менее 30° по азимуту и не менее 9° по углу места, причем нижняя кромка зоны обзора должна быть ниже ВПП на 1° . Зона обзора должна располагаться таким образом, чтобы наблюдение осуществлялось в секторе $\pm 5^\circ$ относительно оси ВПП, имеющем начало в точке на ее оси на расстоянии 150 м от ТП и в секторе углов места, равном вышеупомянутым значениям. Более подробные указания имеются в технической документации.

В межведомственных нормах имеются также следующие требования. РЛС-П должны обеспечивать выполнение полетов со снижением до высоты принятия решения 30 м при дальности видимости не менее 400 м с вероятностью успешных заходов на посадку 0,95.

Допустимые погрешности определения отклонений и разрешающая способность РЛС-П. Требования к характеристикам РСЛ-П сформулированы в документах ИКАО и межведомственных нормах. Кратко требования ИКАО по точности определения местоположения ВС следующие:

погрешность определения удаления ВС от точки ТП не должна быть больше $\delta R = 30 \text{ м} + 0,03 R$, где R — расстояние от ТП до ВС, м;

погрешность определения отклонений от ЛК $\delta K = 0,006 R_A + 0,1 \Delta y$, или 9 м, где Δy — отклонение ВС от ЛК; R_A — расстояние от антенны до ВС (берется большая из погрешностей);

погрешность в точке приземления $\delta K = 0,003 R_A$, или 4,5 м, что больше;

погрешность определения отклонений от ЛГ должна составлять $\delta L = 0,004 R_A + 0,1 \Delta Z$, или 6 м, где ΔZ — отклонение ВС от ЛГ (берется большая величина);

погрешность в ТП в вертикальной плоскости в опорной точке ИЛС (на глиссаде над торцом ВПП) не должна превышать $\delta B = 0,002 R_{A-TP}$, или 3 м, что больше, где R_{A-TP} — расстояние от ТП до РЛС-П.

По межведомственным нормам требования к точности те же, что выработаны ИКАО, но дополнены уровнем доверительной вероятности этих погрешностей 0,997. Разрешающая способность РЛС-П по дальности 120 м, по азимуту $1,2^\circ$ и по углу места $0,6^\circ$. Угловая скорость обзора должна обеспечивать обновление информации с темпом не хуже 1 с.

Уголкового отражатели (УО). Они представляют собой поднятые на 1,5...2 м над землей конструкции в виде трехгранной пирамиды с открытым в сторону РЛС-П основанием. Высота пирамиды 400 мм, длина стороны 600 мм. Уголкового отражатели служат для создания искусственных радиолокационных объектов, расположенных в видимости РЛС в определенных относительно ВПП и РЛС-П местах.

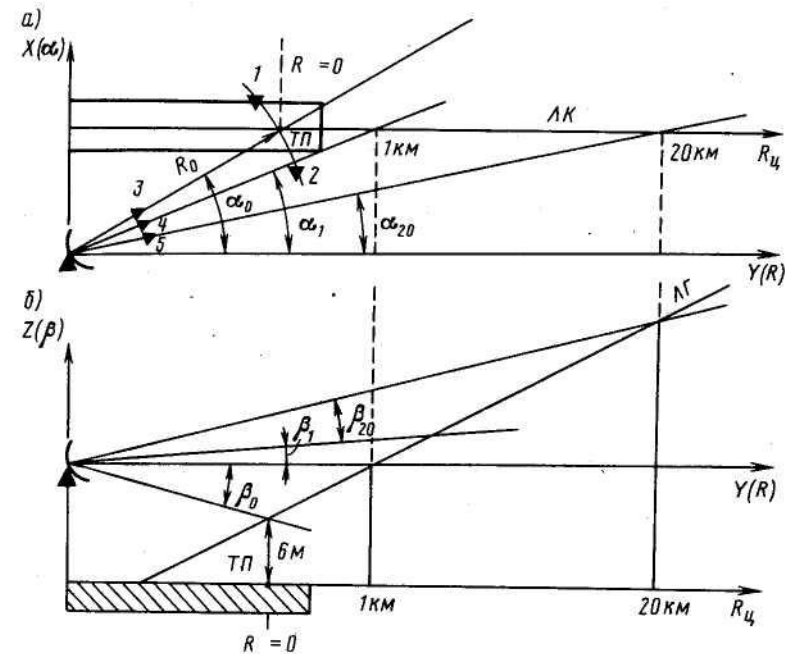


Рис. 9.4. Схема расположения уголковых отражателей (1...5), линий курса (а), глиссады (б) и опорных направлений углов α и β

Вследствие переотражений излученной РЛС-П электромагнитной энергии уголок создает искусственную цель. Эти цели используются как радиолокационные ориентиры по отметкам, от которых на курсовом изображении устанавливаются метка нулевой дальности, ТП, соответствующая началу ЛК, метки контрольных азимутов и углов места.

На рис. 9.4, а показано расположение УО 1 и 2, необходимых для определения на экране точки начала отсчета удаления ВС. Уголкового отражатели размещаются на дуге радиусом R_0 с центром в точке расположения РЛС-П. Эта дуга на прямоугольном изображении отображена меткой дальности $R = 0$. Точка начала отсчета удаления находится в точке приземления, которая на экране ИУ будет в месте пересечения дуги, проходящей через УО и оси ВПП. Места размещения УО относительно ВПП указаны в технической документации на РЛС-П значениями величин их расположения от торца и боковых сторон ВПП.

Для привязки курсового изображения к местности в видимости от РЛС-П с помощью оптических приборов устанавливаются три УО 3, 4 и 5 на азимутах α_0 , α_1 и α_{20} , имеющих начало в месте излу-

чатера антенны. Линия курса на изображении должна проходить через ТП и совпадать с осью ВПП.

Контроль правильности курсового изображения заключается в проверке (см. рис. 9.2, б) совмещения метки азимута α_0 и ЛК на нулевой дальности в точке, расположенной посередине между двумя отметками от УО 1 и 2, т. е. в ТП, а также в контроле наличия пересечения ЛК с метками α_1 и α_{20} на дальностях 1 и 20 км от ТП соответственно.

Правильность расположения ЛГ проверяют по контрольным меткам линий углов места (см. рис. 9.2, а), которые соответствуют в пространстве контрольным углам места β_0, β_1 и β_{20} . ЛГ проходит выше на 6 м ТП, расположенной на оси ВПП, и через точки пересечения указанных меток углов места с метками дальности 0, 1 и 20 км. Правильность расположения контрольных меток углов места обеспечивается проверками, проводимыми на курсовом изображении, так как азимуты α_0, α_1 и α_{20} являются проекциями линий углов места β_0, β_1 и β_{20} на землю.

9.2. Закономерности отображения линий заданного положения

Линии заданного положения (ЛЗП) и другие линии и метки отображаются путем подачи на управляющий электрод ЭЛТ индикатора импульсов подсвета в моменты, когда луч развертки находится в месте, где должен отображаться тот или другой элемент линий и меток. Моменты подачи импульсов подсветки относительно синхроимпульсов (импульсов запуска передатчика РЛС-П) определяются временем запаздывания, t_3 , т. е. соответствующими этим t_3 расстояниями между РЛС-П и отображаемыми точками пространства наблюдения. Моменты времени для отображения ЛЗП и меток дальностей определяются в вычислительном устройстве РЛС и выдаются на генератор сигналов подсветки в ИУ.

Для воспроизведения меток контрольных азимутов в ИУ вырабатываются импульсы подсветки по сигналам, приходящим от фотодатчиков, в моменты прохождения антенной направлений контрольных азимутов. Точность моментов выдачи сигналов прохождения направлений контрольных азимутов (погрешность не более 9') обеспечивается первоначальной юстировкой антенны и при плановых регламентных работах.

Отображение ЛК. Определим время запаздывания t_{3K} для отображения ЛК ЛРО. Из треугольника РАК (рис. 9.5, а) следует, что расстояние от РЛС-П (точка Р) до ЛК, т. е. до точки К,

$$R_K = X_0 / \sin \alpha \text{ или } R_K \approx X_0 / \alpha,$$

где α — текущий азимут антенны, снимаемый с РЛС-П.

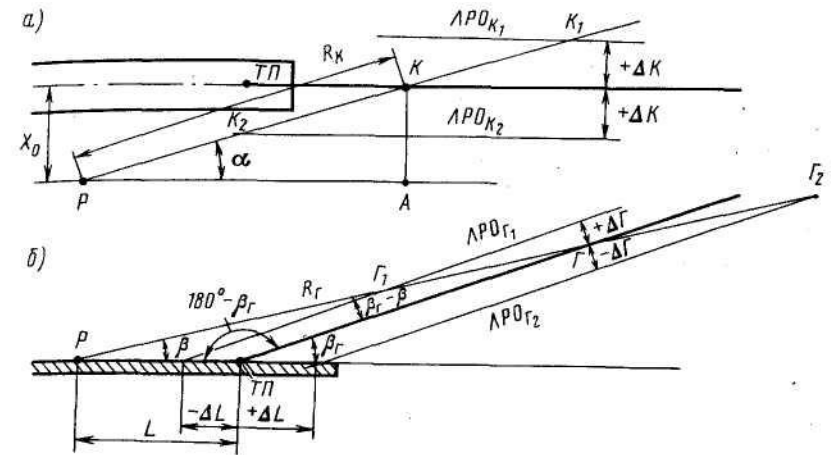


Рис. 9.5. Схема для расчета времени запаздывания при отображении линий заданного положения ВС на курсовом (а) и глиссадном (б) изображениях

Текущие расстояния от РЛС-П до ЛРО $_{K1}$ и ЛРО $_{K2}$, т. е. до точек K_1 и K_2 :

$$R_{K1} \approx (X_0 + \Delta K) / \alpha \text{ и } R_{K2} \approx (X_0 - \Delta K) / \alpha.$$

Время задержек выдачи сигналов подсвета меток ЛК и ЛРО от синхроимпульсов:

$$t_{3K} = \frac{2X_0}{c\alpha}; \quad t_{3K1} = \frac{2(X_0 + \Delta K)}{c\alpha}; \quad t_{3K2} = \frac{2(X_0 - \Delta K)}{c\alpha},$$

где c — скорость распространения радиоволн.

Отображение ЛГ. Рассчитаем время выдачи импульсов подсвета ЛГ и ЛРО.

Для треугольника РТГ (рис. 9.5, б) теорема синусов имеет вид

$$\frac{R_T}{\sin(180 - \beta_T)} = \frac{\alpha}{\sin(\beta_T - \beta)},$$

где β — текущий угол места антенны.

Учитывая малость углов β_T и β , получим:

$$R_T = L\beta_T / (\beta_T - \beta).$$

Расстояния от РЛС-П до ЛРО $_{\Gamma1}$ и ЛРО $_{\Gamma2}$, т. е. до точек Γ_1 и Γ_2 ,

$$R_{\Gamma1} = \frac{(L + \Delta L)\beta_T}{\beta_T - \beta}, \quad R_{\Gamma2} = \frac{(L - \Delta L)\beta_T}{\beta_T - \beta}.$$

Искомые времена задержек:

$$t_r = 2R_r/c; \quad t_{r1} = 2R_{r1}/c, \quad t_{r2} = 2R_{r2}/c.$$

Методы определения удаления и отклонения ВС от ЛЗП. Удаление ВС от точки приземления (начала отсчета удаления) определяется на основании визуальной оценки диспетчером положения переднего фронта отметки ВС относительно опорных и основных меток дальности. Для оценки значения отклонения ВС от ЛЗП применяют три способа, отличающихся мерой отклонения. В качестве меры отклонения отметки от ЛК или ЛГ могут использоваться:

линейное значение отстояния ЛРО от ЛЗП (Δl);

линейное значение отметки ВС (m);

расстояние между метками контрольных азимутов или углов места L , между которыми располагается отметка.

При первом способе (рис. 9.6, а) вначале визуально сравнивают линейное отстояние середины отметки ВС η от ЛЗП с отстоянием ЛРО от ЛЗП Δl на дальности отметки ВС, т. е. глазомерно получают отношение $d = \eta/\Delta l$. Затем умножением этого отношения на величину Δl в метрах получают отклонение ВС от ЛЗП в метрах:

$$\eta = d \cdot \Delta l.$$

Этот способ применяется при нахождении ВС на удалениях 3...5 км. При больших удалениях ВС величина Δl мала и ею неудобно пользоваться для получения отношения d .

При втором способе (рис. 9.6, б) производится относительное сравнение величины отметки ВС m с отклонением середины отметки от ЛЗП, т. е. $d_2 = \eta/m$. Затем умножают глазомерно полученное d_2 на величину в метрах: $\eta = d_2 m$. Этот способ применяется обычно на средних дальностях удаления ВС. В распоряжении диспетчера в этом случае необходимо иметь заранее рассчитанное для конкретного аэродрома значение m для фиксированных дальностей 1...20 км. Рас-

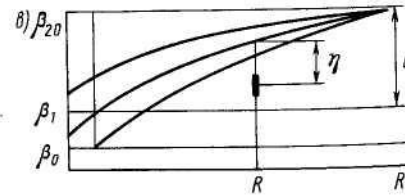
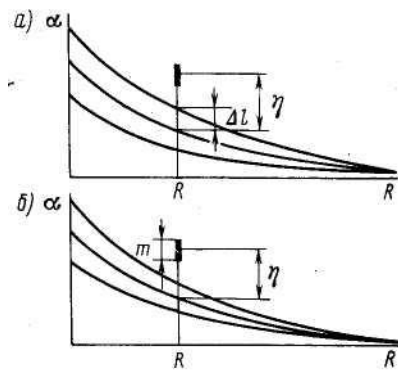


Рис. 9.6. Схемы оценки отклонения отметки от ЛЗП

чет основывается на том, что угловая величина отметки равна ширине ДН, которая принимается равной 1° :

$$m = R_u \operatorname{tg} \alpha = 0,0175 R_u,$$

где $R = R_0 + R_u$; R_0 — дальность от РЛС до ТП; R_u — удаление ВС от ТП; α — ширина ДН у РЛС-П при $\alpha = 1^\circ$, $\operatorname{tg} \alpha = 0,0175$.

При третьем способе (рис. 9.6, в) сравниваются отклонение отметки η от ЛЗП и линейное расстояние между контрольными угловыми метками L , т. е. определяется отношение $d_3 = \eta/L$, $\eta = d_3 L$.

Величина L рассчитывается заранее по угловому расстоянию между метками и расстоянию до отметки ВС:

$$L = (\beta_{20} - \beta_1)R,$$

где $R = R_0 + R_u$.

Описанный способ удобен при больших значениях удалений ВС.

9.3. Принципы построения изображения на индикаторных устройствах РЛС-П

На изображениях линий курса и глissады реальная дальность и углы отображаются в уменьшенном размере, т. е. с определенным масштабным коэффициентом. Этот коэффициент для дальности при линейном масштабировании имеет вид

$$M_R = Y_{\max}/R_{\max},$$

где Y_{\max} — максимальная длина изображения, мм; R_{\max} — максимальная дальность, км.

Масштабные коэффициенты углов α и β на прямоугольном изображении будут соответственно:

$$M_\alpha = \frac{X_{\max}}{\alpha_{\max+} + |\alpha_{\max-}|}; \quad M_\beta = \frac{Z_{\max\pm}}{\beta_{\max+} + |\beta_{\min-}|},$$

где X_{\max} — максимальная длина линий на курсовом изображении, соответствующая углам левой $\alpha_{\max+}$ и правой $\alpha_{\max-}$ границ сектора обзора; $Z_{\max\pm}$ — длина линии на глissадном изображении, соответствующей верхней $\beta_{\max+}$ и нижней $\beta_{\min-}$ границам сектора обзора.

Для курсового и глissадного изображения текущие координаты ЛК и ЛГ (в миллиметрах) выражаются зависимостью

$$Y = M_R R,$$

где R — текущая дальность, которая при расчетах берется равной значениям основных и опорных меток дальностей, км.

Для курсового и глissадного изображений соответственно имеем:

$$X = M_\alpha \alpha; Z = M_\beta \beta.$$

Учитывая, что $R_K \approx X_0/\alpha$, получим

$$X = M_\alpha \frac{X_0}{\alpha}.$$

Эта функция отображает гиперболическую кривую. Расстояние между ЛК и ЛРО

$$a_K = M_d \frac{\Delta K}{R},$$

где ΔK — допустимое отклонение ВС от ЛК в пространстве.

Также гиперболической кривой будет и линия глissады

$$Z = M_\beta \beta = M_\beta \beta_r \left(1 - \frac{L}{R}\right),$$

где R — расстояние от облучателя антенны до точки пересечения с ЛГ в горизонтальной плоскости, проходящей через облучатель; B_a — допустимое отклонение ВС от ЛГ в пространстве.

Расстояния между ЛГ и ЛРО

$$a_r = M_\beta \frac{\Delta \Gamma}{R}.$$

Наиболее высокие требования по точности определения отклонения ВС от ЛЗП предъявляются на малых дальностях от ТП, поэтому изображения на малых дальностях имеют не только опорные, но и основные метки и используют нелинейную развертку по дальности, которая обеспечивает растягивание дальности при малых ее значениях. В индикаторных устройствах применяются развертки (рис. 9.7) с экспоненциальным 1, логарифмическим 2, линейным 3 и линейно-ступенчатым 4 законами изменения зависимости $Y = f(R)$.

Экспоненциальная функциональная зависимость

$$Y = K_s(1 - e^{-R/D_s}),$$

где K_s и D_s — постоянные, зависящие от параметров, характеризующих нелинейность развертки по дальности.

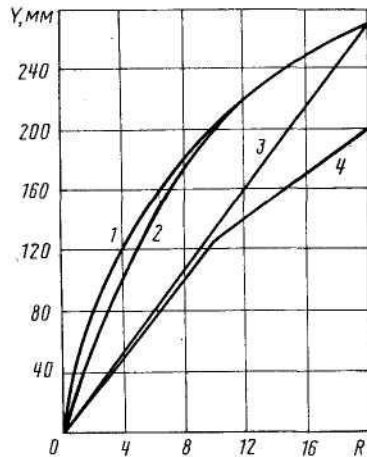


Рис. 9.7. Нелинейные зависимости, используемые для отображения шкалы дальности

Реально такая развертка может быть получена путем подачи на горизонтально отклоняющие луч ЭЛТ катушки экспоненциально изменяющегося во времени постоянного напряжения, по форме своей повторяющего кривую 1 на рис. 9.7.

При логарифмической развертке дальности текущее значение Y на изображении имеет вид:

$$Y = K_d \ln(R/D_d + 1),$$

где K_d и D_d — постоянные коэффициенты, зависящие от параметров нелинейности. Практически изображение глissады при логарифмической зависимости отличается от экспоненциальной немного. Однако экспериментальные исследования показали, что экспоненциальный закон предпочтительнее, так как при его использовании погрешности определения удаления ВС на малых дальностях будут меньше, чем при применении логарифмического закона. Линейно-ступенчатая зависимость реализуется наиболее просто. Она обычно используется в РЛС-П.

9.4. Погрешности оценки отклонений ВС от линии заданного положения

Погрешности оценки удаления ВС от точки приземления. Рассмотрим основные причины, вызывающие систематические погрешности в определении величины удаления ВС от точки приземления. Начало отсчета удаления фиксируется по отметкам от уголкового отражателя 1 и 2 (см. рис. 9.4; а), которые являются точечными целями и считаются точно установленными в необходимых местах. Размер уголкового отражателя (УО) на экране по дальности равен диаметру пятна луча ЭЛТ d_n . При настройке нулевая метка дальности совмещается с отметкой УО таким образом, чтобы метка, накрывая пятно, совмещалась своим передним фронтом с передним фронтом отметки УО. Считая истинным местом цели середину пятна, получим, что максимальная погрешность на экране будет равна половине пятна, а на местности, учитывая масштаб, получим, что погрешность совмещения $\delta R_c = d_{отм}/2M_R = d_n/2M_R$.

Систематическая погрешность в определении удаления отметки образуется также из-за инерционности работы диспетчера при восприятии отметки цели. Время инерции зависит от яркости и размеров отметки и от условий, в которых работает диспетчер. Так, в хороших условиях, т. е. без отвлечения внимания на определение центра метки дальности и центра отметки ВС и интерполяцию дальности, затрачивается время $t_n = 0,5...0,7$ с. Если условия работы усложнены и диспетчер устал, то $t_n = 1$ с. Таким образом, по рассмотренной причине погрешность в дальности будет зависеть от скорости ВС

$$\delta R_n = V t_n / M_R.$$

При нелинейной развертке систематическая погрешность оценки R вызывается тем, что интерполяцию дальности диспетчер производит линейно, а шкала дальностей обычно нелинейна. Погрешность δR_n максимальна при нахождении отметки ВС посередине интервала интерполяции и приближается к нулю при расположении вблизи от меток дальности.

К систематическим погрешностям относятся также погрешности, вызываемые задержками сигналов в трактах РЛС-П, неточностью нанесения калибрационных меток дальности на экранах ЭЛТ и т. д.

Случайные погрешности визуального определения удаления ВС зависят от ряда причин. Рассмотрим основные из них. Определить удаление ВС возможно двумя способами: по положению середины отметки ВС между метками дальности и по совмещению переднего фронта отметки ВС с задним фронтом метки дальности. При определении удаления по положению центра отметки экспериментально установлено, что средняя квадратичная погрешность (СКП) $\sigma_{nR} = 0,3\%$ от величины отметки ВС m , которая определяется выражением $m = V\tau + d_n$, где V — скорость ВС; τ — длительность зондирующего импульса, т. е.

$$\sigma_{mR} = (V\tau + d_n) / M_R$$

где M_R — масштаб дальности, мм/км.

СКП совмещения, измеренная экспериментально на одной из РЛС-П, имеющей луч ЭЛТ с диаметром пятна $d_n = 1$ мм, составила 0,06...0,08 мм, что дало на дальности 4...5 км погрешность $\sigma_{nR} = 4$ м, а на дальности 10...15 км $\sigma_{nR} = 10$ км.

Случайная погрешность в определении дальности может быть вызвана неточной фокусировкой луча ЭЛТ, т. е. как бы «размазыванием» пятна луча диаметром d_n при формировании меток дальности и отметки ВС. По этой причине их фронты имеют случайные значения дальностей. Распределение фронтов может быть принято равномерным, поэтому СКП определения дальностей по этой причине

$$\sigma_{\phi R} = d_n / (2\sqrt{3}M_R).$$

Интерполяция удаления отметки ВС от метки дальности сопровождается случайной погрешностью $\sigma_{nR} = \kappa_n \Delta Y / M_R$, где Y — длина отрезка линии между метками, а $\kappa_n = 0,05...0,1$ — коэффициент интерполяции. Величина κ_n зависит также и от угла, под которым диспетчер наблюдает изображение (так, при наличии параллакса $\kappa_n = 0,15$).

Погрешность интерполяции тем больше, чем больше расстояние между масштабными метками. Погрешности интерполяции меньше на малых удалениях, так как M_R при этом увеличивается.

Погрешность в определении удаления вызывается также дискретностью появления отметок ВС на экране через время $t_{\text{обн}} = 1с$. Максимальное перемещение ВС за время обнаружения $\Delta s = V * t_{\text{обн}}$. Принимая момент измерения удаления распределенным равномерно,

получим $\sigma_R = \Delta s / (2\sqrt{3}M_R)$. Суммарная СКП при определении удаления находится по формуле $\sigma_{\Sigma R} = \sqrt{\sum \sigma_{iR}^2}$. Случайная погрешность при определении дальности образуется также за счет погрешности определения момента обнаружения сигнала от ВС в условиях наличия внутренних шумов приемника и отражений от земли.

Погрешности оценки отклонений ВС от линий курса и глissады. Систематические погрешности при определении отклонения отметок ВС в основном зависят от точности изображения линий, определяющих заданную траекторию посадки, линий и меток, используемых для определения отклонений отметки ВС от ЛЗП. К последним относятся линии равных отклонений от ЛК и ЛГ, метки контрольных углов азимута и дальности. При этом следует учесть, что из перечисленных линий может быть проконтролировано и уточнено по контрольным меткам углов положение только ЛК и ЛГ.

Расчеты, проведенные на базе экспериментальных данных, показывают, что систематические погрешности могут иметь различные знаки и в зависимости от удаления могут быть: при дальности 0,5...3 км 3...5 м, а при дальностях 3...5 км 5...20 м.

Случайные погрешности в основном вызываются неточностью определения середины отметки ВС и интерполяции расстояния между линиями ЛК, ЛГ и ЛРО или между метками азимутов и углов места (в зависимости от метода, используемого для определения отклонений отметки от ЛЗП).

СКП определения середины отметки ВС зависит от угловой величины отметок по азимуту m_α и углу места m_β . Их значения определяются шириной ДН антенны θ в соответствующей плоскости, увеличенной на угловой размер диаметра пятна луча ЭЛТ d_n . Так, в азимутальной плоскости $m_\alpha = M_\alpha (\theta_\alpha + \alpha_{dn})$. Экспериментально установлено, что СКП равна 5...10 % значения m_α .

Размер отметки при приближении ВС увеличивается из-за того, что с ростом мощности отражений от ВС сигнал принимается все большей шириной ДНА, а также вследствие изменения ракурса ВС в связи с тем, что РЛС-П располагается сбоку от ВПП.

СКП интерполяции расстояния между угловыми метками может быть рассчитана при помощи ранее приведенного выражения (для интерполяции по дальности) $\sigma_n = \kappa_n L$, где $\kappa_n = 0,05...0,15$; L — расстояние между метками контрольных азимутов или углов места.

9.5. Посадочные РЛС и их характеристики

Характеристики посадочных РЛС, эксплуатируемых в аэропортах ГА, приведены в табл. 9.1.

Посадочный радиолокатор РП-4Г. Он используется как в автоматизированных, так и в неавтоматизированных системах УВД. В его состав входят: антенная часть, аппаратура технического

Таблица 9.1

Характеристика	РП-3Г	РП-4Г	РП-5Г
Дальность по ВС с ЭОП = 15 м ² при дожде 4 мм/ч, км	20	25	30
Ширина сектора обзора, градус:			
в горизонтальной плоскости	30	30	30
по углу места	10	10	10
Ширина ДН, градус:			
антенны курса:			
в горизонтальной плоскости	0,5	0,5	0,5
в вертикальной " "			
антенны глиссады:			
в горизонтальной плоскости		Специальной формы	
в вертикальной " "	0,5	0,5	0,5
Число несущих частот	1	2	2
Мощность в импульсе, Вт	150	2 * 150	2 * 150
Длительность импульса, мкс	0,45	0,5	0,5
Частота повторения, кГц	2 и 2,4	2 и 2,4	1,8: 2: 2,2
Разрешающая способность (до 17 км):			
по дальности, м	150	120	
по курсу, град	0,8	1,2	
по глиссаде, град	0,6	0,6	
Время обновления информации, с	1	1	1
Точность по дальности, азимуту и углу места	В соответствии с рекомендациями ИКАО		
Поляризация волн	Эллиптическая Круговая		
Вид поляризационной защиты	Поляризационная решетка в волноводе		
Подавление сигналов метеосадов, дБ	18	20	—
Подавление собственных сигналов, дБ	6	6	—
Вид устройства СДЦ	Аналоговое с УЗЛ	Импульсное	Цифровое
Минимальный коэффициент подавления, дБ	20	25	30
Коэффициент подпомеховой видимости	—	7	24
Тип индикатора (ЭЛТ)	Темновой радиолокационный (прямоугольный)	Телевизионные (круглые)	
Масштабы изображения по R, км	20	20	40
Размер изображения, мм:			
по диагонали	430	410	410
диаметр			

Окончание табл. 9.1

Характеристика	РП-3Г	РП-4Г	РП-5Г
Наличие автоматического измерения и отображения отклонений ВС от ЛГ и ЛК	Нет	Нет	Есть
Элементная база	Электрвакуумные и полупроводниковые приборы	Полупроводниковые приборы и микросхемы	
Наработка на отказ, ч	330	550	1000

зала, аппаратура диспетчерского поста и кабельная линия трансляции (рис. 9.8). Антенная часть состоит из двух антенных систем с опорно-поворотными устройствами, колонн с приводами и датчиков угловой информации.

РЛС-П полностью резервирована. При использовании второй антенной системы в качестве резервной обеспечивается посадка с одного направления, а при использовании механизмов поворота антенны — с двух направлений посадки. Время поворота антенны на 180° около 1 мин. Без резервирования посадка может быть обеспечена с двух ВПП, однако на ИУ отображается обстановка только с одного направления посадки.

Антенная система состоит из курсовой АК и глиссадной антенн АГ. Антенна глиссады сканирует в пределах 1...6°, верх-

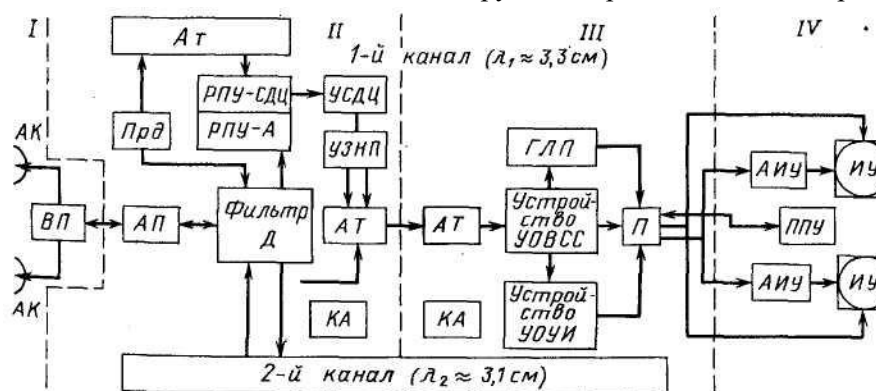


Рис. 9.8. Структурная схема радиолокатора РП-4Г:

I — антенная часть; II — антенный домик; III — технический зал; IV — диспетчерский пункт; Ат — аттенюатор; Прд — передатчик; ВП — волноводный переключатель; Ап — антенный переключатель; Ат — аппаратура трансляции; Ка — контрольная аппаратура; РПУ — радиоприемное устройство; УСДЦ — устройство СДЦ; УЗНП — устройство защиты от несинхронных помех; ГЛП — генератор линий посадки; УОВСС — устройство обработки видео-и синхросигналов; УОУИ — устройство обработки угловой информации; П — переключатель; АИУ — контрольное индикаторное устройство; АИУ — аппаратура индикаторного устройства; ППУ — пульт и платы управления

няя граница зоны обзора достигает 2200 м. Антенна курса сканирует в пределах $-16... + 4^\circ$. ВЧ-энергия АГ и АК подается через волноводные вращающиеся и качающиеся сочленения, к которым энергия подводится по волноводам размерами 10X30 мм. В волноводном тракте у излучателей антенн размещаются поляризационные решетки для изменения плоскости поляризации радиоволн от линейной до круговой для защиты от сигналов, отраженных от гидрометеоров. Управление положением пластин решетки от горизонтального до повернутого на 45° — дистанционное. Датчики угловой информации связаны механически с приводами антенн. Датчики — двух видов: с одних снимаются сигналы текущего положения антенн для осуществления вертикальных разверток в индикаторном устройстве (ИУ), с других — угловые метки для воспроизведения контрольных меток азимута и угла места. Датчики — фотоэлектронного типа, информация с них снимается двоичными параллельными кодами. Коды передаются в антенный домик, где преобразуются в обычные последовательные коды и используются для выработки напряжений, необходимых для работы ИУ.

Одна антенная система занимает на земле площадь 44 м², высота до верхнего края 6,35 м. Рабочие параметры антенной системы гарантируются при скорости ветра до 20 м/с. Возможна работа при скорости ветра до 33 м/с. Система по прочности выдерживает ветер до 45 м/с.

Антенный домик представляет собой контейнер 9x3x2 м, в котором размещены: приемопередатчики, устройства СДЦ, устройства защиты от несинхронных помех, контрольное индикаторное устройство, а также другая аппаратура и вспомогательное оборудование. Аппаратура технического зала КДП состоит из аппаратуры обработки полученной с линии трансляции координатной и угловой информации, генератора линий посадки.

Аппаратура диспетчерского поста посадки размещается в линейно-аппаратном зале КДП и состоит в основном из аппаратуры, обеспечивающей работу индикаторных устройств, самих ИУ и пультов управления РЛС и посадкой.

Расстояние между антенной частью и аппаратурой технического зала должно быть не более 6 км, а между залом и КДП не более 200 м. Линия трансляции кабельная. Есть три набора кабелей: 1840, 3000 и 6000 м. Кабель является аналогом отечественного кабеля КМБ-4 и имеет три высокочастотных жилы и 30 низкочастотных пар.

РЛС имеет двухканальный приемопередатчик. Магнетроны типа МИ-99А с частотами $f_1 = 9265$ МГц и $f_2 = 9425$ МГц имеют электромеханическую автоподстройку частоты в диапазоне ± 10 МГц. Мощность в импульсе 150 кВт. Длительность излучаемых ВЧ-импульсов $\tau = 0,5$ мкс. Время задержки между двумя излучаемыми импульсами 1 мкс. При передаче импульсы разных частот объединяются в один

канал в диверситном¹ Д-фильтре. Этот же фильтр разделяет принимаемые отраженные сигналы на два канала. От Д-фильтра ВЧ-импульсы поступают на антенный переключатель АИ, дающий затухание при приеме 70 дБ.

Радиоприемники супергетеродинного типа без усилителей высокой частоты имеют промежуточную частоту 30 МГц. После предварительного усилителя канал УПЧ делится на два: линейный — для работы в режиме СДЦ (РПУ — СДЦ), т. е. при фазовом детектировании, и логарифмический — в канале амплитудного детектирования (РПУ-А). Логарифмическая характеристика и малая постоянная времени обработки сигнала, обеспечиваемая следующим за детектором блоком совмещения во времени сигналов (ликвидации задержки $\tau = 1$ мкс) двух каналов, значительно улучшают работу РПУ при приеме сигналов от метеообразований, уменьшая их влияние. Блоки совмещения для амплитудного и фазового детектирования разные. Блоки обработки видеосигналов в режиме СДЦ стоят за блоками совмещения сигналов.

В приемных каналах РЛС имеются устройства селекции движущихся целей УСДЦ. Система СДЦ — когерентная, двухимпульсная с фазированием по промежуточной частоте, аналогового типа с ультразвуковой линией задержки или цифровая с двоичным черес-периодным компенсатором.

Переключение режимов работы каналов обработки осуществляется сигналами с платы управления режимом работы РЛС на пульт диспетчера.

Для уменьшения отражений от земли чувствительность приемника уменьшается с помощью схемы ВАРУ на время, когда антенны направлены к земле. Параметры ВАРУ различные для антенны курса и глиссады.

В РЛС предусмотрена защита от «слепых скоростей»: переход на работу в режиме возбуждения частоты повторения с тремя периодами повторений ($T_{п0} = 500$ мкс; $T_{п1} = 550$ мкс; $T_{п2} = 450$ мкс).

Устройство СДЦ не только выделяет движущиеся цели, чем устраняет помеховые сигналы от неподвижных объектов, но и убирает некоторую часть несинхронных импульсов помех, имеющих отличающиеся от времени T_n периоды следования. Однако этой защиты мало, поэтому с УСДЦ видеосигналы поступают на схему защиты от несинхронных помех, конструктивно размещенную вместе с УСДЦ.

Схема защиты от несинхронных помех основана на интегрировании — суммировании амплитуд периодически следующих друг за другом видеоимпульсов. В процессе интегрирования амплитуда суммы импульсов, принимаемых через время T_n , будет расти быстрее, чем у несинхронно следующих. До суммирования предварительно устраняется введенная для защиты от слепых скоростей разница в периодах повторения.

¹Diversity (англ.) — одновременная работа на двух частотах.

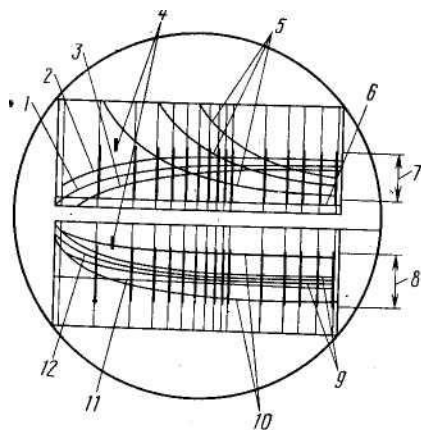


Рис. 9.9. Курсоглиссадное изображение на индикаторе РП-4Г:
 1— линия глиссады; 2 и 3— линии равных отклонений от ЛГ; 4— отметки ВС; 5— линии постоянной высоты; 6— линия горизонта; 7— ширина ДН антенны курса; 8— ширина ДН антенны глиссады; 9— линии равных отклонений от ЛК; 10— линии измерения угловых отклонений; 11— линия направления оси ВПП; 12— линия курса

С выхода устройств первичной обработки информации видеосигналы подаются на передающую часть линии трансляции.

Аппаратура диспетчерского пункта состоит из индикаторного устройства ИУ, аппаратуры ИУ, имеющей электронные схемы, обеспечивающие работу индикатора и плат управления, размещенных на пульте диспетчера. Пульт ИУ и источники питания могут быть размещены на тележках. Перечисленных комплектов аппаратуры два, второй—резервный. Аппаратура может быть снята и установлена на стандартном пульте («Пульт-2»).

РЛС-П может сопрягаться с аппаратурой отображения «Строка-Б» и «Строка-2», а также с ИУ поста посадки АС УВД «Старт». Для этого имеются дополнительные устройства.

В ИУ применена круглая темновая радиолокационная трубка диаметром 430 мм, обеспечивающая рабочий диаметр экрана 373 мм. Трубка имеет электростатическую фокусировку и электромагнитное отклонение луча. На одной ЭЛТ два изображения — глиссадное (верхнее) и курсовое (нижнее) (рис. 9.9). Размеры изображений 15x30 см. Развертка нелинейная по дальности и имеет два масштаба 20 и 40 км. По горизонтали развертка луча осуществляется аналоговыми устройствами, а по вертикали — цифровыми. Датчики угловой информации размещены соответственно на курсовой и глиссадной антеннах и связаны с их приводами.

В ИУ обрабатываются и отображаются видеосигналы, полученные от целей в режиме амплитудного детектирования и в режиме СДЦ, метки дальности, угловые метки-, метки горизонта и продолжения ВПП и другие метки по сигналам, идущим от генератора линий посадки. Переключение масштабов и различные яркости линий устанавливаются в генераторе. ЭТХ локатора приведены в табл. 9.1.
Радиолокатор РП-5Г. Радиолокатор предназначен для работы в автоматизированных и неавтоматизированных системах УВД. С помощью РП-5Г автоматически определяется отклонение отметки

ВС от заданной линии посадки с отображением на экране индикатора отклонения в формуляре сопровождения (ФС). Имеется также автоматическое, предупреждение при превышении допустимых отклонений.

По сравнению с РП-4Г эффективность работы РП-5Г выше в условиях переотражений сигналов от местных предметов и при наличии метеосадков. У него лучше характеристики по разрешающей способности и точности, выше техническая надежность, ниже требования к обслуживанию РЛС вследствие внедрения многофункционального контроля за эксплуатационными характеристиками. РП-5Г удовлетворяет рекомендациям ИКАО и нормам стран СЭВ, но активного ответного канала не имеет.

Автоматическое решение задачи контроля посадки оказалось возможным в связи с введением одновременной двухчастотной работы РЛС и использованием микросхем с высокой степенью интеграции, что позволило применить новые для РЛС-П цифровые способы обработки информации.

РП-5Г планируется использовать в аэропортах вместо РП-3Г и РП-4Г по мере их списания, а также в аэропортах, имеющих аппаратуру отображения «Символ-Д». В аэропортах, оборудованных аппаратурой «Строка-Б»-«Страница», «Строка-2» РП-5Г не используется, так как выходные сигналы со стоек в линейно-аппаратном зале (ЛАЗ) отличаются от выходных сигналов, необходимых для указанной аппаратуры. В этой аппаратуре имеются собственные посадочные диспетчерские ТВ-индикаторы.

Работа РП-5Г в составе АСУВД «Старт», «Спектр» и других возможна при наличии специальной аппаратуры сопряжения. Для этого РЛП имеет выходы цифровой радиолокационной информации, но, кроме того, возможен также вариант использования в АСУВД всей цифровой аппаратуры отображения РП-5Г-С приспособлением диспетчерских пультов АСУВД для размещения телевизионных индикаторов (ТВИ).

РП-5Г планируется поставлять в двух комплектах: с автоматическим вычислением и знаковым отображением отклонений ВС от ЛГ и ЛК и без реализации этих функций.

РЛС полностью резервирована и в зависимости от целостности резерва может обеспечить посадку с одного или двух направлений ВПП или с двух ВПП. Антенных постов два, в каждом по две антенны курса и глиссады (АК и АГ). Обобщенная структурная схема РП-5Г приведена на рис. 9.10.

РЛС работает в диапазоне длин волн $\lambda = 3,2$ см (9250 и 9450 МГц). Одновременное использование двух частот позволяет избавиться от провалов ДНА из-за отражений от земной поверхности, а также уменьшить флюктуации сигналов путем их совместной обработки. Это дает возможность повысить вероятность обнаружения сигналов и обеспечить достоверное автоматическое определение отклонений ВС относительно ЛЗП.

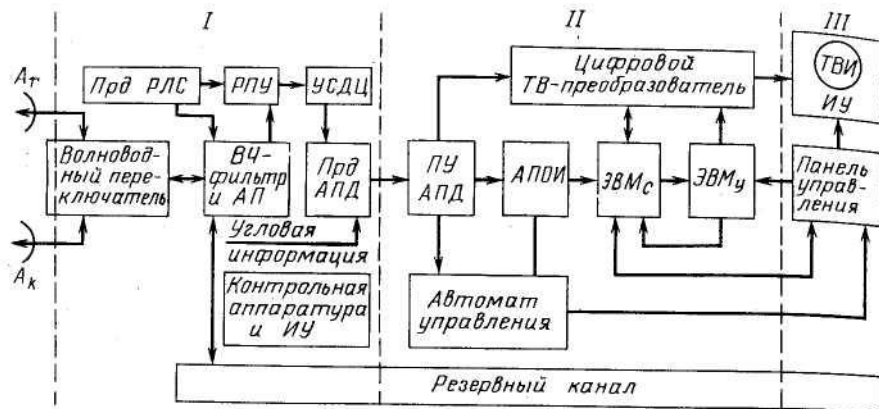


Рис. 9.10. Структурная схема радиолокатора РП-5Г

Для защиты от переотражений от земной поверхности и местных предметов приемные каналы РП-5Г имеют устройства цифровой СДЦ, а для защиты от «слепых скоростей» ВС применяется изменение частоты повторения.

В волноводных каналах установлены дистанционно управляемые устройства изменения поляризации радиоволн от линейной до круговой.

В РЛС используются телевизионные индикаторы с ЭЛТ диаметром 410 мм, с растром, имеющим 1024 строки. Изображения курса и глissады прямоугольные на круглом экране.

РП-5Г предназначена для непрерывной работы. Нарботка на отказ составляет 1000 ч, среднее время восстановления 30 мин, срок эксплуатации до списания 80 000 ч, коэффициент готовности 0,996, время перехода на резервный комплект 10 с, а на резервное питание 5 с, время для поворота антенной системы в противоположное направление около 1 мин.

Структурная схема, размещение, назначение и конструкция высокочастотной части РП-5Г до выхода видеосигналов с амплитудного и фазового детекторов в основном аналогичны РП-4Г. На выходе фазового, т. е. СДЦ-канала, видеосигнал преобразуется в 8-разрядный двоичный код. С выхода устройств первичной обработки информации коды видеосигналов подаются на передающую часть АПД, где они кодируются методами широтно-импульсной (по длительности импульсов) модуляции, формируются, усиливаются и подаются в кабельную линию передачи на КДП в линейно-аппаратный зал на приемную часть АПД. Видеосигналы и сигналы синхронизации, а также угловая информация подаются на АПОИ (экстрактор), где видеосигналы вначале превращаются в цифровые, а затем производится обнаружение сигналов целей, определяются

дальность, угол азимута и угол места целей, момент обнаружения, тип антенн, с которых пришли сигналы (глissады или курса), направление ее движения. Видеосигналы и угловая информация идут также на устройство цифрового преобразования их в ТВ-сигналы. Угловая информация подается, кроме того, и в ЭВМс, которая осуществляет автосопровождение координат ВС, рассчитывает их отклонение от заданной линии посадки и производит расчет команд для управления ВС.

Имеется также ЭВМу управления генерированием в цифровом ТВ-преобразователе знаковой информации, линий глissады, курса и равных отклонений, а также ее отображением. Эта же ЭВМ управляет устройством вторичной обработки информации (УВОИ), которая обеспечивает автосопровождение ВС и производит присвоение их отметкам формуляров после пролета ВС через контрольную область.

На экране телевизионного индикатора *ТВИ* может отображаться синтетическая, аналоговая и смешанная координатная информация. Возможно введение постепенного уменьшения яркости прошлых отметок для отображения следа их движения путем цифрового запоминания яркости видеосигналов и воспроизведения этих сигналов в течение 5...7 периодов с яркостью, убывающей в каждом периоде на одну градацию.

На контрольном *ТВИ*, расположенном в антенном домике вместе с контрольной аппаратурой, отображаются координатные отметки целей и буквенно-цифровая информация.

Индикаторных устройств два. Они расположены на пульте рабочего места диспетчера. На столешнице пульта расположены органы управления *ТВИ*, пульт ввода данных и платы управления связью.

Изображение воспроизводится на экране круглой формы и состоит из глissадной части, размещенной в верхней половине экрана, и курсовой, расположенной внизу (рис. 9.11). Выше и ниже ЛГ и ЛК нанесены линии равных отклонений ЛРО (линии допусков) с числами, указывающими расстояние от ЛЗП до них. Кроме того, на глissадном изображении имеется линия равных высот полета (600 м). Параметры, необходимые для воспроизведения этих линий, вводятся неоперативно. У отметок целей, обозначаемых знаком "X", воспроизводятся формуляры сопровождения, соединенные с отметками штриховыми линиями. При расположении отметки до точки входа ВС в глissаду ФС располагаются с правой стороны экрана (1) между изображениями ЛГ и ЛК, а при нахождении отметки в районе глissады—с левой (2).

На обоих изображениях имеются метки дальности: основные, расположенные через 1 км, и опорные—через 5 и 10 км. Метки отличаются по яркости, что обеспечивается разницей в длительности импульсов подсветки. На глissадном изображении имеется

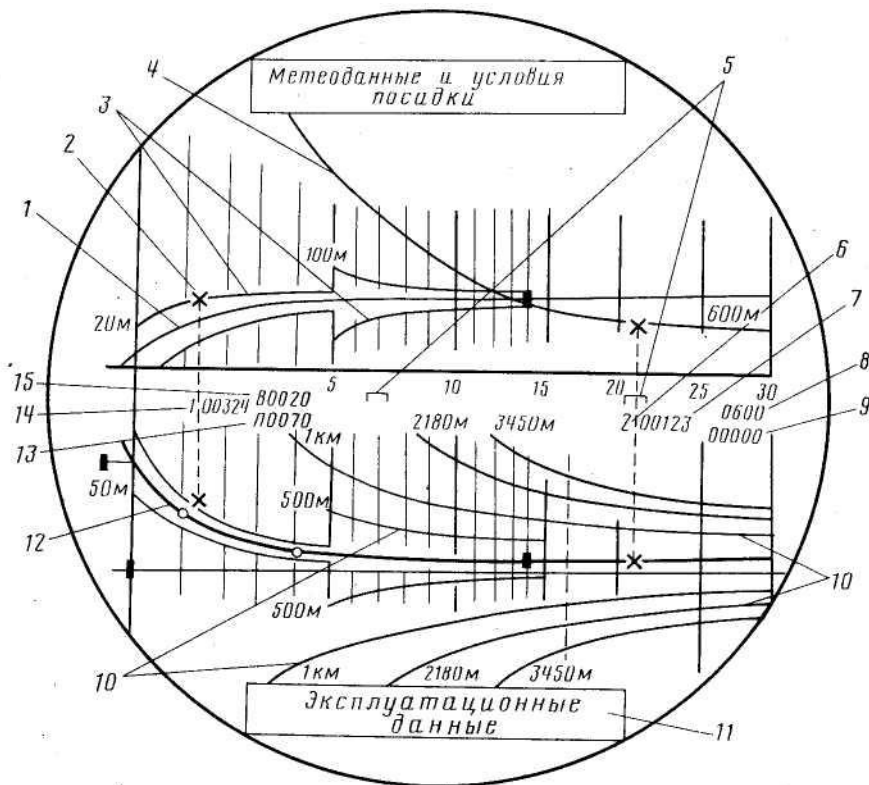


Рис. 9.11. Курсоглиссадное изображение радиолокатора РП-5Г:
 1— линия глиссады; 2— отметка ВС; 3— линия допусков отклонений по глиссаде; 4— линия постоянной высоты круга; 5— обозначения областей автоматического ввода в сопровождение; 6— условный номер канала сопротивления; 7— бортовой номер; 8— вычисленное отклонение по высоте; 9— вычисленное отклонение по курсу; 10— вспомогательные линии допусков по курсу; 11— данные о состоянии ВС, дата и время; 12— линия курса; 13— вычисленное отклонение от линии курса; 14— номер (1) канала сопровождения; 15— вычисленное отклонение по высоте

горизонтальная линия, на которой через 5 км нанесены значения дальности до 30 км.

На экране изображены символы постоянных стробов по дальности (областей), по достижении которых координаты ВС должны переходить в автосопровождение. Штриховой линией обозначен подвижный строб, который выставляется перед отметкой в случае, когда, например, из-за воздействия помех прием сигналов в АС на постоянном стробе не состоялся.

На метках дальности обоих изображений нанесены контуры ДН антенн глиссады и курса, создаваемые путем уменьшения длительности импульсов подсвета меток дальности. На изображении

курса имеются две линии, которые указывают положение ВС, при котором диспетчер, дает команду на выполнение 4-го разворота.

Для проверки работоспособности на экране отображаются отметки уголкового отражателя и контрольные условия. Могут отображаться и иные обозначенные объекты, например дальний и ближний приводные радиомаяки.

В верхней части экрана в двух двухстрочных блоках отображаются: диспетчерские сведения, метеорологические данные, информация об условиях посадки, а также магнитный курс посадки, фамилия и код диспетчера, способ посадки, время получения метеоинформации; высота нижней кромки облаков, видимость под облаками, направление ветра вблизи земли; скорость ветра (порывы ветра у земли); давление вблизи земли, температура вблизи земли, коэффициент сцепления, состояние ВПП (сухая, мокрая, влажная, покрыта слоем воды, слякоть). Отсутствие метeosводки соответствует безветренной погоде.

В нижней части экрана отображаются эксплуатационные данные, записываются некоторые важные для диспетчера данные о состоянии РЛС-П, например доворот антенны в азимуте, ее наклон, положение поляризатора в фильтре, включение резервных каналов. В третьей строке отображается дата (год, месяц, день и текущее время).

Посадочная информация документируется. Для этого используют магнитофоны с магнитной лентой шириной 3,8 мм, на которую записывается в цифровом виде информация о видеосигналах и знаках. Емкость одной стороны 200 кбайт, что составляет 46 мин. Без переворачивания кассет длительность записи более 3 ч (не менее 60 полетов). Воспроизведение этой информации возможно на ТВИ и на печатающем устройстве в виде протокола посадки и таблицы, где приведены время, дальность и отклонения отметки ВС от ЛЗП. Для этого используется печатающее устройство «Консул-2111».

10.1. Общие сведения

Основной особенностью вторичной радиолокации является получение на КДП не только информации о местоположении ВС в пространстве наблюдения, но также сведений для опознавания ВС. Получение информации опознавания и других дополнительных сведений с борта ВС позволяет увеличить пропускную способность зон УВД за счет сокращения времени, требующегося для связи между диспетчером и экипажем. Кроме того, работа системы по ответному, а не по отраженному (как в ПРЛС) сигналу значительно повышает достоверность получения информации, которая оценивается вероятностью 0,95 и выше.

Совокупность наземной вторичной РЛС (запросчика) и ответчика, установленного на ВС, называется системой вторичной радиолокации (СВРЛ), структурная схема которой приведена на рис. 10.1. Запросчик через антенну, вращающуюся по азимуту и имеющую узконаправленную ДН в горизонтальной и широкую в вертикальной плоскости, излучает на частоте запроса f_3 кодированные запросные послышки. Они принимаются ответчиками всех ВС, находящихся в зоне действия запросчика. Ответчики имеют всенаправленные ДН в горизонтальной и слабонаправленные ДН в вертикальной плоскостях. В ответчике после декодирования принятых запросных сигналов формируются ответные сигналы запрашиваемой информации. Ответные сигналы, несущие координатную и полетную информацию, излучаются на несущей частоте $f_{0\text{ТВ}}$ (немного отличающейся от частоты f_3) той же антенной, которой принимались запросные сигналы. После декодирования информация отображается на экранах индикаторов в виде координатных отметок целей и знаков полетной информации. Ответчики ВС по запросу наземной ВРЛС передают так называемую дополнительную или полетную информацию: бортовой номер или код номера (для иностранных ВС), высоту полета, сведения о запасе топлива и служебную информацию, к которой относятся сведения об аварийной ситуации на ВС, о потере связи из-за неисправности бортовой аппаратуры и о незаконном вмешательстве в действия экипажа. В настоящее время используются два термина обозначения информации о состоянии ВС, передаваемой по ответному каналу: дополнительная (ГОСТ 21800—80) и полетная (ГОСТ

25863—83). Предпочтительнее использовать второй термин, так как информацию о состоянии ВС, вычисленную ЭВМ АС УВД или введенную диспетчером и отображаемую на экранах индикаторов у отметок целей, также называют дополнительной. В соответствии с межведомственными документами основные требования к обзорным ВРЛС следующие.

ВРЛС могут быть автономными и встроенными. Автономная ВРЛС является самостоятельным устройством, которое может работать самостоятельно либо совместно с ПРЛС. Их антенны вращаются синхронно и синфазно, а запросные послышки ВРЛС синхронизируются зондирующими сигналами ПРЛС, так как ВРЛС обычно имеет большую дальность действия. Встроенные ВРЛС конструктивно совмещены с ПРЛС и имеют некоторые общие устройства. Антенны этих РЛС размещаются на одном основании и вращаются от одного привода (РЛК «Иртыш»), возможно также использование одной антенны для обоих каналов (РЛС «Онега» и «Экран-85»).

Обзорные ВРЛС подразделяются на аэродромные (с дальностью до 120 км), аэроузловые (до 200 км) и трассовые (до 400 км). Минимальная дальность должна быть $R_{\text{min}} < 2$ км, угол обзора в вертикальной плоскости $0,5...45^\circ$. Ширина ДН $2,5...5^\circ$, уровень боковых лепестков на 22 дБ ниже основного. Разрешающая способность по дальности меньше 1 км, а по углу меньше 1,2 ширины ДН.

Существуют четыре режима функционирования СВРЛ: «УВД», RBS, совмещенный «RBS+УВД» и «УВД-М». Они отличаются друг от друга системами кодирования и создавались по различным нормам и рекомендациям: отечественным — УВД и международным (межведомственным) — RBS (Radar Beacon System). Отечественная система кодирования обеспечивает передачу большего количества информации о состоянии ВС, однако необходимость в обеспечении международных полетов привела к созданию ответчиков, работающих как в режиме «УВД», так и в режиме RBS, затем к введению режима «RBS+УВД», обеспечивающего одновременное управление отечественными и зарубежными ВС. Кроме того, для перспективной бортовой и наземной аппаратуры СВРЛ вводится режим УВД-М, при котором ответные сигналы кодируются так, как принято в режиме УВД, а передаются на частоте, определенной для работы в режиме RBS. Это оказалось необходимо для освобождения от загрузки телевизионного диапазона частот 700...800 МГц и в некоторой степени упрощает бортовую аппаратуру.

Сигналы запроса и ответа в системе ВРЛ состоят из нескольких

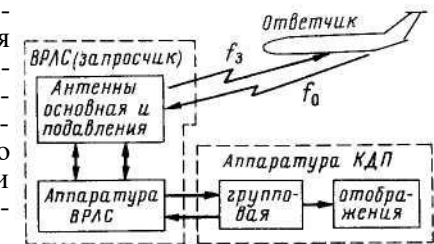


Рис. 10.1. Структурная схема системы вторичной радиолокации

импульсов, в совокупности представляющих собой импульсные коды. Запрос и ответ передаются на различных частотах.

Каналы ответа и запроса, имеющие каждый свой передатчик и приемник, отличаются по мощности передатчиков и чувствительности приемников, поэтому дальность для этих каналов определяется отдельно.

Найдем уравнение для расчета дальности запросчика. Обозначим расстояние от ВРЛС до ВС через R_3 , мощность импульса запросного сигнала P_3 и коэффициент усиления антенны запросчика G_3 . Плотность мощности сигнала запроса у цели (ВС), излученная антенной,

$$P_3 = P_3 G_3 / (4\pi R_3^2).$$

Если антенна приемопередчика на ВС имеет эффективную площадь A_0 , то мощность сигнала запроса на его входе

$$P_{пр.о} = P_3 G_3 A_0 / (4\pi R_3^2).$$

Используя для A_0 формулу (4.1), получим

$$P_{пр.о} = P_3 G_3 G_0 \lambda_3^2 / [(4\pi)^2 R_3^2],$$

где G_0 — коэффициент усиления антенны приемопередчика.

Дальность приема сигнала запросчика будет максимальной в том случае, если на входе приемника ответчика создан сигнал, равный его реальной чувствительности $P_{р.о} = P_{ш0} S_p$, где S_p — коэффициент различимости, т. е.

$$R_{макс} = \sqrt{P_3 G_3 G_0 \lambda_3^2 / [(4\pi)^2 P_{р.о}]}.$$

Проведя аналогичные рассуждения, можно получить максимальную дальность связи по линии ответчик — запросчик

$$R_{макс0} = \sqrt{P_0 G_0 G_3 \lambda_0^2 / [(4\pi)^2 P_{р.з}]}.$$

Параметры ВРЛС и ответчика выбирают обычно таким образом, чтобы $R_{макс0} = R_{макс}$. Это требование выполняется при условии, что $P_3 P_{р.о} = P_0 P_{р.з}$.

Вследствие использования довольно мощных запросного и ответного сигналов (десятки и единицы киловатт соответственно) ВРЛС может иметь большую дальность действия, чем ПРЛС, и значительно меньше, чем у нее, чувствительность приемников запросчика и ответчика. Это повышает помехозащищенность ВРЛС как от внутренних шумов, так и помех от РЭС других назначений.

10.2. Принципы кодирования

Для передачи информации в СВРЛ применяется импульсное кодирование запросных и ответных посылок. Импульсный код — это совокупность импульсов, расположенных в соответствии с правилами, устанавливающими соотношения между параметрами импульсной последовательности и информацией, передаваемой ими. В качестве кодирующих признаков может использоваться практически любой параметр или комбинация параметров радиосигнала, например длительность, число импульсов, расстояние между ними, несущая частота и ее фаза, наличие или отсутствие импульсов на обусловленных временных позициях и т. д. Интенсивность сигнала в качестве кодирующего признака не используется из-за малой помехоустойчивости признака.

В существующих СВРЛ используют два вида кодирования: время-импульсное и позиционное. По сравнению с другими видами кодирования эти методы сравнительно просто реализуются в шифраторах и дешифраторах. Время-импульсное (интервально-временное кодирование) применяется в запросном канале СВРЛ. При этом методе кодирования каждому из значений информации, подлежащей передаче, присваивается свой временной интервал. Если интервал кодирования обозначить Δt_k (рис. 10.2), то при кодовом интервале T_k максимальное число двухимпульсных кодов $N = T_{макс} / \Delta t_k$. Время-импульсные коды не могут дать большого числа кодовых комбинаций без значительного увеличения интервала кода или увеличения импульсов в коде.

Число вариантов запросных сигналов в СВРЛ невелико, поэтому в запросном канале применяется двухимпульсное время-импульсное кодирование. Объем ответной информации значительно больше, поэтому в ответном канале используется позиционное кодирование, при котором значение ответной посылки определяется местами расположения импульсов кода на временной оси. Позиционный метод удобен для кодирования ответной информации в СВРЛ, так как ее объем постоянный, а носителем ответной информации являются десятичные и двоичные числа, для представления которых обычно используется позиционная система счисления. В этой системе значения разрядов чисел зависят от места, отведенного каждой из цифр при записи числа. Так, например, десятичное число 535 может быть представлено в виде $5 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0$. Из этой записи ясно, что каждому разряду числа соответствует своя позиция. Число 10 при

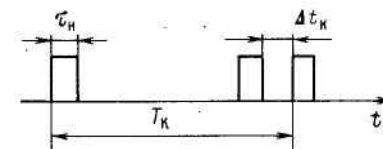


Рис. 10.2. Время-импульсный метод кодирования

формировании записи являлось основным, поэтому оно называется основанием и обозначается $p=10$.

В общем виде любое число x в позиционной системе счисления может быть записано так:

$$x = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0 p^0 + a_{-1} p^{-1} + \dots,$$

где a_n и др. — коэффициенты слагаемых, из которых получается число при использовании его основания.

Эти коэффициенты представляют собой числа и называются базисом системы счисления. При основании $p=2$ базисом числа являются две цифры 0 и 1, а при $p=10$ используются цифры 0, 1, ... 9. К старшему разряду необходимо переходить при израсходовании цифр базиса, как это показано для двоичной системы:

Десятич- ное чис- ло	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Натураль- ное дво- ичное число	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010...

Передача символов 0 и 1 двоичных чисел может быть осуществлена импульсным сигналом, а именно отсутствием или наличием импульса на определенной позиции оси времени. Прием символов 0 и 1 фиксируется приведением ячеек памяти в одно из двух их устойчивых состояний.

При кодировании ответной информации используются двоично-десятичная, а также двоично-восьмеричная системы счисления. Вся полетная информация на ВС поступает от датчиков в десятичной системе, поэтому информация до поступления в ответчик из десятичной переводится в двоичную систему. При этом каждый разряд десятичного числа обращается в двоичное отдельно. Удобство передачи информации двоично-десятичным кодом состоит в том, что нет необходимости в пересчете всего десятичного числа в двоичное и обратно. Операции перевода выполняются лишь с отдельными цифрами (разрядами) многозначного числа. Число значений N дискретной информации, которое может быть передано двоичным кодом в зависимости от его разрядности m , может быть рассчитано по формуле $N = 2^m$. Так, для передачи чисел от 0 до 7 (всего восемь чисел) достаточно, например, трех двоичных разрядов ($m = 3$), а для передачи чисел от 0 до 9 требуется четыре разряда ($m = 4$). Двоично-десятичная система используется в ответных кодах режима УВД-восьмеричный код имеет базис цифр 0...7. Этот код применяется для ответных кодов высоты при работе ответчиков в режиме «RBS».

При передаче числа позиционным двоичным кодом каждому из его разрядов должно быть определено свое место (позиция) -

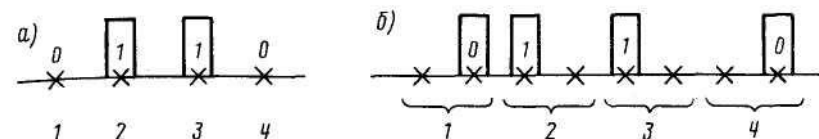


Рис. 10.3. Четырехразрядный двоичный позиционный код: а — с пассивной паузой; б — с активной паузой

Возможны два способа предоставления позиций для передачи двоичных чисел. При первом способе (рис. 10.3, а) каждому из четырех разрядов предоставляется одна временная позиция. Единица соответствует наличию импульса, а ноль — его отсутствию. Этот метод называется методом передачи с пассивной паузой. Во втором случае (рис. 10.3, б) каждому из четырех разрядов двоичного числа предоставляются две временные позиции. Импульс на первой позиции обозначает единицу, на второй — ноль. Этот метод называется методом с активной паузой.

В наземной аппаратуре полетная информация отображается в десятичной системе, как наиболее удобной для операторов, поэтому принятые двоичные коды чисел преобразуются в символы десятичной системы счисления.

10.3. Структура запросных кодов в режимах «УВД» и «RBS»

Наличие двух режимов в СВРЛ объясняется тем, что отечественная система разрабатывалась на базе систем активного опознавания и лишь позже возникла необходимость учета в ней стандартов ИКАО.

В режимах «УВД» и «RBS» для запросных кодов используются двухимпульсные коды (P_1 и P_2). Кроме этих импульсов, в код включается импульс P_3 , обеспечивающий работу схемы защиты ответчика от приема запросных сигналов, излучаемых боковыми лепестками антенны запросчика.

Структура запросных кодов при режиме «УВД» показана на рис. 10.4. Их два: код ЗК1 (БН), которым запрашивается индивидуальный (т. е. бортовой) номер ВС (рис. 10.4, а), и код ЗК2 (ТИ) (рис. 10.4, б), которым запрашивается текущая информация: высо-

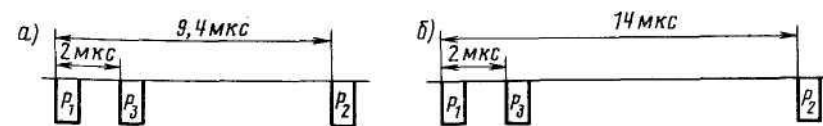


Рис. 10.4. Запросные коды УВД

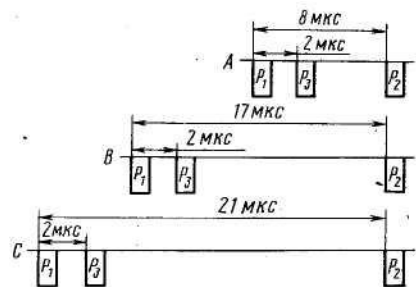


Рис. 10.5. Запросный код RBS:
А и В — индивидуального опознавания;
С — высоты

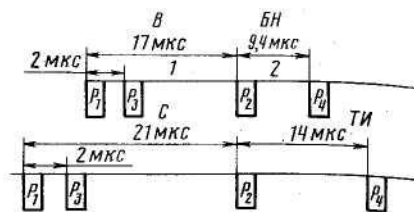


Рис. 10.6. Запросные коды совмещенно-го режима RBS и УВД:
В — код индивидуального опознавания; С — код высоты (RBS) и текущей информации

та полета, остаток топлива в баках и разовые сообщения, например признак передаваемой высоты, т. е. признак атмосферного давления, относительно которого измеряется высота, и наличие аварийного состояния ВС. Длительность импульса кода 0,6... 1 мкс, полярность отрицательная. В соответствии с межведомственными нормами, принятыми для РТС ГА в СВРЛ, рекомендовано иметь еще два запросных кода - ЗК3 и ЗК4. Ответ на ЗК3 должен содержать сведения о скорости ВС и курсе полета, а ответ на ЗК4 содержит только координатный код. Практического применения эти коды пока не имеют. Кодовые интервалы для кода ЗК1 9,4 мкс, для кода ЗК2 14 мкс.

При использовании режима «RBS» применяется три вида работы А, В и С, каждому из которых соответствуют свои коды запроса и ответа. В первом виде (А) излучаются запросные коды А и В, во втором виде (В) — запросные коды В и С, в третьем виде (С) — только коды С. Кодами А и В (рис. 10.5) запрашивается информация индивидуального опознавания ВС, кодом С запрашивается высота. Наличие двух кодов А и В одного назначения объясняется тем, что при введении норм ИКАО уже существовали различные американские (с кодом А) и английские (с кодом В) системы кодирования, отличавшиеся методом подавления сигналов от боковых лепестков запросчика, поэтому для обеспечения работы этих систем были оставлены для использования оба кода. В документации ИКАО код В обозначен как резервный. Кодом С запрашивается высота полета ВС. Имеется еще код запроса Д с $T_k = 25$ мкс, который не используется.

В отечественных СВРЛ может использоваться совмещенный режим: RBS+УВД (рис. 10.6). Импульсы P_3 и P_2 в кодах являются общими. Ответ на коды «RBS» дают зарубежные ВС, на коды «УВД» — отечественные.

Режим работы ВРЛС устанавливается на переключателе режимов, а в ответчике на его пульте управления.

10.4. Структура ответных кодов в режиме «УВД»

Имеются два вида ответных кодов УВД, отличающихся структурой и содержащих ответную информацию на запросные коды ЗК1 и ЗК2. Каждый вид (рис. 10.7) подразделяется на координатный, ключевой и информационный коды.

Координатные коды предназначены для получения отметки цели на экране индикатора, метод их формирования — время-импульсный, коды двухимпульсные. Координатные коды передаются на каждый запрос. Ключевые коды определяют смысловое содержание ответной информации и используются для включения необходимого канала декодирования. Коды трехимпульсные. Метод кодирования — позиционный с активной паузой. В качестве ключей передаются числа 110 и 000.

Информационный код служит для передачи информации и может быть двух видов. Код БН содержит информацию о бортовом номере (ключ 110), а код ТИ (ключ 000) текущую информацию о высоте полета ВС и запасе топлива, а также сигналы «Абсолютная высота» и «Авария». Коды формируются позиционным методом с активной паузой. Код излучается сравнительно длительное время (160 мкс) и повторяется дважды, т. е. занимает в пространстве около 50 км. Для уменьшения вероятности наложения ответных кодов от ВС, находящихся на одном азимуте и близко расположенных друг к другу, коды ключей и информационные послышки выдаются после 8...12 запросов.

Код бортового номера ВС. Код содержит пять декад, отображающих пять разрядов десятичных цифр бортового номера: единицы, десятки, сотни, тысячи, десятки тысяч и устанавливается на специальной панели (рис. 10.8), расположенной на передней стенке шифратора УВД ответчика, при укомплектовании ВС этим устройством.

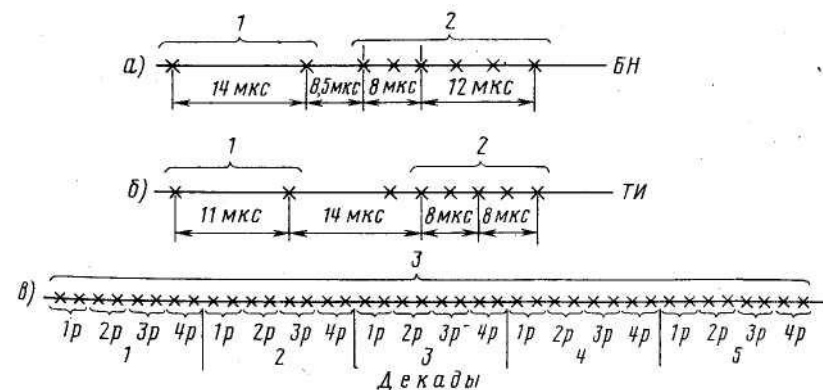


Рис. 10.7. Ответный код в режиме «УВД»:
1...3 — позиции координатного, ключевого и информационного кодов соответственно

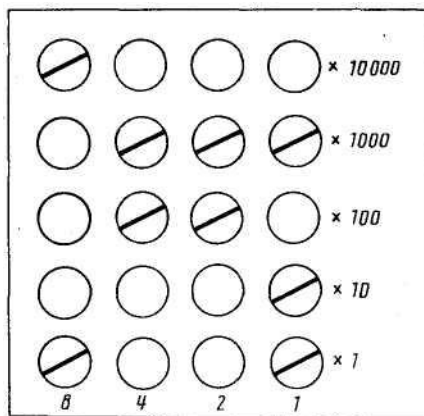


Рис. 10.8. Панель набора бортового номера

Для формирования ответной информации о бортовом номере используется двоично-десятичное кодирование. В каждой из пяти декад передается десятичное число 0...9 четырехразрядным двоичным числом.

Передача ключевого и информационного кода бортового номера производится, начиная с младших декад и с младших разрядов. Так, бортовой номер 75694 в двоично-десятичном коде представляется в виде последовательности цифр 0111, 0101, 0110, 1001, 0100. Передается этот код в следующем порядке: 0010, 1001, 0110, 1010 1110.

Код текущей информации. Для него используется позиционное двоично-десятичное кодирование. Потолок высоты полета для перспективных самолетов не превышает 30 000 м. Двоичный код высоты поступает на шифратор с электронного или электромеханического преобразователя высоты, электрически связанного с барометрическим высотомером. Высота передается с точностью до 10 м, поэтому для передачи высоты, т. е. чисел в диапазоне 000...3000, требуется не более четырех декад. Запись значений разрядов двоичного числа, обозначающего высоту, производится, начиная с младшего разряда. В первой декаде будут записаны десятки метров, в четвертой — десятки тысяч метров. При этом в четвертой декаде занято не более двух разрядов, так как с их помощью можно передать весь необходимый набор цифр (0, 1, 2, 3), отображающих высоты полета с градацией 10 км. Наибольшее число, которое может быть передано, 3999. Имеются ответчики, передающие высоту только лишь до 15 000 м.

В третьем разряде четвертой декады передается символ, обозначающий признак опорного давления, от которого производится отсчет высоты. Если на бортовом барометрическом высотомере установлено опорное давление 760 мм рт. ст. ($1,013 \cdot 10^5$ Па), то в этом разряде передается 1 и на цифровом табло или, экранные системы отображения информации о давлении не будет. Если же на высотомере установлено опорное давление, соответствующее давлению в аэропорту прибытия, то в третьем разряде передается символ 0. В системе отображения воспроизводится буква "А". Четвертый разряд четвертой декады предназначен для передачи информации об аварии. Для этого на пульте управления ответчика включается тумблер «Авария». При этом передается символ 1. Полученный код 1 отображается символом Б (бедствие).

Информация о запасе топлива шифруется десятичными цифрами, имеет 12 градаций и передается в пятой декаде натуральным четырехразрядным двоичным кодом. При массе топлива 50...100 % полной заправки передается цифра 10, в двоичном коде имеющая вид 1010. Затем при расходе каждые 5 % половины запаса передаются десятичные цифры от 9 до 0, т. е. от 1001 до 0000.

В новых типах ответчиков данные о запасе топлива (в соответствии с нормами на ВРЛС) передаются 15 градациями (15 десятичными числами) в процентах от полной вместимости топливных баков. От 100 до 50 % градаций идут через 10 %, от 50 до 5 % — через 5%.

Ответчик может излучать двухимпульсный код опознавания, имеющий кодовый интервал 6 мкс. Код выдается после запроса по радиосвязи при нажатии на пульте ответчика кнопки «Знак». На экране индикатора после получения опознавательной посылки на отметке и рядом с ней появляется дополнительная маркировка. С помощью этой маркировки производится идентификация координатной отметки ВС с его бортовым номером.

10.5. Структура ответных кодов в режиме «RBS»

К ответным кодам относятся коды опознавания (номера) и высоты. Информация о номере и высоте передается четырехзначными цифрами, поэтому ответные коды четырехразрядные.

Для формирования ответных кодов принят позиционный метод кодирования с пассивной паузой. Ответный код (рис. 10.9) состоит из двух разнесенных на 20,3 мкс опорных кадровых импульсов 1К, 2К, являющихся координатным кодом, и 12 позиции для информационных кодов. Ответные коды выдаются по каждому запросу. В наземной аппаратуре запоминаются две ответные посылки, которые декодируются после приема третьей посылки. После второго кадрового импульса 2К через временной интервал 4,35 мкс расположен специальный импульс индикации (опознавания), местоположения ВС — SpI. Импульс выдается в течение 10...30 с при нажатии кнопки «Знак» на пульте управления ответчиком в режиме «RBS» в ответ на запрос по радио с земли.

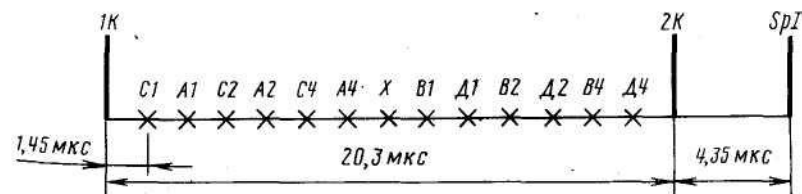


Рис. 10.9. Структура ответного кода в режиме «RBS»

Могут быть также переданы служебные сигналы: «Аварийное состояние ВС» — числом 7700, «Потеря радиосвязи» — 7600 и «Незаконное вмешательство в действия экипажа» — 7500. Длительность импульсов в коде 0,45 мкс, полярность отрицательная. Число устанавливается на пульте цифронабирателя ответчика.

Код опознавания (код номера). Код представляется четырехразрядным, восьмеричным числом (с базой 0...7 и основанием счисления $p=8$). Любое четырехразрядное восьмеричное число в восьмеричной системе может быть представлено суммой $A_8^3 + B_8^2 + C_8^1 + D_8^0$. При этом наибольшее число имеет вид 7777. Числа, соответствующие коэффициентам $A_i B_i C_i D_i$, где $i = 4, 2, 1$, записываются в двоичном счислении. Для записи наибольшего восьмеричного числа 7 в двоичном счислении необходимы три разряда. Так, например, коэффициент A_i в двоичном виде будет представлен суммой $A_4 2^2 + A_2 2^1 + A_1 2^0$, где вместо A_4, A_2, A_1 будут 1 или 0 в соответствии с табл. 10.1.

Благодаря принятой индексации $i = 4, 2, 1$ возможно рассчитать любой коэффициент A в его восьмеричном значении по записи в двоичном виде путем сложения тех индексов двоичных цифр, у которых коэффициент 1, т. е. $\sum i$ при $A_i = 1$, например $1_4 2^2 + 0_2 2^1 + 1_1 2^0 = 4 + 0 + 1 = 5$. Общее число комбинаций из 12 позиций, т. е. наибольшее число опознавательных кодов, которое может быть закодировано рассмотренным способом, будет $2^{4 \times 3} = 8^4 = 4096$.

Код номера зарубежного ВС назначается диспетчером при его вылете из аэропорта или при входе в аэродромную зону районного центра из числа кодов, выделенных для данного аэропорта. На ВС, которым коды еще не назначены, устанавливается код номера 2000, который не высвечивается на экране системы отображения при сопровождении этого ВС. Цифры номера кода устанавливают на пульте управления шифратором поворотом ручек цифронабирателя. До этого переключатель режимов на пульте управления ответчиком должен быть установлен в положение «RBS». При передаче кода номера первыми идут младшие разряды двоичных и младшие разряды восьмеричных чисел.

Ответный код высоты полета. В режиме «RBS» должна передаваться высота полета до 100 000 футов с точностью 100 футов, т. е. наибольшее передаваемое десятичное число будет 1000. Каждый из разрядов этого числа должен быть зашифрован на позициях A_i, B_i, C_i, D_i , причем порядок их следования при передаче следующий: D, A, B, C .

Зашифровать десятичные цифры 0...9 на трех позициях $i = 1, 2, 4$ нельзя, поэтому для решений этой задачи использован градационный метод. Двоичными кодами 01, 10, 11 на позициях D_2, D_3 и D_4 передаются три градации высоты ценой 32000 футов каждая. Позиция D_1 свободна. Позициями A_i и B_i передается по 7 градаций ценой соответственно 4000 и 500 футов каждая, а позициями C_i — 5 градаций — по 100 футов. Последняя пятая градация передается цифрой 7. Цифры 5 и 6 не используются. Максимальная высота, которая

шифруется этим методом, будет равна сумме произведений чисел градаций на их цену, т. е. 128 000 футов. Так как отсчет высоты производится от остаточной высоты 1300 футов, то максимальная передаваемая высота будет 126 700 футов. Цифры, обозначающие текущий номер градации, шифруются двоичными трехразрядными кодами специального типа.

Процесс заполнения позиций и градаций идет следующим образом. После заполнения двоичными кодами высоты пяти градаций C_i двоичная единица передается на позиции B_i . При этом позиции C_i обнуляются. После заполнения пяти градаций B_i единица передается позиции A_i , а после заполнения A_i — позиции D_i . Заполнение может изменяться как в большую, так и в меньшую сторону.

Значения высоты снимаются с баровысотомера в виде напряжений и преобразуются в код на аналого-цифровом преобразователе (электромеханическом или электронном в зависимости от типа ответчика).

Для кодирования используется код Гиллхема. Этот код создан на базе обычного натурального двоичного кода, в котором по определенным правилам изменен порядок чередования 1 и 0. Цель изменения кода — повышение его помехоустойчивости.

В схемах преобразования и кодирования ответчика при работе возможны переходные процессы, при которых возникает генерация импульсных напряжений, которые могут быть зафиксированы, как ложные сигналы, например вместо 0 будет 1 или вместо 1 будет 0. В этом случае вместо последовательного верного изменения счета градаций высоты возможно ложное изменение записи на несколько градаций, поэтому был создан специальный код Гиллхема, в котором при изменении высоты полета изменения в коде происходят только в младшем разряде. Этот код представляет собой сочетание рефлексного кода Грея и специального рефлексного кода. Рефлексный код Грея представляет собой сочетание натурального кода Грея с зеркальным. В натуральном коде Грея каждое последующее число отличается от предыдущего только на один младший разряд, поэтому больших ошибок при передаче не будет:

Десятичное число	0	1	2	3	4	5	6	7
Натуральное число (код)	000	001	010	011	100	101	110	111
Натуральный код Грея	000	001	011	010	110	111	101	100
Зеркальный код Грея	100	101	111	110	010	011	001	000

Для того, чтобы десятичное число записать в виде натурального кода Грея, необходимо сначала его представить в натуральном двоичном коде, затем сдвинуть разряды двоичного числа на один разряд вправо (при этом младший разряд теряется), а потом произвести поразрядное сложение сдвинутого и несдвинутого числа без переноса из разряда в разряд. При этом надо считать, что $1+1=0$. Зеркальный код Грея создается зеркальным отображением двух младших разрядов натурального кода Грея и заменой у натуральных ко-

дов Грея нулевого старшего разряда на единицу (у чисел, соответствующих 0, 1, 2, 3), а единичного — на нуль (у чисел, соответствующих 4, 5, 6, 7).

Рефлексный код Грея строится следующим образом. Если на предыдущих соседних трех позициях высшего разряда передаваемого десятичного числа записано четное число, то на следующих позициях низшего разряда десятичное число запишется натуральным кодом Грея. Если записано нечетное число, то используется зеркальный код Грея.

Специальный рефлексный код, используемый для передачи младших разрядов высоты, приведен ниже:

Высота, фута	0...100	100...200	200...300	300...400	400...500
Натуральный код	001	011	010	110	100
Рефлексный код	100	110	010	011	001

Если запись на соседних старших позициях (градации В) отсутствует или там записано четное число, то для записи чисел на позициях S_i применяется натуральный код. При нечетном числе на старших позициях используется зеркальный код. Те же правила сохраняются при необходимости записи высоты более 500 футов. Значение 500 будет сразу записано градацией на позициях V_i , оставшееся число меньше 500 записывается, как градации позиций S_i .

Использование методики пересчета десятичного числа в двоичную систему, выраженную кодом Гиллхема, весьма сложно, поэтому для получения числа, обозначающего высоту, надо пользоваться изданными ИКАО специальными таблицами.

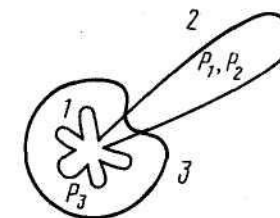
10.6. Защита каналов запроса и ответа от воздействия ложных сигналов

Антенны ВРЛС имеют значительные боковые лепестки ДН. Основные причины проявления боковых лепестков — дифракция радиоволн на краях антенны из-за неравномерного распределения амплитуды и фазы колебаний ЭМВ по раскрытию антенны и влияние отражений от местных предметов.

Коэффициент усиления антенны ВРЛС по боковым лепесткам $G_{б.л}$ значителен. Так, ослабление по отношению к главному лепестку $\delta = G_{гл}/G_{б.л}$ может быть всего лишь в 50...100раз. Поэтому если не принять защитные меры, то ответчики ВС, начиная с некоторой дальности от ВРЛС, будут запускаться запросными кодами, излученными не только главным, но и боковыми лепестками антенны ВРЛС. Прием запросчиком ответных сигналов также будет происходить как по главным, так и по боковым лепесткам. В результате происходят ненужные запуски ответчика, а на экране индикатора появляются ложные отметки по обе стороны от основной, которые при уменьшении дальности могут превратиться в кольцо. Ложные

рис. 10.10. Диаграммы направленности антенны запросчика в горизонтальной плоскости:

1 — задний и боковые лепестки ДН основной антенны; 2 — главный лепесток основной антенны; 3 — ДНА дополнительной антенны



отметки затрудняют работу диспетчера по обнаружению ВС и определению координат.

Дальность, начиная с которой осуществляется запуск ответчика сигналами боковых лепестков, $R_{б.л}$ может быть определена по известному уравнению дальности для ВРЛС. В соответствии с этим уравнением дальность запуска ответчика по главному $R_{г.л}$ и боковом $R_{б.л}$ лепестками запросчика может быть представлена в виде:

$$R_{г.л} = K\sqrt{G_{г.л}} \text{ и } R_{б.л} = K\sqrt{G_{б.л}}$$

$$\text{Так как } G_{б.л} = \frac{1}{\delta} G_{г.л}, \text{ то } R_{б.л} = \frac{1}{\sqrt{\delta}} R_{г.л}.$$

Для защиты от появления ложных отметок используют различные методы как в канале запроса, так и в канале ответа. Способы защиты приемника ответчика и приемника запросчика применяются одновременно.

Защита ответчика (запросного канала). Ответчик должен быть защищен от срабатывания по запросным кодам, излученным боковыми лепестками ВРС, так как они создают ложные для нее ответные сигналы. Для этого в запросные коды введен импульс подавления P_3 , который излучается через время $t_k = 2$ мкс после импульса P_1 (см. рис. 10.4 и 10.5). С помощью импульса P_3 в ответчике устанавливается факт приема запросных посылок, излученных боковыми лепестками (1) антенны ВРЛС (рис. 10.10), после чего они исключаются из обработки. Этот метод защиты называется трехимпульсным.

Для реализации этого метода в антенную систему встраиваются дополнительные излучатели, создающие почти круговую ДН 3 в горизонтальной плоскости. В вертикальной плоскости ДН основной и дополнительной антенн практически совпадают. Основная антенна излучает двухимпульсный код P_1P_2 главным 2 и боковыми лепестками 3. Импульс P_3 излучается ДН 3 дополнительной антенны. Мощность запросных импульсов P_1 и P_2 , излучаемых главным лепестком (г.л.) ДН должна превышать на величину ΔP мощность импульса подавления P_3 , а мощность импульса P_3 должна быть больше на ΔP мощности импульсов P_1 и P_2 , излученных боковыми лепестками (б.л.), т. е. $P_{1г.л} + P_{2г.л} + \Delta P > P_3$, а $P_3 P_{1б.л} + P_{2б.л}$.

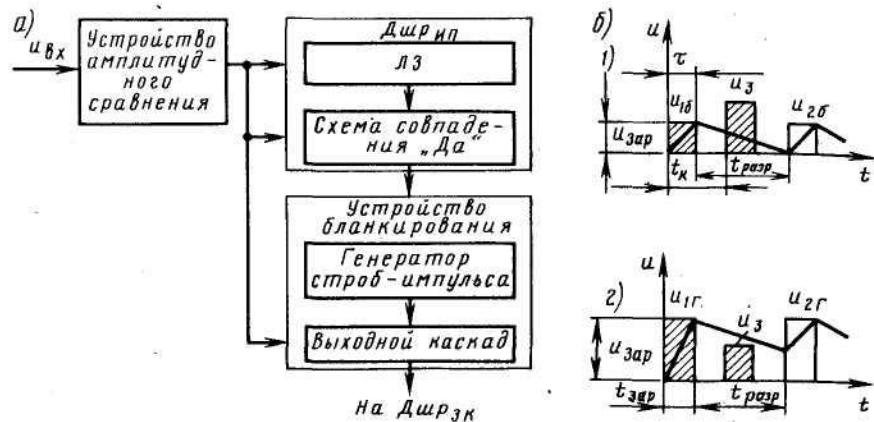


Рис. 10.11. Трехимпульсная схема защиты канала запроса (а) и диаграммы напряжений в схеме сравнения (б)

Рассмотрим работу устройства подавления в ответчике СОМ-64, реализующем указанный метод (рис. 10.11). Оно состоит из устройства амплитудного сравнения, дешифратора ДШР_{ил} импульсов подавления и бланкирования. Устройство амплитудного сравнения, представляющее собой усилитель с накопителем в виде схемы с параллельно включенным конденсатором и сопротивлением, решает задачу различия запросных кодов (з.к), поступающих на ответчик с боковых лепестков запросчика от кодов, идущих с главного лепестка. Из приемника ответчика импульс P_1 кода, имеющий напряжение u_{16} или $u_{1Г}$, попадет на схему сравнения, где за время $t_{зар}$, равное длительности импульса τ , заряжает конденсатор накопителя до напряжения $u_{зар}$ (рис. 10.11, б), которое пропорционально амплитуде прошедшего импульса, т. е. импульсов P_{16} или $P_{1Г}$ (от бокового или главного лепестка ДН). Сразу после зарядки накопителя начинается его разряд.

Постоянная времени разряда схемы выбирается такой, чтобы за время $t_{разр} = t_k - \tau$ заряд на конденсаторе уменьшился на величину не менее разницы напряжений первого импульса кода и импульса подавления. В случае, когда накопитель заряжается импульсом P_1 , излученным боковым лепестком (рис. 10.11, б, 1), напряжение u_3 , созданное импульсом подавления P_3 , пройдет на выход схемы сравнения, так как $u_3 > u_{зар}$, если же накопитель будет заряжен импульсом $P_{1Г}$, излученным главным лепестком запросчика (рис. 10.11, б, поз. 2), то напряжение импульса подавления u_3 не пройдет на выход схемы совпадения, так как $u_3 < u_{зар}$ на накопителе.

Таким образом, в случае приема ответчиком запросного кода от бокового лепестка ВРЛС все три импульса поступят на ДШР импульсов подавления и одновременно на схему совпадения и на выходной каскад устройства бланкирования. В момент прихода импульса

подавления на схему совпадения на нее также поступит импульс u_{16} , задержанный на t_k . В результате совпадения двух импульсов на выходе схемы образуется импульс, который запускает генератор строб-импульса устройства бланкирования. Его строб-импульс запирает выходной каскад на 35 мкс, поэтому второй импульс запросного кода P_2 не проходит в выходной каскад. В результате коды, излученные боковыми лепестками, не попадают на ДШР_{зк} запросного кода.

В случае приема запросного кода P_1 , P_2 и импульса подавления P_3 от главного лепестка антенны ВРЛС дешифратор подавления не вырабатывает сигнал для создания бланкирующего импульса, поэтому код запроса проходит через выходной каскад на ДШР запросного кода.

Защита запросчика (ответного канала). Задачей временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ) является защита РПУ ВРЛС от перегрузки ответными сигналами с ВС, находящихся на небольших расстояниях от ВРЛС, а также от ложных сигналов, создаваемых переотражениями от земной поверхности (рис. 10.12, а). Защита осуществляется уменьшением чувствительности РПУ путем подачи увеличивающегося с уменьшением дальности отрицательного напряжения $u_{ВАРУ}$ (рис. 10.12, б) до уровня, обеспечивающего непрохождение мешающих сигналов. Следовательно, коэффициент усиления приемника $K_{УПЧ}$ (рис. 10.12, в) также будет уменьшаться. При этом напряжение $u_{вых}$ приемника для сигналов, принятых по главному лепестку, будет практически постоянным на всей дальности, обеспечиваемой ВАРУ (рис. 10.12, г), а сигналы ответчиков, принятые боковыми лепестками ВРЛС, станут меньше порогового напряжения РПУ $u_{пор}$. Схема ВАРУ запускается одновременно с излучением запросного кода. В каждом периоде повторения

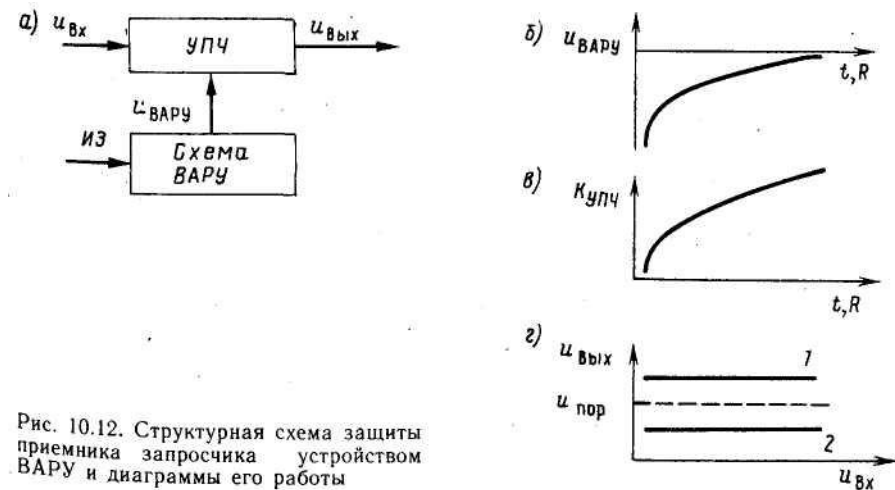


Рис. 10.12. Структурная схема защиты приемника запросчика устройством ВАРУ и диаграммы его работы

напряжение $u_{\text{вару}}$ подается на один-два каскада УПЧ в течение времени, соответствующего 50... 100 км дальности.

Метод не обеспечивает полной защиты. Затруднительно, например, выбрать порог таким, чтобы он в одинаковой степени не позволял пройти ответным сигналам по боковым лепесткам ВРЛС от ВС, находящихся на различных углах места относительно ВРЛС. Это объясняется тем, что коэффициент усиления антенны с увеличением угла места изменяется, а также имеются различия в уровнях боковых лепестков. Однако совместно с другими методами ВАРУ помогает получить удовлетворительные условия работы ВРЛС.

Метод сравнения интенсивностей сигналов от основной и дополнительной антенн. Для реализации этого метода ВРЛС должна иметь два отдельных приемных канала. Первый канал включает основную антенну — антенну запроса A_3 и приемник Прм, а второй — дополнительную антенну — антенну подавления A_n и приемник (рис. 10.13, а). Антенна подавления имеет всенаправленную ДН в горизонтальной плоскости и повторяет форму ДН основной антенны в вертикальной плоскости. Обобщенные чувствительности двух трактов, т. е. произведения коэффициентов усиления антенн на коэффициенты усиления приемников, должны быть такими, чтобы мощности пачек сигналов, принимаемых главным P_r и боковыми P_6 лепестка-

ми основного тракта и тракта подавления P_n , находились в соотношении $P_r > P_n > P_6$. Сравнение принятых сигналов (рис. 10.13, б) производится в устройстве подавления (вычитания). Из основного сигнала 1, принятого A_3 , вычитается сигнал 2, поступающий по каналу подавления. Если ВС находится на направлении главного лепестка, результирующий сигнал 3 будет положительным. Если ответный сигнал придет по боковому лепестку, то разность будет отрицательной. На выходе схемы стоит пороговое устройство (ограничитель), не пропускающее отрицательные напряжения, поэтому на дешифратор должны проходить сигналы $P_{\text{дшр}}$, принятые главным лепестком канала запроса 4.

Использование метода вычитания амплитуд приводит к потере мощности выходных сигналов, т. е. к уменьшению дальности ВРЛС. Для принятия правильного решения о приеме сигналов главными или боковыми лепестками необходима трудно достижимая полная идентичность обоих каналов. Возможна перегрузка РПУ основного канала ответным сигналом на малой дальности. В этом случае схема вычитания будет малоэффективна. Для защиты от перегрузок в РПУ используются логарифмические усилители. Рассмотренный метод подавления используется в ДРЛ-7 и ее модификациях.

Фазово-амплитудный метод подавления сигналов. При этом методе для снижения требований идентичности амплитудных характеристик двух приемных трактов ВРЛС производится преобразование амплитудных различий сигналов двух каналов (основного и подавления) в фазовые, которые меньше зависят от изменения коэффициента передачи усилительных трактов приемника, а затем опять в амплитудные, которые сравниваются между собой. Фазовые различия получают в кольцевом (КМ) волноводном мосту (рис. 10.14), расположенном на входе приемников (рис. 10.15) каналов сложения (РПУ_{к.с}) и вычитания (РПУ_{к.в}).

До основной и дополнительной антенны (подавления) A_n сигнал ответчика проходит различные расстояния, поэтому вследствие разности хода фазы этих сигналов будут отличаться на угол ψ , что учтено на векторных диаграммах (рис. 10.16) на которых сигналы с основной антенны, принятые главным ее лепестком и боковыми лепестками, обозначены соответственно векторами u_r и u_6 , а принятые антенной подавления u_n . Выявление разности фаз между ответными сигналами, принятыми этими антеннами, производится суммирующим и вычитающим устройством на высокой частоте в волноводном

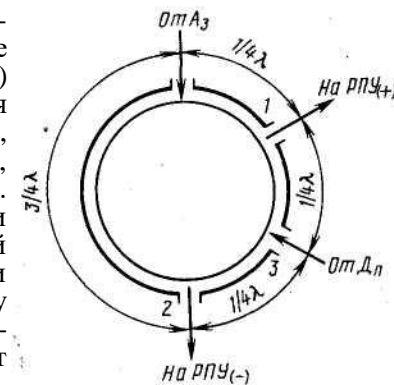


Рис. 10.14. Схема кольцевого моста

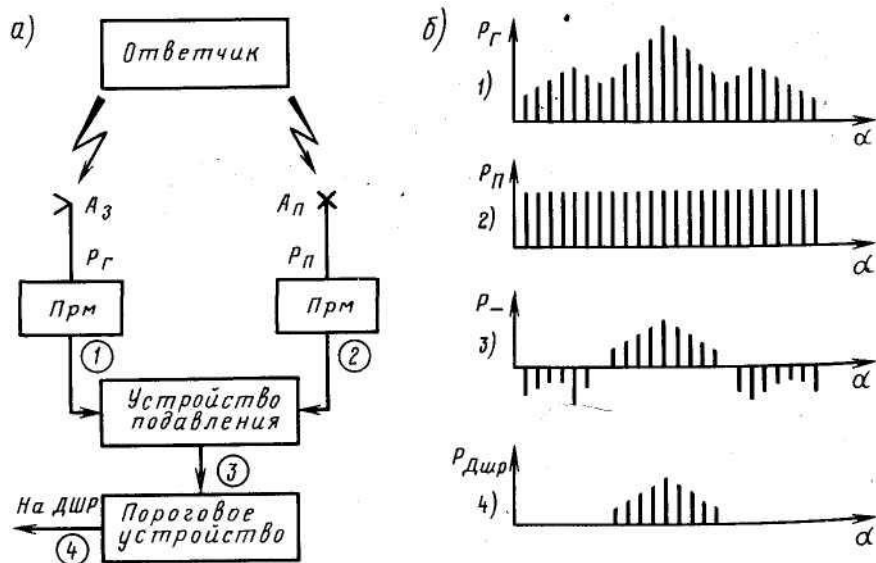


Рис. 10.13. Структурная схема защиты приемника запросчика методом сравнения амплитуд (а) и форма сигналов на устройствах схемы (б) на выходе приемника основного канала (1), на выходе приемника канала подавления (2), на выходе схемы подавления (3), на выходе порогового устройства (4)

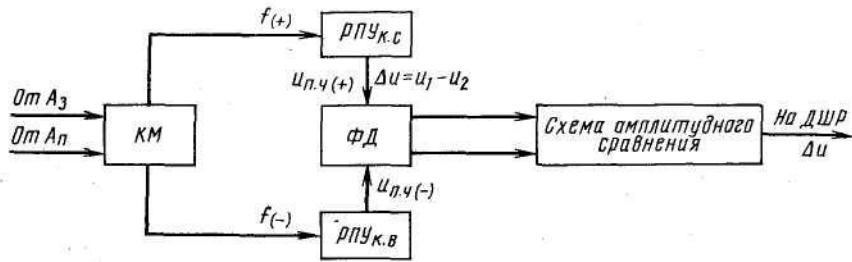


Рис. 10.15. Структурная схема устройства подавления сигналов от боковых лепестков при фазово-амплитудном методе защиты

кольцевом мосту. В нем входы сигналов от основной и дополнительной антенн разносятся таким образом, чтобы в местах выхода сигналов на РПУ колебания принятых сигналов были на одном входе в фазе, т. е. складывались, а на другом в противофазе, т. е. вычитались.

Так как $\bar{u}_r > \bar{u}_n$, то при векторных сложениях и вычитаниях (рис. 10.16, а) фазы результирующих векторов $u_{p,r(+)}$ и $u_{p,r(-)}$ отличаются на угол $\theta < 90^\circ$. При сложении и вычитании сигналов u_δ и \bar{u}_n (рис. 10.16, б), так как $\bar{u}_\delta < \bar{u}_r$, фазы результирующих векторов $u_{p,\delta(+)}$ и $u_{p,\delta(-)}$ отличаются на угол $\theta > 90^\circ$. Таким образом, пары результирующих векторов $u_{p,r(-)}$, $u_{p,r(+)}$ и $u_{p,\delta(-)}$, $u_{p,\delta(+)}$ отличаются разностью фаз.

Результирующие ВЧ-сигналы $\bar{u}_{p,r(+)}$ и $\bar{u}_{p,r(-)}$ или $\bar{u}_{p,\delta(+)}$ и $\bar{u}_{p,\delta(-)}$ преобразуются в двухканальном РПУ в сигналы ПЧ (см. рис. 10.15), усиливаются и подаются на два плеча фазового детектора ФД, в которых фазовые различия преобразуются в амплитудные. Векторная диаграмма работы ФД приведена на рис. 10.17. В качестве опорного напряжения в обоих плечах используются суммарные сигналы $u_{p,r(+)}$ и $u_{p,r(-)}$. Разностный сигнал подается через среднюю точку одновре-

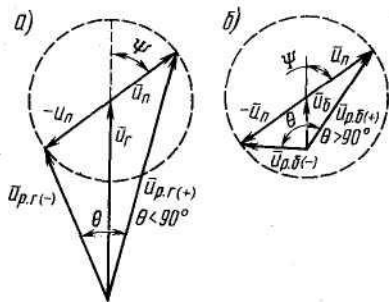


Рис. 10.16. Векторные диаграммы напряжений на входах кольцевого моста от антенн основной и подавления

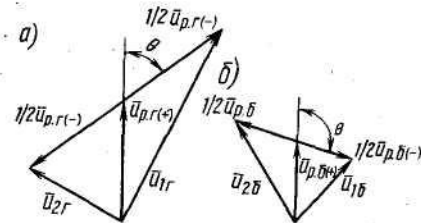


Рис. 10.17. Векторные диаграммы напряжений на выходе фазового детектора

менно на оба плеча ФД. На каждом плече детектора будет $1/2 u_{p,r(+)}$ или $1/2 u_{p,\delta(-)}$. Из рис. 10.17, а видно, что если ответ принят главной лепестком основной антенны, то вследствие того, что угол θ острый, результирующее напряжение на выходе правого плеча ФД u_{1r} больше, чем u_{2r} на левом. При приеме ответных сигналов боковыми лепестками (рис. 10.17, б) напряжение на правом плече $u_{1\delta}$ будет меньше, чем $u_{2\delta}$ на левом, так угол θ тупой.

На выходе устройства подавления (см. рис. 10.14) имеется схема амплитудного сравнения, которая производит вычитание напряжения левого плеча из напряжения правого плеча и ограничивает (не пропускает) отрицательное напряжение. Поэтому при приходе сигналов боковых лепестков антенны запросчика эти сигналы не пройдут схему сравнения, а при приеме сигналов от главного лепестка положительные разностные сигналы пройдут на выход схемы.

10.7. Вторичная РЛС «Корень-АС»

ВРЛС «Корень-АС» предназначена для определения азимута и дальности ВС и получения полетной информации от отечественных и иностранных ВС о их состоянии. ВРЛС «Корень-АС» состоит из собственно ВРЛС, размещенной в кабине автоприцепа, а также аппаратуры групповой и индивидуальной, устанавливаемой на командно-диспетчерском пункте (КДП). Оборудование, размещенное в автоприцепе, включает приемопередающие устройства, антенно-фидерную систему, аппаратуру управления и распределения сигналов, аппаратуру обработки, а также аппаратуру контроля и питания. На КДП устанавливается аппаратура: отображения информации, обработки и распределения сигналов, контроля и питания. Информация от ВРЛС на КДП передается по линии передачи данных.

ВРЛС «Корень-АС» может работать автономно и вместе с ПРЛС. Цель совместного использования ВРЛС с ПРЛС — получение координатной информации от обеих РЛС, а полетной — от ВРЛС, для совмещенного отображения информации на общих индикаторах. Вращение антенных устройств ВРЛС и ПРЛС синхронизируется специальной системой. Запуск передатчика ВРЛС производится импульсом запуска ПРЛС, так как ВРЛС имеет большую дальность действия, чем ПРЛС. Аппаратура первичной обработки информации — общая для обоих каналов.

Аппаратура ВРЛС «Корень-АС», за исключением антенной системы, резервирована. Антенная система располагается либо на крыше автоприцепа, либо на металлической решетчатой опоре. ВРЛС «Корень-АС» обеспечивает работу с ответчиками отечественных ВС в режиме «УВД» при запросах кодами ЗК1 и ЗК2 (БН и ТИ), а с ответчиками зарубежных ВС работает в режиме «RBS» кодами А, В и С. Возможна одновременная работа ВРЛС «Корень-АС» с ответчиками зарубежных и отечественных ВС. В этом случае ис-

пользуются совмещенный режим «RBS+УВД» и сочетания кодов В, ЗК1 и С, ЗК2 (см. рис. 12.6). Режимы запроса могут включаться в различной последовательности с возможностью чередования режимов. Так, в режиме «RBS» может быть установлено чередование кодов типа А и С. При этом запуск ответчиков зарубежных ВС будет осуществляться по-прежнему кодами А и С, запуск ответчиков отечественных ВС — кодами ЗК1 и ЗК2, совмещенными с кодами В и С. Сочетание режимов запроса А, В и С, их последовательность и чередование могут быть постоянными, а могут меняться через время одного оборота антенны.

В режиме «УВД» запросы и ответы осуществляются в отечественном диапазоне (ОД): 730; 740 или 750 МГц (запрос) и 837 МГц (ответ). В международном диапазоне (МД) запросы и ответы идут соответственно на частотах 1030 МГц ($\lambda \approx 29,13$ см) и 1090 МГц ($\lambda \approx 27,52$ см). В совмещенном режиме запрос идет на частоте МД, ответы на частоте ОД («УВД») и МД («RBS»).

Выбор режима работы ВРЛС может быть местным или дистанционным. Местное управление осуществляется с панелей шкафов, в которых размещается аппаратура ВРЛС. Дистанционное управление осуществляется с пульта управления, расположенного на КДП. ВРЛС «Корень-АС» может работать совместно с трассовыми и диспетчерскими РЛС, такими, как АТС-22, П-37, 1-РЛЗ9-2, ДРЛС-9 и др., обеспечивая работу аппаратуры отображения «Строка-Б», «Знак», «Символ», «Страница», «Строка-2», а также в составе АС УВД «Старт», «Спектр», «Теркас», «Трасса», «Стрела».

Основные эксплуатационные характеристики ВРЛС «Корень-АС»

Максимальная дальность действия, км	450
Углы места зоны обзора, градус	0,5...45
Максимальная высота, км	20
Вероятность получения полетной информации	$\geq 0,90$
Вероятность получения ложной информации	10^3
Разрешающая способность:	
по дальности, м	1000
по азимуту, градус	4 (ОД), 3 (МД)
СКП определения:	
дальности, м	500
азимута, градус	1
Уровень боковых лепестков	17 дБ (ОД), 14 дБ (МД)
Частота вращения антенны	3 и 15 об/мин
Наработка на отказ, ч	> 500
Среднее время восстановления, ч	0,5
Технический ресурс, ч	40000

ВРЛС имеет защиту от ложных сигналов, принимаемых боковыми лепестками, методами обычной инерционной и временной автоматической регулировки усиления и амплитудно-фазовыми. Для защиты приемника ответчика в кодах запроса используются импульсы подавления, препятствующие запуску ответчика кодами, излученными боковыми лепестками запросчика.

Межведомственные нормы для ВРЛ несколько отличаются от характеристик эксплуатируемых ВРЛС. Так, по этим нормам максимальная дальность для различных типов ВРЛС может быть 120, 200 и 400 км, разрешающая способность по азимуту— 1,2 от ширины ДН (рекомендуется 2,5...5°).

Для предотвращения излишних запусков ответчиков нормируются: уровень боковых лепестков антенны запросчика (22 дБ от уровня основного); максимальная частота повторения запросных кодов 500 Гц и ответных кодов 1500...2000 Гц; максимальная мощность запросных импульсов 55 дБ/Вт для МД и 72 дБ/Вт для ОД и ответных импульсов 300...800 Вт; чувствительность приемников —122 дБ для запросчика и —104 дБ для ответчика; наработка на отказ должна быть не менее 2500 ч для наземной и 300 ч для бортовой аппаратуры. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность использования двух дополнительных запросных кодов ЗКЗ и ЗК4. Кодом ЗКЗ опрашивается вектор путевой скорости, т. е. путевого угла в пределах 0... 180°, и путевой скорости в интервале 0...3034 км/ч. В ответном коде для этой информации отводятся соответственно 10 и 20 разрядов. Ответ на код ЗК4 содержит только координатные сигналы.

Структурная схема ВРЛС приведена на рис. 10.18. Передающие устройства ОД и МД построены по схеме задающий генератор (ЗГ) — усилитель мощности (УМ). ЗГ — высокостабильные, они используются также в качестве гетеродинов РПУ. Усилитель мощности создает ВЧ-колебания путем покасадного усиления и умножения частоты. Импульсы P_1, P_3, P_2 генерируются одними и теми же передатчиками $Прд$. Импульсами запуска передатчиков являются запросные коды, формируемые в шифраторе режимов. Его запуск осуществляется автономно с частотой $F_{п} = 450$ Гц или от ПРЛС. Шифратор имеет две схемы для обеспечения режимов «УВД» и «RBS».

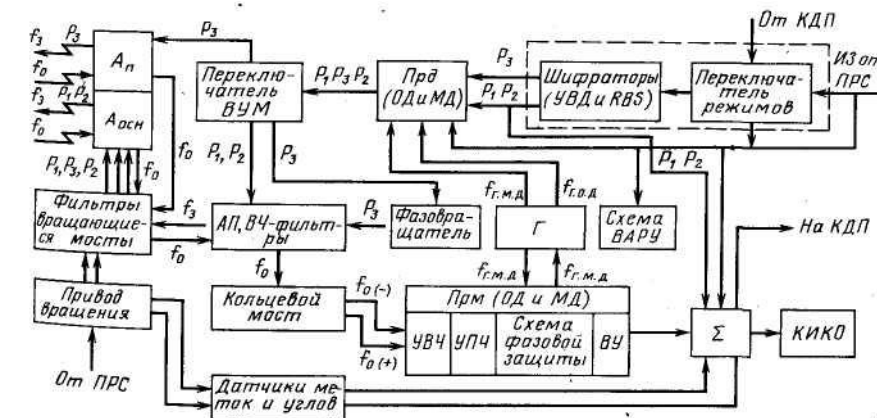


Рис. 10.18. Структурная схема ВРЛС «Корень-АС»

Основная антенна A_0 и антенна подавления $A_{п}$ объединены в один блок и обеспечивают работу в ОД и МД. Основная антенна типа линейной решетки состоит из 40 расположенных горизонтально в ряд рупоров. В каждом рупоре имеются два возбуждителя, излучатели которых размещены ортогонально друг к другу, чем обеспечивается создание и прием горизонтально поляризованных колебаний в ОД и вертикально поляризованных в МД. В результате сложения полей, излучаемых различными рупорами, образуется узкая ДН основной антенны (рис. 10.19, кривая 1). Антенна подавления представляет собой два отрезка волновода, направленных в противоположные стороны, которые образуют почти круговую ДН с значительным ослаблением напряженности поля в направлении главного лепестка основной антенны (рис. 10.19, кривая 2). Ослабление ДН антенны подавления сделано для обеспечения необходимой разницы в интенсивности импульсов запроса P_1 , P_2 , излучаемых основной антенной, и импульса подавления P_3 , излучаемого антенной подавления в главном лепестке.

Ослабление поля получается вследствие одновременного излучения импульсов P_3 обеими антеннами, причем колебания импульса P_3 , излученные основной антенной, отличаются на 180° , поэтому происходит взаимное их гашение. Изменение фазы происходит в фазовращателе. Для этого на него из переключателя высокого уровня мощности (ВУМ) подается часть энергии импульса P_3 . Поле сигналов запроса не ослабляется, так как они излучаются в иное время, чем импульсы подавления. Переключатель ВУМ предназначен также для переключения фидерного тракта и антенны на один из двух комплектов приемопередатчика.

С приводом антенны связаны датчики текущего угла положения антенны и меток «Север» и МАИ для обеспечения развертки индикатора и азимутальной сетки.

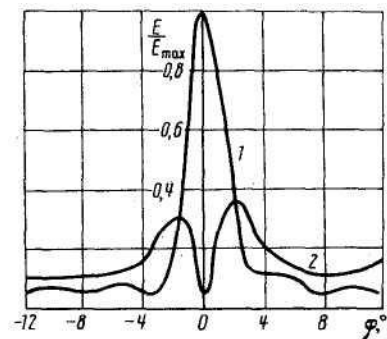


Рис. 10.19. Диаграммы направленности ВРЛС «Корень-АС» в горизонтальной плоскости:
1 — основная антенна; 2 — антенна подавления

Фидерный тракт осуществляет передачу энергии ВЧ-сигналов от передающих устройств к вращающейся антенне и ответных сигналов от антенны к приемным устройствам. Антенный переключатель (АП) и высокочастотные фильтры служат для защиты от проникновения в приемные тракты сигналов ПРЛС и мощных запросных сигналов при их излучении, а также для разделения частот ОД и МД ответных сигналов и передачи их в приемники ОД и МД.

Для защиты от ответных сигналов, принимаемых антенной по боковым лепесткам, на входе

приемника установлен суммарно-разностный кольцевой мост, вводящий в принимаемые главным и боковыми лепестками сигналы фазовые различия.

В приемниках производятся усиление сигналов, преобразование частоты и обработка сигналов промежуточной частоты по фазовому методу защиты от ложных сигналов. В приемнике имеются схемы ВАРУ и ШАРУ. Схема ВАРУ обеспечивает защиту от сильных ответных сигналов с ВС, находящихся на расстоянии 30...50 км и более от ВРЛС. Схема ШАРУ позволяет получить постоянство коэффициентов усиления в разностном и суммарном каналах. После объединения сигналов они подаются в передающую аппаратуру трансляции. В объединенный сигнал входят: видеоимпульсы ответных кодов, запросные коды при работе в режиме РБС, импульсы запуска, метка «Север», метки МАИ. Сигналы от датчиков текущего угла поворота антенны передаются по отдельной линии.

Групповая аппаратура (рис. 10.20) предназначена для декодирования и обработки координатной и дополнительной информации МД и ОД, а также сигнала опознавания SpI. В аппаратуре производится: преобразование высоты полета в футах в высоту в метрах, очистка координатной информации от несинхронных помех, выдача двоично-десятичных кодов полетной информации на аппаратуру отображения. Сигналы от ВРЛС проходят на усилители и корректирующие устройства, которые компенсируют амплитудные затухания и частотные искажения. В дешифраторе Дшр расшифровывается координатная и полетная информация. В Дшр ОД расшифровываются также ключевые коды. В Дшр МД в качестве ключевых сигналов, направляющих ответные коды в необходимый канал декодирования, служат запросные коды.

Защиты координатных кодов от несинхронных помех основана на отличии периода следования импульсных помех от периода следования импульсов кодов, т. е. используется признак несинхронности следования помех и импульсов кодов. В устройстве защиты для этого имеются две цифровые (на сдвигающих регистрах) линии задержки, на которых импульсы координат ВС задерживаются на один и два периода повторения. На схему совпадения подаются все задержанные и незадержанные импульсы. Однако ее проходит только

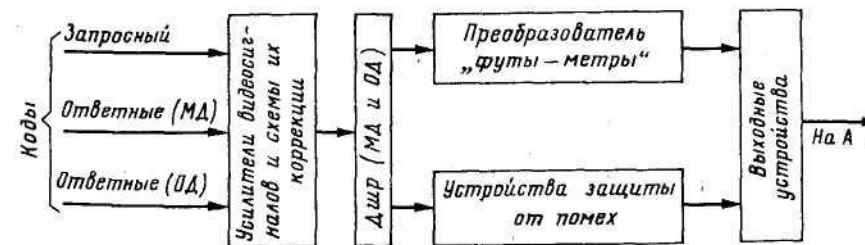


Рис. 10.20. Структурная схема групповой аппаратуры ВРЛС «Корень-АС»

последовательность импульсов с периодом повторения запускающих ВРЛС импульсов T_n , а остальные отсеиваются.

Выходные устройства готовят последовательность координатных кодов и полетной информации для подачи в линию передачи данных.

При автономном использовании ВРЛС «Корень-АС» координатная информация отображается на ИКО с темновой ЭЛТ типа 31ЛМ58 с диаметром экрана 41 см. ИКО имеет четыре масштаба дальности: 50, 100, 200 и 450 км. Основные метки дальности следуют через 10 км, а опорные через 50 или 100 км. Основные азимутальные метки идут через 10, а опорные через 30°. Индикатор имеет круговую и секторную развертки, ее центр может быть смещен в любую точку экрана. Полетная информация отображается на цифровых табло и передается на КДП.

В состав групповой аппаратуры входит также аппаратура управления, с помощью которой передаются команды управления режимами работы ВРЛС. Передаются 24 команды и 34 сигнала по проводной линии телеуправления и телесигнализации (ТУ и ТС). Групповая аппаратура используется также для управления устройствами, размещенными в КДП.

10.8. Самолетные радиолокационные ответчики

Самолетные ответчики работают совместно с ВРЛС и предназначены для формирования ответных посылок, преобразования их в ВЧ-сигналы и излучения. Первым ответчиком, использовавшимся в ГА, был СОД-57М, который работал совместно с ДРЛС-7 для опознавания ВС. На ВС ГА эксплуатируются ответчики: СО-63А, работающие в режиме «УВД»; СО-69, СО-70, СО-77, работающие в режиме РБС; СОМ-64 и СО-72М, работающие в режимах «УВД» и «РБС».

Далее будет описан ответчик, обеспечивающий оба режима работы. Структурная схема ответчика приведена на рис. 10.21. Схема ответчика имеет: приемопередающие антенные устройства, разделительный фильтр, приемник, шифраторы запросных сигналов в режимах «УВД» и «РБС», передатчик и пульт управления.

Передатчик создан по схеме «задающий генератор—усилитель мощности» и имеет мощность излучения 325... 1200 Вт. Усилитель мощности на металлокерамическом триоде модулируется транзисторным модулятором МГ, который открывается импульсами кода. ВЧ-колебания с ЗГ усиливаются в УМ и идут к антеннам.

Антенна (режим «УВД») в виде двух резонаторов установлена в верхней части киля ВС заподлицо с двух сторон. Антенна (режим «РБС») представляет собой вибратор в виде штыря, установленного в середине нижней части фюзеляжа. Обе антенны создают круговые ДН в горизонтальной плоскости и ДН шириной $\pm 30^\circ$ в вертикальной.

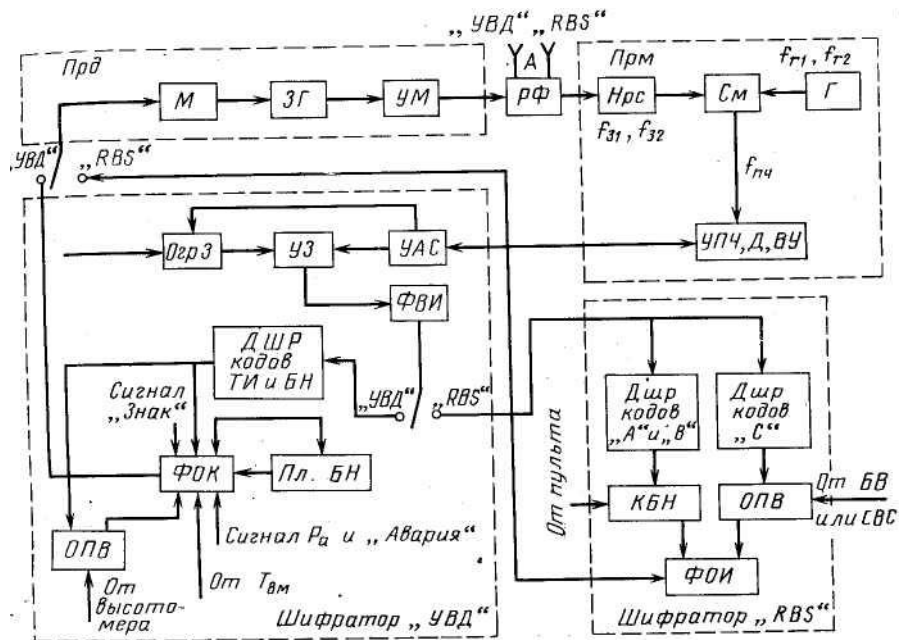


Рис. 10.21. Структурная схема ответчика СОМ-64

Разделительный фильтр $РФ$ предназначен для разделения сигналов ОД и МД и обеспечения передачи и приема. Разделение частот производится с помощью отрезков коаксиальных линий, длина которых подобрана так, чтобы выходное сопротивление этих отрезков было велико при прохождении сигнала одной частоты и мало при прохождении сигнала другой. Частота ответного сигнала в МД 1090 МГц, а в ОД - 730; 740 и 750 МГц.

Приемник имеет супергетеродинную схему с преселектором $Прс$ в виде коаксиальных контуров на выходе, настроенных на частоты ОД и МД. Гетеродинные частоты получают выделением 6-й и 7-й гармоники из частоты задающего генератора гетеродина $Г$ с помощью контуров высокой частоты. Чувствительность приемника является очень важным параметром, от которого зависят информационные характеристики СВРЛ, поэтому его значение стандартизировано. Увеличение чувствительности может привести к снижению вероятности ответа наземным запросчиком. Это объясняется тем, что с ростом чувствительности увеличивается дальность приема сигналов, излученных боковыми лепестками запросчика, а после приема запросов от боковых лепестков ответчик запирается на 10...35 мкс. Кроме того, после ответа ответчик запирается на 125 мкс.

Промежуточная частота $f_{пч}$ поступает в УПЧ от смесителя $См$ УПЧ имеет логарифмическую характеристику усиления, которая обеспечивает его защиту от перегрузки сигналами запросов при небольших расстояниях ВС от ВРЛС. Логарифмическая схема, при которой выходной сигнал $u_{вых}$ по интенсивности пропорционален $\log u_{вх}$, обеспечивает прием сигналов, имеющих динамический диапазон 50 дБ и более. Коды запроса обоих режимов после прохождения детектора $Д$ и видеоусилителя $ВУ$ идут в шифратор УВД на трехимпульсное устройство подавления, состоящее из устройств амплитудного сравнения $УАС$ и запрета $УЗ$. Они защищают ответчик от запросных кодов, излученных боковыми лепестками ДН ВРЛС.

Коды, излученные основным лепестком, проходят через устройство подавления и идут на формирователь импульсов $ФВИ$. Для защиты передатчика ответчика от перегрузки в его приемной части имеется ограничитель загрузки $ОгрЗ$, который вырабатывает бланки запрета и подает их на $УЗ$ в двух случаях: при приеме запросов с частотой 1500...2000 Гц и при поступлении бланков от передатчиков других РТС на борту ВС. Бланк запрета увеличивает время записывания входа шифратора, что ограничивает число формируемых ответных кодов. Описанные схемы защиты обеспечивают работу ответчика как в режиме «УВД», так и в режиме «RBS».

В ВРЛС режим работы устанавливается переключателем режимов, а в ответчике на его пульте управления. При установке режима к выходу формирователя сигналов запроса переключателями «УВД» и «RBS» подсоединяются дешифратор запросных кодов «УВД» и «RBS», а к подмодулятору передатчика подключаются выходы формирователя импульсов ответных кодов.

От дешифратора запросных кодов сигналы идут на формирователи ответных кодов $ФОК$, в которых кодируются сигналы координатных кодов и производится деление частоты импульсов запуска в 8... 12 раз (режим «УВД»), после чего сигналы идут на шифратор бортового номера или текущей информации, расположенный в формирователе. Здесь же кодируется сигнал опознавания по принятой команде «Знак», а также сигналы «Авария» и опорного давления p_a . От формирователя коды идут на запуск передатчика.

Код БН снимается последовательно подекадно с регистра сдвига формирователя, на который он поступает в виде параллельного кода с платы набора бортового номера $Пл. БН$. Кодирование информации о высоте полета производится с помощью электромеханического преобразователя ЭМП «вал—код». Датчиками высоты являются либо барометрический высотомер $БВ$, либо система воздушных сигналов $СВС$. С этих устройств напряжение, пропорциональное высоте, поступает в преобразователь, где преобразуется в двоично-десятичный код. Для этого в ЭМП вал преобразователя поворачивается на угол, пропорциональный высоте полета после приложения напряжения от датчиков к электродвигателю. На валу находятся кодирующие диски с вырезами, несущими информацию о последовательности ну-

лей и единиц. Напряжения, им соответствующие, снимаются с помощью магнитных головок, находящихся над вырезом или выступом диска. С головок информация о 0 и 1 поступает на регистр в виде параллельного 13- или 14-разрядного двоично-десятичного кода в зависимости от преобразуемой высоты полета. Последовательный код высоты снимается опросчиком преобразователя $ОПВ$ с регистра на формирователь кодов, а затем он следует на передатчик. Запись на регистр кода информации о запасе топлива производится с датчика топливомера $Твм$.

При работе ответчика в режиме «RBS» запросные коды с общего формирователя поступают в блок шифратора RBS на Дшр кодов A и B или Дшр кода C . Установка вида декодируемого запросного кода A или B производится переключателем на плате пульта управления шифратором (рис. 10.22). Декодирование кода C производится всегда при любом положении переключателя, т. е. при любом коде запроса. Код опознавания ВС набирается на пульте цифронабирателями (рис. 10.23) и посылается на регистр сдвига коммутатора бортового номера $КБН$ (см. рис. 10.21), откуда код номера в виде двоичного параллельного кода поступает на регистр сдвига, с которого последовательным кодом поступает в формирователь импульсов ответного кода $ФОК$.

Ответный код высоты полета снимается с преобразователя высоты в виде двоичного кода Гиллхемма и записывается в регистр сдвига формирователя. Совместно с информационными кодами в регистр сдвига записываются также кадровые (координатные) импульсы. Конструктивно приемник и передатчик объединены. В конструкции использованы микромодули и унифицированные элементы. В приемнике и шифраторах широко используются полупроводниковые при-

емники и шифраторах широко используются полупроводниковые при-

емники и шифраторах широко используются полупроводниковые при-

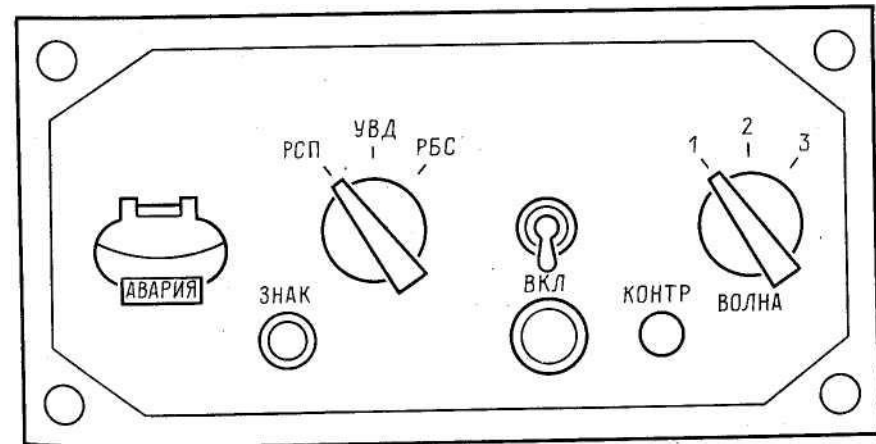


Рис. 10.22. Пульт управления шифратором ответчика

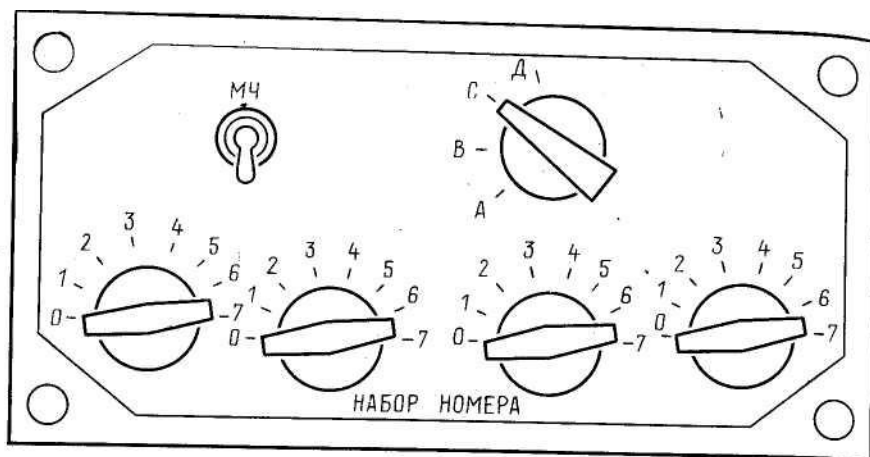


Рис. 10.23. Пульт цифронабирателя

боры. Шифратор выполнен в виде отдельного блока, имеющего принудительное охлаждение. На передней панели его расположена плата набора номера (см. рис. 10.8) для режима «УВД». На плате имеется 20 резьбовых отверстий в виде матрицы из пяти строк и четырех столбцов. Четыре столбца соответствуют четырем разрядам двоичного числа. Для каждого разряда установлен вес: 1, 2, 4 и 8. Строки соответствуют декадам пятизначного десятичного числа. Плата представляет собой диодную матрицу. Под отверстиями строк расположены шины, которые винтами соединяются с четырьмя контактами и включают диоды в цепь для формирования импульсов параллельного кода БН. Винты надо ввинчивать в те отверстия, сумма весов которых давала бы нужную десятичную цифру.

В настоящее время эксплуатируются новые ответчики СО-72М и СО-77. Первый из них предназначен для замены СО-64М и работает как в ОД, так и в МД, а второй только в МД, т. е. в режиме «RBS». Ответчик СО-72М работает в режимах «УВД», «УВД-М», а также в режимах «А» и «АС», устанавливаемых на пульте управления ответчиком. Пульт управления шифратором отсутствует. При работе в режиме «УВД» прием идет на частоте 837,5 МГц, а передача — на частоте 740 МГц. Остаток топлива передается 15 градациями. При установке переключателем режима «А» на запросный код А выдается ответ о коде номера, а на запрос кодом С — кадровые импульсы. При установке режима «АС» в ответ на запросный код А выдается код номера, а на запрос с кодом С — информация о высоте полета.

Кроме известной ранее полетной информации, с ответчика СО-77 (при наличии на ВС ЦВМ) после получения запроса ЗКЗ (кодированный интервал 23 мкс) может быть передан вектор путевой скорости в виде: путевого угла в радианах, в пределах $\pm\pi$, с градацией $\pi/250$

и путевой скорости в километрах в час с градацией 2,9632 км/ч. Вектор путевой скорости передается вместо остатка топлива. Информация об остатке топлива поступает от топливомера в виде параллельного двоичного кода. Информация о высоте поступает в аналоговом виде от барометрического высотомера и кодируется аналого-цифровым преобразователем. Высота может приниматься также от цифрового высотомера, а вектор путевой скорости — от бортовой ЦВМ. Информация для определения высоты может поступать также от системы измерения воздушной скорости типа УВИД-30-15 или ВМК-72. Имеется также возможность передавать только координатные посылки по запросу ЗКЧ (кодированный интервал 19,0 мкс).

Для обработки сигналов используются цифровые устройства. Схемы ответчиков — транзисторные. Широко применены интегральные микросхемы и микросборка. Преобразователь высоты электронный, схема перестройки несущих частот передатчика также электронная. Значительно уменьшена вносимая погрешность в определении дальности ВРЛС-ВС. Вместо ± 300 м она стала ± 75 м. Кроме того, существенно уменьшена масса конструкции. Так, у ответчика СО-72М она стала на 11 кг меньше, чем у СОМ-64 (30 кг).

10.9. Недостатки систем вторичной радиолокации

Системы ВРЛ имеют ряд серьезных недостатков, которые ограничивают развитие АС УВД. Основные из них следующие:

- невысокие точностные характеристики определения координат ВС;

- значительная (до 100 км) зона влияния боковых лепестков, обуславливающая большой уровень ложных сигналов и снижение вероятности получения информации при увеличении ИВД и числа запросчиков из-за наложения ответных кодов;

- влияние отражений от местных предметов на принимаемые сигналы;

- недостаточный объем информации, содержащейся в ответах; ограниченная разрешающая способность по информационному обмену;

- невысокая пропускная способность.

Последние два недостатка вызваны значительной перегрузкой приемных и обрабатывающих каналов запросчиков сигналами, так как «Запрос» является общим для всех ВС и ответные сигналы имеют относительно большую длительность, особенно в режиме УВД. При этом образуются весьма интенсивные внутрисистемные помехи, вызванные наложениями кодов, которые вызывают искажение информации из-за приема единиц на тех позициях, на которых двоичное число содержит нули или приводит к подавлению переданных в ответном сигнале единиц или нулей импульсами наложенных кодов. Условиями наложения ответных кодов являются нахождение не-

скольких ВС с ответчиками в пределах ДНА запросчика и расположение ВС на расстояниях друг от друга, соответствующих длительностям антенных посылок. Возможно также наложение запросных сигналов на входах приемников ответчиков в случае облучения пространства наблюдения несколькими запросчиками при высокой ИВД. Все это приводит к снижению вероятностных характеристик получения ответной информации: 0,8...0,9 вместо 0,95...0,99 в случае нахождения ВС на близких расстояниях друг от друга (5...30 км). Наличие боковых лепестков у ДН антенны ВРЛС, по которым излучаются значительные мощности сигналов запроса, и неидеальная защита ответчика от приема этих сигналов, а также недостаточная защита от приема боковыми лепестками ДН антенны запросчика ответных кодов приводят к еще большему ухудшению достоверности приема ответной информации.

10.10. Перспективы развития систем вторичной радиолокации

В ИКАО в конце 70-х и начале 80-х гг. рассматривались различные концепции развития УВД. Одной из наиболее важных из выбранных рекомендаций является предложение сделать систему ВРЛС основой информационной системы УВД. Решение этой задачи стоит и перед гражданской авиацией нашей страны.

С ростом интенсивности воздушного движения отмеченные ранее недостатки значительно уменьшают эффективность использования системы ВРЛ. Некоторое их устранение достигается введением дублирования координатной информации с помощью ПРЛС, более эффективные меры — модернизация СВРЛ. Так, на базе ВРЛ «Корень-АС» (для РЛК типа «Скала») создан встраиваемый вторичный канал «Малахит», в котором улучшена система подавления боковых лепестков, усовершенствованы схемы защиты от отраженных от земли сигналов и значительно увеличена техническая надежность. Предполагается увеличить объем ответной информации в режиме «УВД» введением запросных кодов ЗК3 и ЗК4 и соответствующих им ответных, а также увеличить вероятность их приема путем совершенствования устройств обработки.

В 1990 г. закончены испытания ВРЛС «Лист», в которой значительно улучшены характеристики за счет использования новых технических решений и технологий конструирования устройств, входящих в РЛС.

Основные технические характеристики ВРЛС «Лист»

Угол места, градус	0,5...0,45
СКП по дальности, м	50
СКП по азимуту (с АПОИ С 2 системы «Спектр»)	15
Разрешающая способность:	
по дальности, м	150
по азимуту	ширина ДН

Подавление отраженных от земли сигналов, дБ ..	70
Наработка на отказ, ч	400
Элементная база ВРЛС.....	транзисторы, интегральные схемы, микросборки

ВРЛС обеспечивает моноимпульсный прием сигналов, т. е. обнаружение одиночных сигналов, измерение отклонения источника сигналов от равносигнального направления и измерение амплитуды принятых сигналов. За счет этого повышается вероятность обнаружения сигналов до 0,95. Высокая точность измерения азимута обеспечивается выдачей малых азимутальных импульсов, идущих с азимутальным дискретом 5,3' (12-разрядный код). После устройства умножения дискрет уменьшается до 1,2' (14-разрядный код).

ВРЛС «Лист» предназначена для встраивания в РЛК «Скала-М», «Скала-МПА», «Скала-МПП» и «Иртыш-СК» вместо вторичных каналов с неселективным запросом типа «Корень» и «Малахит». При этом наличие АПОИ С2 обязательно, так как она не только декодирует и преобразует сигналы, но и обеспечивает их моноимпульсную обработку. Без этого АПОИ преимущества этого вида обработки исчезают.

РЛС «Лист» создавалась таким образом, чтобы она могла быть использована путем дооборудования при переходе СВРЛ систем на работу в дискретно адресном режиме, о котором речь будет идти далее. Для этого создано унифицированное приемное устройство с выходом на процессор адресной работы. В передатчике и антенно-фидерном устройстве обеспечивается возможность излучения специального импульса для подавления сигналов боковых лепестков по запросу. Создано антенное устройство нового типа — плоская решетка, которая устанавливается вместо антенн старого типа (линейных рупорных решеток). Плоская решетка имеет раскрыв антенны 6м с 25 столбцами излучателей. Масса антенного устройства (АУ) 2,5...3 т, т. е. почти в 5 раз тяжелее АУ ВРЛС «Корень-АС».

Радикальное устранение существенных недостатков СВРЛ будет осуществлено при внедрении создаваемой за рубежом и в нашей стране дискретно-адресной ВРЛС (ДАС). Аналогичная зарубежная система обозначается DABS (Discrete Address Beacon System). Основной принцип работы ДАС заключается в использовании индивидуальной адресации запроса и ответа, для чего всем ВС (ответчикам) присваиваются номера-адреса, а в сигналы запросов и ответов включаются адреса ответчиков ВС. При этом значительно уменьшается вероятность наложения кодов, так как поток ответных сигналов уменьшается в 10...20 раз. Следовательно, увеличивается пропускная способность ответного канала ВРЛС. Это позволяет увеличить объем передаваемой по ним информации и использовать его для речевого обмена между диспетчером и экипажем ВС. Совместимость ДАС и СВРЛ обеспечивается выбором частот. Для передачи запросов и ответов и созданием соответствующих кодов

запроса ответчиков ДАС. Так, запрос ответчиков обеих систем должен происходить на частоте 1030 МГц, а ответ на частотах: 740 МГц для ответчиков, работающих в режиме «УВД», и 1090 МГц для ответчиков, работающих в режимах «RBS» и «ДАС». Этим обеспечивается работа ответчиков РЛС ДАС на запросы РЛС в режимах «УВД» и «RBS», а также работа ответчиков СВРЛ на запросы РЛС ДАС.

В принципе число запросов на одно ВС при адресной работе может быть уменьшено до одного. Для осуществления запросов ДН антенны запросчика должна быть ориентирована на ВС. С этой целью осуществляется сопровождение ответчиков (адреса и информационного сигнала), а также экстраполяция азимутов и дальностей ВС к моменту проведения очередного сеанса «запрос—ответ». ДН запросчика ДАС ориентируется по азимуту путем электрического сканирования.

В ДАС, кроме запросной и расширенной полетной информации, с борта ВС будут передаваться следующие сообщения: навигационная информация от БПНК ВС, информация о метеобстановке в районе полета, решения экипажа по использованию полетной информации, а с земли будут передаваться: указания диспетчера УВД, дублирующие их передачу по каналу голосовой связи (эшелон, курс, частота радиосвязи, минимальная безопасная высота полета), инструктивная информация о воздушной обстановке. Кроме того, по этим же каналам обеспечивается автоматическая работа в режиме системы предупреждения столкновений с ВС и с землей. Передача всей информации осуществляется при использовании новых типов кодов, в которых применяется время-импульсная и фазовая модуляция колебаний, а также двоичное цифровое кодирование, что позволило заложить в посылки большой объем информации. Предусмотрено буквенно-цифровое отображение информации в кабине пилота о возможности увеличения ее объема в будущем.

Для адресного запроса каждого. ВС запросчик должен хранить данные об адресах и ориентировочном местоположении ВС, находящихся в зоне действия РЛС. Для получения этих сведений ДАС вначале работает в режиме «Вызов всем» с запросами координат всех ВС и адресов ВС с ответчиками ДАС. Ответы запоминаются в наземной РЛС, после чего возможна работа в режиме индивидуального запроса, который заключается в ориентировании ДНА на определенные ВС по заданной оператором программе с целью их автосопровождения. Наземная РЛС должна периодически переходить в режим «Вызов всем» для того, чтобы получить обновленную информацию о несопровожаемых ВС и новую от ВС, вошедших в зону наблюдения запросчика.

Возможность одновременной работы систем ДАС и СВРЛ обеспечивается чередованием адресного и неадресного режимов. В системе ДАС время обслуживания тех и других систем одинаково. Длительность периода адресной работы выбирается такой, чтобы обеспечить

обработку 10 ответчиков в луче ДН. В системе DABS (США) это время делится на 20 и 80 %. По-видимому это объясняется тем, что планируется достаточно быстрое внедрение DABS, а также очень высокой ИВД в ряде районов уже в настоящее время.

Основные технические характеристики ДАС

Зона действия:	
трассовых АдРЛС, км.....	400
аэродромных АдРЛС, км.....	160
Мощность ответчика, Вт.....	500
Размеры ДН:	
по максимальному углу места, градус	50
по минимальному " " , градус	0,3
по ширине (в зависимости от угла места), град	2,3...3,5
Средняя квадратическая погрешность: по	
дальности:	
в режимах «УВД» и «RBS», м	200
в адресном режиме, м.....	50
по азимуту в обоих режимах, угл. мин .	8
Вероятность получения информации за время одного обзора:	
в режиме «УВД» и «RBS»	$P_{обн} \geq 0,9$
в адресном режиме при первоначальном обнаружении . .	$P_{обн} \geq 0,9$
в адресном режиме при сопровождении	$P_{обн} \geq 0,98$
Вероятность ложных тревог	10^6
Время обновления:	
в трассовых АдРЛС, с	10
в аэродромных АдРЛС, с.....	5
Число целей в зоне обзора для трассовой/аэродромной ДАС	
(трассовые АдРЛС/аэродромные АдРЛС)	300/100
Число целей в секторе 90°	50
" " в луче ДН.....	10
Наработка на отказ, ч	4000
Технический ресурс, ч	80 000

Структура запросных и ответных кодов в ДАС. Запросчики ДАС имеют следующие режимы работы: общий вызов всех ВС, имеющих ответчики ДАС и СВРЛ; общий вызов ВС, имеющих ответчики СВРЛ; индивидуальный (адресный) вызов ВС, имеющих ответчики ДАС. Импульсами P_1 и P_3 с длительностями 0,8 мкс у ответчиков СВРЛ запрашивается информация о БН и ТИ в режиме «УВД» или о коде номера (кодом A) и высоте (кодом C) в режиме (рис. 10.24, а). Значение запросных кодов зависит от интервала кодирования t_k . Импульс подавления P_2 излучается всенаправленной дополнительной антенной запросчика. Его назначение то же, что и в системе ВРЛ. С его помощью запраются все ответчики от приема запросов, излученных боковыми и задними лепестками. Импульс P_4 длительностью $\tau_n = 1,6$ мкс обеспечивает прием запроса ответчиками ДАС. При длительности $\tau_n = 0,8$ мкс P_4 ответчиками ДАС не принимается.

Импульсы запросного кода имеют внутримпульсную фазовую модуляцию (что обеспечивает их прием ответчиками ДАС), которая не влияет на прием этих импульсов ответчиками СВРЛ.

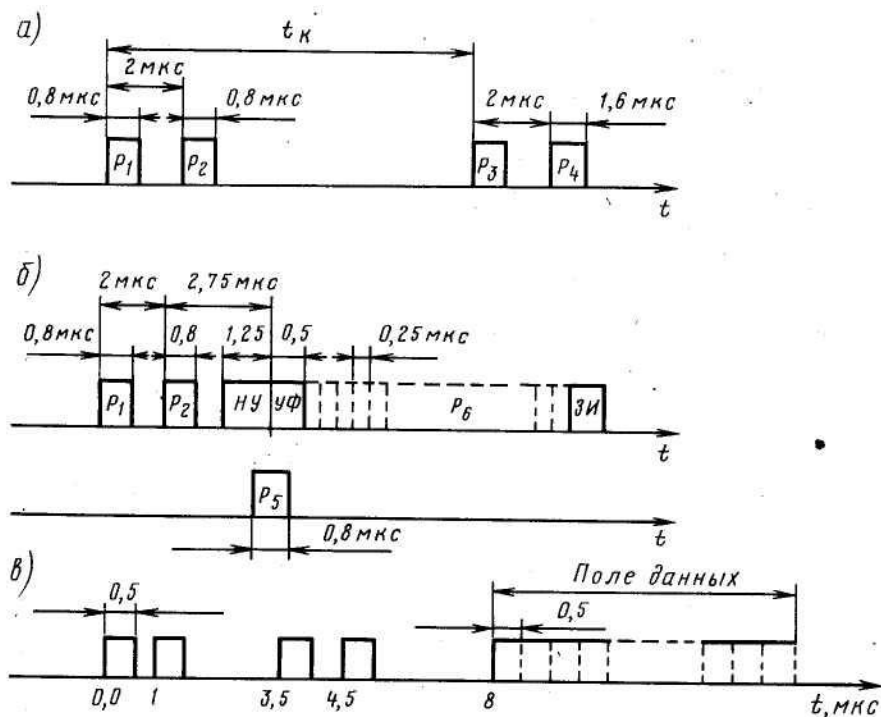


Рис. 10.24. Коды ДАС

Запрос адресного (индивидуального) вызова (рис. 10.24, б) принимается только при совпадении значений адреса в запросном сигнале с адресом ВС, хранящимся в ответчике ДАС. Сравнение адресов производится при дешифрации пришедшего запроса.

В коде адресного запроса излучаются предварительные импульсы (преамбула) P_1 , P_2 , а также импульс P_6 . Импульсы P_1 , P_2 и P_6 излучаются основной антенной, а импульс P_5 — антенной подавления. Пара импульсов P_1 , P_2 , имеющих равные мощности, служит для записывания ответчиков СВРЛ на 30 мкс, чтобы они не срабатывали на запросы ДАС. Разряды кода P_6 содержат адрес ВС и вид запрашиваемой информации: данные опознавания ВС, высоты и вектора скорости и курса, метеосводок и других сообщений от бортовых датчиков. Можно также передать требование пилоту о подтверждении приема его сообщений.

Адрес формируется из элементарных импульсов с длительностью 0,25 мкс, вплотную примыкающих друг к другу и модулированных по фазе значениями 0 и 180°, которые соответствуют двоичным 0 и 1. Информационное поле, кроме адреса, содержит 56 или 112 элементарных импульсов (бит) длительностью 0,25 мкс, модулированных

по фазе. Скорость передачи данных внутри импульса P_6 составляет 4 Мбит/с. Начальная фаза колебаний внутри импульса изменяется в заданные моменты времени. Наличие изменения фазы по сравнению с фазой предыдущего импульса обозначает двоичную единицу, а отсутствие — двоичный нуль. Поле адресования состоит из 24 бит, которое позволяет иметь $16 \cdot 10^6$ адресов. В этом поле используется код с обнаружением ошибок. При обнаружении ошибки в запросном коде ответ не вырабатывается до повторного запроса.

Импульс P_6 имеет немодулированный по фазе начальный участок НУ длительностью 1,25 мкс. Затем идет участок фазирования УФ длительностью 0,5 мкс. Первым изменением фазы в импульсе P_6 является изменение в момент начала УФ, которое называется синхронизирующим изменением фазы, выполняющим роль опорной отметки времени для последующих фазовых операций в ответчике. В конце импульса P_6 имеется защитный интервал ЗИ длительностью 0,5 мкс, который защищает импульс P_6 от искажений при демодуляции.

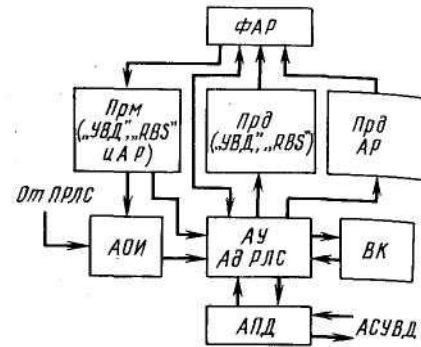
Для защиты процесса синхронизации в адресный код входит импульс P_5 , который излучается при общем вызове и имеет $\tau = 0,5$ мкс, мощность ту же, что и P_3 и передается дополнительной антенной. Импульс P_5 маскирует синхронизирующее изменение фазы, чем препятствует декодированию P_6 при запросах от боковых и задних лепестков запросчика.

Ответный код (рис. 10.24, в) начинается с четырехимпульсной преамбулы с длительностью импульсов 0,5 мкс, разделенных кодовыми интервалами. За преамбулой следует поле (блок) данных из последовательности в 56 или 112 одномикросекундных интервалов. Импульс, передаваемый в первой половине этих интервалов, представляет двоичную единицу, а импульс во второй половине — двоичный нуль, т. е. кодирование позиционное. Эти импульсы модулированы по фазе. Серия из 56 или 112 импульсов содержит два поля данных: первое информационное (передаваемые ответчиком сообщения), а второе — адрес ответчика. Код адреса содержит проверочный код. Если обнаружится ошибка, то запрос повторяется. Для передачи различных данных информационное поле разделяется на специальные поля и подполя. Так, вначале идет ретранслируемый запросный сигнал проверки правильности ответа. В сообщении может содержаться информация о типе полета, высоте, виде маневра, навигационных параметрах и др. Наибольший объем информационных посылок в режиме «многократный запрос — многократный ответ» 1280 бит.

При нахождении в пределах ДНА запросчика нескольких ВС, находящихся близко друг от друга, возможно наложение ответных кодов, что может ухудшить прохождение информации. Эти внутрисистемные помехи в основном вызваны наличием в общей системе ВРЛ наряду с ДАС также и ВРЛС и ответчиков старых типов. Борьба с этим явлением ведется переходом на стохастический режим

Рис. 10.25. Структурная схема адресной РЛС:

Прм «УВД», «RBS» и «АР» — приемники ответных сигналов в соответствующих режимах; Прд «УВД», «RBS» — передатчики запросных сигналов в режимах «УВД», «RBS»; Прд «АР» — передатчик запросных сигналов в адресном режиме; АОИ — аппаратура обработки информации; АУ Ад РЛС — аппаратура управления Ад РЛС; ВК — вычислительный комплекс; АПД — аппаратура передачи данных



запроса, а также эффективной обработкой сигналов, введением системы запретов приема и ответа в определенных ситуациях и обменом информацией между ответчиком и наземной РЛС.

Дискретно-адресная система ВРЛ. Система ДАС состоит из наземной адресной РЛС (АдРЛС), бортовой аппаратуры ВС, аппаратуры передачи данных (АПД) и АС УВД (рис. 10.25). Системы ДАС делятся на трассовые и аэродромные. Последние имеют меньшую дальность. Оба варианта ДАС унифицированы и отличаются лишь уменьшением мощности излучения АдРЛС за счет введения затухания в волноводный тракт. Работа АдРЛС автоматизирована. Для этого в ее состав введено несколько ЭВМ: две «Наири» и четыре микроЭВМ типа «Электроника НЦ-80». Первые комплектуют вычислительный комплекс (ВК) и обеспечивают управление режимами запроса, кодированием запросов и декодированием ответов, перезапросом адресных ответов, измерением координат ВС с адресными ответчиками, компоновкой передаваемых на борт сообщений, объединением первичной и вторичной информации по адресным ВС, а также формированием одной или нескольких ДН, т. е. группированием приемопередающих модулей в фазированной решетке.

МикроЭВМ «Электроника НЦ-80» применяется в аппаратуре обработки информации АОИ, которая используется для первичной обработки пассивной и активной РЛИ, а также для межобзорной — вторичной ее обработки, для объединения информации от нескольких РЛС, т. е. третичной обработки, а также подготовки сообщения. Предпоследние две задачи решаются при автономном использовании АдРЛС. Обычно же РЛС находятся в составе АСУВД, и тогда эти задачи решаются в ЭВМ системы.

Основные особенности АдРЛС — использование моноимпульсной радиолокации, а также фазированных антенных линеек и решеток для создания электрически управляемой по направлению ДН. Моноимпульсная радиолокация обеспечивает обнаружение целей и определение их координат по одному импульсу. Это устраняет влияние

флюктуации интенсивности принимаемых сигналов на точность измерения азимута и улучшает разрешающую способность по азимуту, так как нет необходимости в обработке пачки сигналов. Для проведения измерений создаются две частично перекрывающиеся ДН. Одновременно принимаемые по ним сигналы обрабатываются в суммарном и разностном каналах. В канале, в котором сигналы складываются, т. е. где имеется большая мощность сигнала, определяется дальность. В канале с вычитанием одновременно принятые сигналы сравниваются по амплитуде. Их разность пропорциональна углу отклонения а направления на цель от плоскости, расположенной посередине между ДН, т. е. от равносигнального направления (РСН), где интенсивности сигналов от двух ДН равны. На РСН располагается ось антенны. Положение ее относительно северного направления α_c известно, поэтому будет известен и азимут цели $\alpha_{ц} = \alpha_c \pm \alpha$.

Перспективой в развитии моноимпульсного метода является использование фазовой, а не амплитудной модуляции сигналов. Фаза ответного сигнала по раскрытию антенны различна и зависит от направления «ВС - антенна». Фазовый процессор сопоставляет сигналы, принимаемые по разностному и суммарному каналу, чтобы восстановить фазу. Зависимость фазы от угла между направлением на цель и осью ДН хранится в программируемой постоянной памяти и в сочетании с данными о положении антенны относительно направления «Север» позволяет определить азимут ВС с точностью до $0,03^\circ$ ($2'$).

Фазированная антенная решетка (ФАР) или линия (ФАЛ) представляют собой конструкции, состоящие из отдельных передающих и принимающих элементов, которые называются модулями (ППМ). Если модули расположены в одну линию (ряд), они называются ФАЛ, при расположении в несколько рядов — ФАР.

Антенна может быть активной, в этом случае она имеет приемопередающие модули (ППМ), или пассивной, при этом модули будут только принимающие (ПМ), а излучение энергии производится одним мощным передатчиком.

В активной ФАР или ФАЛ все излучающие элементы запитываются отдельно. Известно, что фронт волны — поверхность равных фаз, расположен перпендикулярно оси излучателя и антенны, поэтому, управляя фазой излучаемых колебаний, возможно изменять положение фронта волны, т. е. управлять направлением излучения и диаграммой направленности антенны. Возможно также создать несколько ДН антенны путем организации групп излучателей. При электрическом управлении этими ДН сканирование лучей безынерционно и независимо, что позволяет организовать одновременный поиск и сопровождение нескольких ВС.

В ДАС могут быть использованы два типа ФАР:

с механическим управлением лучом ДН, которое представляет собой комбинацию плоской фазированной антенной решетки ПФАР (на частотах 1030...1090 МГц для запроса и ответа) и линейной фа-

зированной решетки ФАЛ на частоте 740 МГц (для приема ответов в режиме «УВД»);

с электрическим управлением лучом ДН, формируемым цилиндрической фазированной решеткой (ЦФАР) на частотах 1030.. ...1090 МГц и кольцевой фазированной решеткой (КФАР) в диапазоне 74 МГц.

Фазированная антенная решетка в горизонтальной плоскости одновременно формирует три типа ДН: суммарную, разностную и подавления. Крутизна ДН антенны на малых углах места обеспечивает ослабление коэффициента усиления 1,5 дБ/градус, что обеспечивает значительное уменьшение отражений от земли. ЦФАР содержит 224 ППМ на частотах 1030... 1090 МГц и 168 ПМ на частоте 740 МГц. В формировании ДН участвуют 56 или 42 микро модуля в зависимости от диапазона. ППМ обеспечивает запрос в режиме «УВД» и «RBS» и прием в режиме «RBS», а ПМ только прием в режиме «УВД». Для повышения темпа обзора ФАР формирует две синхронно-вращающиеся ДН, развернутые на 180°. В ПФАР для этого применяют две плоские решетки.

Создание ФАР с электрическим управлением ДН вызывает определенные технические трудности, поэтому системы ДАС первое время могут иметь ФАР с механическим вращением антенного устройства. При использовании антенны с механическим лучом пропускная способность снижается в 3 раза, увеличивается в 2 раза число запросов на обслуживаемое ВС, увеличивается время на первоначальное обнаружение. Работа с двумя противоположно направленными лучами затруднена.

Передающих устройств два: для общего вызова и адресного запроса. Передатчики выполнены по схеме задающий генератор — усилитель мощности. Фидерный тракт включает: трехканальные вращающиеся сочленения, ВЧ-переключатель работы основного и резервного комплекта, делители и ответвители, обеспечивающие получение необходимых уровней сигналов подавления боковых лепестков. Приемных устройств три — отечественного, международного диапазонов и адресное. Они имеют выходы суммарного и разностного сигналов и сигнала индикации наличия помех. Сигналы усиливаются в одном УПЧ, что обеспечивает отсутствие различий в фазах сигналов разных каналов, которое будет при раздельном усилении сигналов. Коэффициент шума приемника 6 дБ. Приемник вносит погрешность в измерение азимута не более 2...3°.

Аппаратура первичной обработки имеет те же функции, что и в СРЛВ, а именно обработку и объединение информации, поступающей от первичного и вторичного каналов при работе вторичного канала в режимах «УВД» и «RBS».

Адресные ответчики имеют три вида комплектации: для ВС, не имеющих БЦВМ и обеспечивающих минимальный объем информации; для ВС с БЦВМ и возможностью обмена расширенным объемом информации; для замены СО-72.

11.1. Общие сведения

По данным ИКАО, причиной более половины летных происшествий и катастроф являются ограниченные метеоусловия, среди которых наибольшую роль играет грозовая обстановка. Одно из основных средств получения информации о метеообстановке — метеорологическая РЛС (МРЛС).

Принцип использования РЛС для метеорологических нужд основан на свойстве отражения гидрометеорами зондирующих посылок. Возможность радиолокационного наблюдения за метеообстановкой появилась после освоения сантиметрового и миллиметрового диапазонов радиоволн. В этих диапазонах элементы метеообразований (облаков), имеют большую отражающую поверхность, чем в длинноволновых диапазонах и, кроме того, чем меньше длина волны, тем больше возможность создать антенны с узконаправленными ДН антенн, обеспечивающих высокий энергетический потенциал МРЛС за счет увеличения их коэффициента усиления. Это позволяет обнаруживать облачные образования с высокой вероятностью (0,8...0,9) на значительных (250...300 км) удалениях, причем на больших дальностях лучше обнаруживаются облака, содержащие крупные метеоэлементы. Указанные особенности распространения энергии объясняются тем, что эффективная отражающая поверхность каждого из элементов метеообразований зависит не только от диаметра элементарного гидрометеора, но и обратно пропорциональна четвертой степени длины волны, т. е. $\sigma_{эл} = f(1/\lambda)^4$.

С помощью МРЛС решаются следующие задачи: обнаружение атмосферных образований; определение координат границ этих образований; оценка вида обнаруженных гидрометеоров; измерение высоты и толщины облачного слоя; распределение облачности по высотам; определение количественных характеристик атмосферных образований и интенсивности осадков, а также градовых очагов в облаках; определение направления и скорости перемещения облачности; прогноз тенденции развития атмосферных образований.

Результаты метеонаблюдений являются основными материалами для оценки состояния воздушного пространства, составления прогнозов, предупреждений об опасных явлениях и для разработки климатических характеристик районов.

Уравнение дальности действия МРЛС. Принципы работы МРЛС при наблюдении за метеообразованиями практически не отличаются от работы любого типа РЛС, поэтому для определения дальности действия МРЛС вполне пригодно основное уравнение радиолокации (4.7). Для его использования необходимо вначале найти среднюю эффективную поверхность отражения облаков $\sigma_{обл}$, точнее - той части облака, которая облучается ДН антенны МРЛС. Эта часть ДН антенны, в которой содержится излучаемая энергия, называется импульсным объемом V . В МРЛС применяются иглообразные, очень узкие ДНА с углом раскрыва от $13'$ до $1,5^\circ$, которые могут обеспечить достаточно точное определение границ облачности. Поэтому в качестве импульсного объема принимается цилиндр, об-

разужающая которого зависит от длительности импульса τ и равна $1/2c\tau$, а основание S — от угла раскрыва диаграммы θ , т. е. $S = \frac{1}{4}\pi R^2\theta$, где R — расстояние до импульсного объема. Таким образом, $V = \frac{1}{8}\pi R^2\theta c\tau$.

Для различных видов метеообразований известна их плотность n_0 (она приводится в справочниках), рассчитаны и известны также значения эффективной поверхности рассеивания элементарных частиц метеообразований $\sigma_{эл}$, поэтому можно рассчитывать $\sigma_{обл} = N\sigma_{эл}$, где $N = n_0V$. После подстановки получим $\sigma_{обл} = \frac{\pi}{8}n_0\sigma_{эл}R^2\theta^2c\tau$.

Из основного уравнения радиолокации известно, что мощность отраженного сигнала на входе приемника

$$P_{пр} = P_r G^2 \sigma_{обл} \lambda^2 / (4\pi^3 R^4).$$

После преобразований получим, что сигнал от облаков создает мощность

$$P_{пр} = \frac{P_n G^2 \lambda^2 n_0 \sigma_{эл} \theta c \tau}{(51,8 R^2)}.$$

Максимальная дальность обнаружения атмосферных образований будет при равенстве мощности отраженного сигнала и реальной чувствительности приемника, т. е. при $P_{пр.обл} = P_{пр.мин}$:

$$R_{max} = \sqrt{P_n \lambda^2 G \theta c \tau n_0 \sigma_{эл} / 51,8 P_{пр.мин}}.$$

Если облако небольшое и оно заполняет лишь часть импульсного объема, то в подкоренное выражение следует ввести коэффициент заполнения ДН антенны атмосферными образованиями. Учет затухания энергии в атмосфере следует производить по методике, изложенной в разд. 5.6.

Основные параметры МРЛС. При выборе оптимальных для МРЛС длин волн рассматривалось влияние на результаты работы всех зависящих от λ факторов: величины средней ЭПР гидрометеоров,

возможного потенциала РЛС, требований по точности измерения координат контуров атмосферных образований, наличия разработанных и пригодных к применению генераторных ВЧ-приборов, влияния на результаты зондирования затухания радиоволн при решении МРЛС различных задач в разных условиях (например, горизонтальное и вертикальное зондирование, измерение дальности до ближней и дальней границ облачности, различная интенсивность осадков и плотность облаков и др.).

Проведенные исследования показали, что целесообразными к использованию для определения ближней границы гидрометеообразований при малой и средней интенсивности осадков являются волны длиной $\lambda = 2...3$ см, а при большой интенсивности лучшие результаты будут при $\lambda = 4...5$ см и более. Эти результаты показывают, что в МРЛС целесообразно применять несколько частотных диапазонов. С учетом практических возможностей и опыта эксплуатации для МРЛС используют в основном два диапазона. Так, МРЛ-1 работает в миллиметровом и сантиметровом диапазонах, МРЛ-2 в сантиметровом, МРЛ-5 в сантиметровом ($\lambda = 3$ см) и граничном между сантиметровым и дециметровым диапазонами (10 см). МРЛ-4 и МРЛ-6 одноканальные и работают в сантиметровом и дециметровом диапазонах радиоволн соответственно.

Возможно более узкая ДН необходима не только для получения больших значений R_{max} и точного определения границ облачности, но также и для того, чтобы коэффициент заполнения ДН антенн метеообразованиями был возможно более близким к единице, так как в этом случае более точно будет определена мощность отраженного сигнала. Этот параметр необходим для оценки некоторых характеристик атмосферных образований.

При малых углах места зондирования, когда определяются дальность до метеообразований и их протяженность, к МРЛС не предъявляется высоких требований по разрешающей способности и точности определения дальности. Обычно в этом режиме работы длительность импульса равна нескольким микросекундам (1...2 мкс). Однако при определении толщины облаков в режиме вертикального зондирования для получения необходимой точности могут применяться импульсы длительностью в несколько десятых долей микросекунды. Частота повторения зондирующих посылок должна выбираться максимально возможной, так как это обеспечивает лучшее обнаружение атмосферных образований за счет большего числа импульсов в пачке отраженных сигналов.

11-2. Структура и функционирование МРЛС

Основные принципы работы МРЛС не отличаются от работы обычных импульсных РЛС, однако задачи, решаемые МРЛС, существенно влияют на ее структуру (рис. 11.1). Для создания игольчатых ДН используется антенное устройство, состоящее из двух параболических

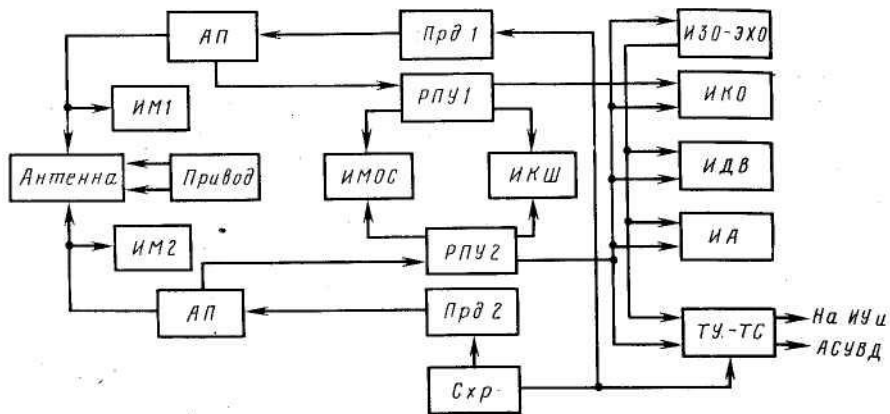


Рис. 11.1. Структурная схема метеорологической РЛС

зеркал-отражателей (рис. 11.2). При использовании одного зеркала разделение сигналов по частоте производится волноводами, имеющими разные размеры в поперечном сечении.

Антенна обеспечивает несколько режимов обзора пространства. Для этого она может вращаться вкруговую и качаться в вертикальной плоскости. Угол качания изменяется от небольших минусовых значений относительно горизонтали до углов, на $5... 15^\circ$ перекрывающих положение вертикали.

МРЛС имеют сложные законы обзора пространства, обеспечиваемые как при автоматическом режиме, так и при ручном управлении. Так, МРЛ-5 работает в следующих режимах:

кругового обзора с переменным периодом (от остановки до 6 об/мин или $36^\circ/\text{с}$);

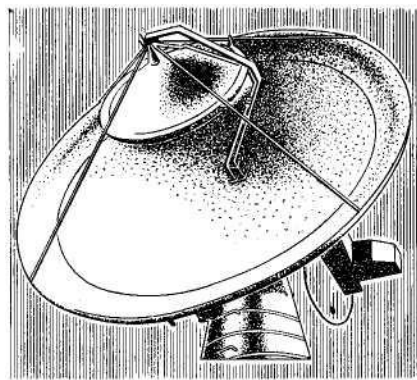


Рис. 11.2. Параболические антенны МРЛС

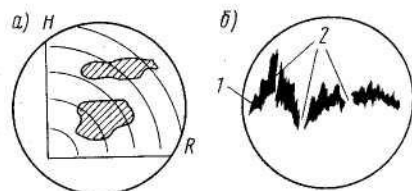


Рис. 11.3. Изображение сигналов от метеорообразований:
 а — на индикаторе «дальность — высота»;
 б — на амплитудном индикаторе; 1 — сигнал, отраженный от метеорообразований;
 2 — метки дальности

вертикального сканирования (от -1 до 95°) (МРЛ-2 до 105°); с переменным регулируемым периодом обзора от 24 с до 72 с;

программного (автоматический) кругового обзора со ступенчатым изменением угла места через $0,5$; 1 и $1,5^\circ$ (строчный обзор);

программного (автоматическое) вертикального сканирования со ступенчатым изменением азимута через $0,5$; $1,0$; $1,5^\circ$ (строчный обзор);

ручного управления круговым обзором в вертикальной плоскости с регулируемыми скоростями $0...36^\circ/\text{с}$ по азимуту и $0...75^\circ/\text{с}$ по углу места; секторного обзора по азимуту и углу места в пределах 45° .

Визуальная индикация метеообразований осуществляется на индикаторах трех типов: кругового обзора (ИКО), «дальность-высота» (ИДВ) и амплитудном (ИА).

На ИКО в одном из выбранных масштабов создается изображение метеообстановки вокруг РЛС при постоянном или переменном угле места антенны. С экрана ИКО могут быть визуально измерены дальность по круговым меткам и азимут по шкале, нанесенной на внешнем кольце ИКО.

В режиме строчного обзора на ИКО создается изображение, позволяющее судить о состоянии атмосферы при различных углах места, т. е. на разных эшелонах.

ИДВ дает отображение вертикального разреза при качании антенны по углу места при постоянном азимуте и имеет несколько масштабов. Изображение (рис. 11.3, а) строится в координатах: ось абсцисс — наклонная дальность и ось ординат — высота. РЛС располагается в начале координат. Дальность отображается метками в виде концентрических четверть-окружностей. Изображение на этом индикаторе позволяет определить распределение облаков по высоте, их относительную интенсивность, а также высоту их верхней и нижней границ.

На ИА (рис. 11.3, б) атмосферные образования вызывают вертикальное отклонение луча в ходе его развертывания по дальности, причем величины отклонений свидетельствуют об интенсивности атмосферных образований. ИА — двухлучевой, что позволяет либо одновременно наблюдать результаты наблюдения по двум каналам, либо получить на второй развертке изображение на интересующей нас дальности в укрупненном масштабе.

Так как яркость изображения метеообразования зависит от мощности сигнала, то по этому параметру изображения можно судить о характере и относительной интенсивности этого образования. Визуально это возможно по яркости изображения наблюдаемых образований или по амплитуде отметки сигнала на ИА. Более точно эта задача может быть решена при ручной обработке или автоматически по данным специальных номограмм, показывающих зависимость мощности сигнала при различной интенсивности осадков на различных расстояниях от их источников. Мощность отраженного сигнала снимается с измерителя мощности ИМОС (см. рис. 11.1), для чего

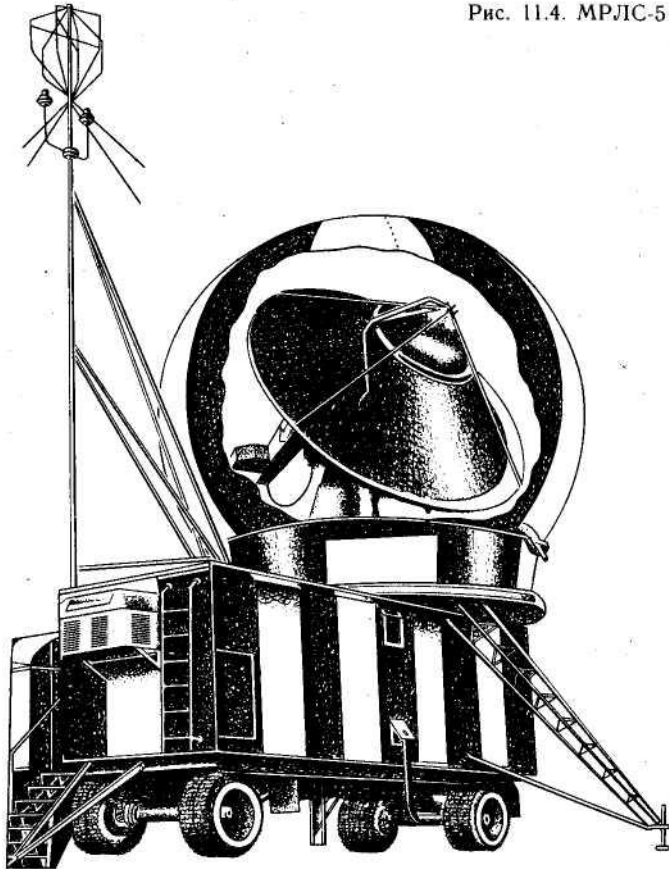


Рис. 11.4. МРЛС-5

2-й канал (10 см).....	в режиме грозозащиты 1,5
Импульсная мощность, кВт	250/800
Частота повторения, Гц.....	500/250
Длительность импульсов, мкс	1/2
Чувствительность приемного устройства, дБ	134/136
Погрешность отсчета координат:	
по углу места, градус.....	0,1
по высоте и дальности, км	1...0,2
Диапазон измерения уровня «Изо—Эхо», дБ	0...78 (через 6 дБ)
Ослабление боковых лепестков, дБ	23/25

Примечание. Через косую приведены данные для 1 и 2-го каналов соответственно.

Аппаратура размещена в кузове автоприцепа (рис. 11.4), разделенного на приемопередающий и индикаторный отсеки. В индикаторном отсеке расположен пульт метеоролога (рис. 11.5), который имеет плату управления, цифровое табло и панель управления.

На пульте располагаются два идентичных ИКО. Первый обеспечивает наблюдение при круговом обзоре. Второй индикатор позволяет проводить наблюдение при круговом обзоре, так и в режиме «горизонтальная дальность—высота». Фоторегистрация ведется с этого индикатора. Индикаторы обеспечивают воспроизведение видеосигналов обоих каналов или их отношений и имеют масштабы дальностей 25; 50; 100 и 300 км, масштабы высоты/дальности 6,25/12,5; 12,5/25; 25/50; 50/100 км. Режимы «ИКО» и «ИДВ» включаются оперативно.

Цифровое световое табло, размещенное на панели индикатора, позволяет фиксировать дату, время, номер наблюдаемого видеосигнала, уровень ослабления сигнала «Изо—Эхо», азимут и угол места

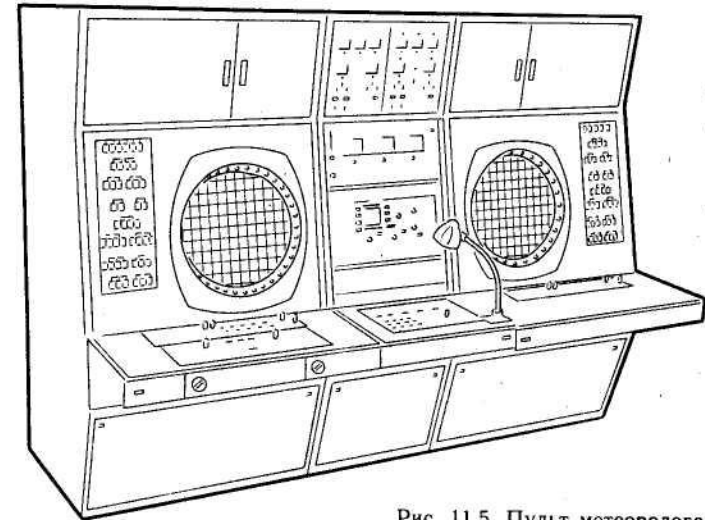


Рис. 11.5. Пульт метеоролога

производится стробирование измеряемого сигнала во времени. Мощность этого сигнала зависит от мощности зондирующих посылок и от коэффициента шума приемника, поэтому в процессе наблюдения эти параметры контролируются измерителями мощности *ИМ* (см. рис. 11.1) в обоих каналах и измерителем коэффициента шума *ИКШ*. По отношению мощностей сигналов, полученных в разных каналах, можно судить о размерах градовых частиц. Для этого в обоих каналах имеются устройства «Изо—Эхо». Эти устройства обработки формируют разностные сигналы обоих каналов МРЛС, которые воспроизводятся на ИКО для отображения области грозовой деятельности в виде светлого пятна на изображении атмосферных образований.

Основные технические характеристики МРЛ-5

Угол раскрыва ДН антенн, градус:
1-й канал (3 см).....в режиме штормового оповещения 0,5

антенны, горизонтальную и наклонную дальности и высоту цели выбранной на экране индикатора.

РЛС может работать с аппаратурой автоматической обработки метеоинформации. Полученная метеоинформация передается в метеослужбу аэропортов, вводится в АСУВД и отображается на разного типа ИУ диспетчеров различных диспетчерских пунктов и у руководителя полетов. Передача метеоинформации осуществляется аналоговыми сигналами по факсимильным каналам, цифровыми кодами по узкополосным линиям и открытыми словесными сообщениями по телефонным каналам.

Ручная обработка метеоинформации в метеослужбе производится на столе метеоролога на планшете, предназначенном для вычисления координат опасных метеообразований и других их параметров.

РЛС может работать с аппаратурой автоматической обработки информации. Так, например, имеется аппаратура АОМ-1 для МРЛ-5 и АО2-2 для МРЛ-1 и МРЛ-2, которые входят в комплекс «Метео-ячейка-2», обеспечивающий работу АСУВД «Спектр».

Глава 12

АППАРАТУРА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ОБСТАНОВКИ УВД

12.1. Виды средств отображения информации

Одним из основных технических средств систем УВД малой автоматизации является аппаратура отображения (АО). Ее назначение — воспроизведение информационной модели обстановки УВД, которая представляет собой совокупность модели воздушной обстановки (ВО) и модели условий УВД. Эти модели обеспечивают визуальное представление информации, необходимой для принятия решений диспетчером и диалога диспетчера с экипажами ВС, диспетчерами смежных секторов УВД и взаимодействующими службами. Объем и содержание моделей обстановки УВД зависят от вида датчиков информации, размеров контролируемого района, интенсивности УВД и технического совершенства АО.

В модели ВО информация представляется отметками целей (координатная информация) и знаковыми символами. Модель условий УВД представляет собой воспроизводимую графически в виде линий и символов информацию о трассах, воздушных коридорах прилета и вылета ВС, навигационных ориентирах, пунктах обязательных донесений, опасных зонах и т. д. В эту модель могут включаться также сведения о планах воздушного движения и справочная информация. Кроме того, на экранах индикаторов графически может отображаться азимутально-дальномерная сетка.

Кроме указанных моделей, на специальных индикаторах отображаются результаты контроля технического состояния радиотехнических средств наблюдения, устройств передачи, приема и обработки информации. Контрольные сведения отображаются мнемоническими знаками (фигуры различной формы и расцветки), а также цифрами и буквами.

Основной метод отображения информации для диспетчера — визуальный, так как он обеспечивает наиболее быстрое воспроизведение и восприятие большого объема информации. Средства визуального отображения, используемые при УВД, возможно подразделить на четыре вида: электронные знаковые табло, электроннолучевые трубки (ЭЛТ), оптические устройства проецирования изображений и электромеханические печатающие устройства.

Знаковые индикаторные табло. Они применяются для отображения коротких сообщений — слов, представленных набором цифр

и букв, например полетной информации, поступающей от ВРЛ. Для воспроизведения сообщений могут быть использованы газоразрядные электронные лампы, элементы на базе жидких кристаллов или люминесцентные блоки. В аппаратуре УВД применяются первые из них. Для изображения слов отдельные лампы объединяются в табло, имеющее для каждого сопровождаемого ВС две линейки по 7...8 ламп в каждой (рис. 12.1).

Газоразрядный индикатор (рис. 12.2), например, — лампа ИН-12А представляет собой стеклянный баллон, заполненный неоном или смесью неона и аргона. Анод имеет вид сетки. Над ним расположены 10 катодов, изогнутых в виде цифр 0...9. При подаче отрицательного напряжения на один из катодов между ним и анодом возникает газовый разряд и начинает светиться ионизированная область, непосредственно примыкающая к катоду. Подавая напряжения на нужные катоды, можно высвечивать необходимые цифры.

Оптические устройства проецирования и индикации. Они работают по принципу воспроизведения на экране изображения, нанесенного на диапозитив, методом его проецирования оптическим устройством. В АСУВД «Старт» такая система встроена в заднюю часть ЭЛТ индикатора и проецирует на ее экран и изнутри карту района ответственности, т. е. воспроизводит статическую модель условий УВД. В аппаратуре отображения крупных АС УВД этот принцип применяется для динамического изображения модели обстановки УВД на большом экране для коллективного пользования. Так, в АСУВД «Стрела» для этого имеется специальное устройство оперативного создания диапозитива с информацией, объем и содержание которой определяет оператор. Размеры экрана 2X2 м. В АСУВД «Спектр» и «Стрела» принцип проецирования использован для воспроизведения по требованию операторов справочной информации в специальных устройствах — светотабло «Поиск-20». На его экране отображаются таблицы, схемы, справки и списки, порядок и содержание действий диспетчеров в некоторых ситуациях и др.

Электромеханические печатающие (стрипепечатающие) устройства. Эти приборы печатают на лентах или карточках, называемых стрипами (stripe, англ. — полоса), информацию о процессе УВД, получаемую от ЭВМ системы. Каждый стрип соответствует определенному пункту обязательного донесения и содержит часть расчет-

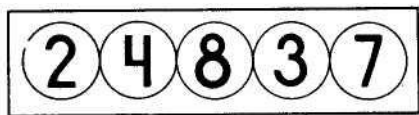
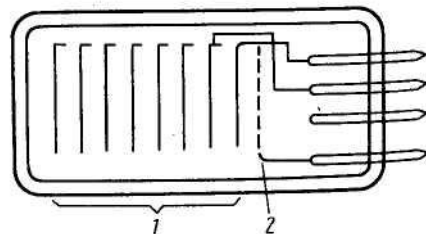


Рис. 12.1. Линейка знаковоспроизводящего электронного табло

Рис. 12.2. Газоразрядный индикатор:
1 — катоды; 2 — анод



ного плана полетов. Стрипы печатаются автоматически или по вызову с пульта УВД. В них может вноситься информация и сам диспетчер. Стрипы документируют процесс УВД и используются при обучении и разборе качества работы диспетчеров и расследовании происшествий, а также могут обеспечить процедурное УВД при отсутствии РЛИ.

В АСУВД широко используются малогабаритные печатающие устройства типа МПУ5-1. Их технические данные следующие: число символов 84, ширина стрипа 25,4 мм, скорость печати 10 колонок/с, число строк в колонке 5, на ленте одной зарядки может быть напечатано 300 стрипов.

Индикаторные устройства с электронно-лучевыми трубками. Существуют различные типы ИУ, отличающиеся назначением в комплексе аппаратуры отображения, методами управления лучом ЭЛТ, методами воспроизведения информации, ее объемом и видом, условиями использования, возможностями управления отображением. В зависимости от ИВД и совершенства используемой системы УВД могут применяться: только координатные ИУ, на экранах которых воспроизводятся отметки ВС; отдельно размещаемые координатные (на базе ЭЛТ) и знаковоспроизводящие (на базе электронных ламп) ИУ и совмещенные ИУ. На последних одновременно отображается координатная, полетная и другая знаковая информация. Для отображения знаковой информации в совмещенных ИУ используют весьма обширный алфавит, в который входят буквы (славянские и латинские), цифры (арабские), простые фигуры (треугольники, квадрат, круг, прямоугольник, ромб), условные знаки (стрелка, черта, самолетик, крест, звездочка и др.), линии (непрерывные, штриховые), штриховка площадей. Для обращения внимания оператора применяется мерцание знаков.

12.2. Методы создания изображений на ЭЛТ

В ИУ применяются темновые и яркостные ЭЛТ. При использовании первых требуется затемнение помещений, вторые позволяют работать в помещениях, даже при наличии солнечного света. Устройство и функционирование темновых ЭЛТ, используемых в ИУ ряда обзорных РЛС, было рассмотрено в §4.3. Яркостные ЭЛТ могут быть телевизионными и радиолокационными. Рассмотрим основные принципы их работы.

Принципы создания телевизионного изображения. Для его получения на экране образуется растр в виде горизонтально расположенных строк (следов луча ЭЛТ), повторяемых с частотой, минимум которой превышает инерционность зрения. Луч движется горизонтально слева направо, смещаясь после каждой строки вниз или вверх на высоту строки вплоть до последней, образуя один кадр изображения. Развертка по строкам может быть прогрессивной, когда

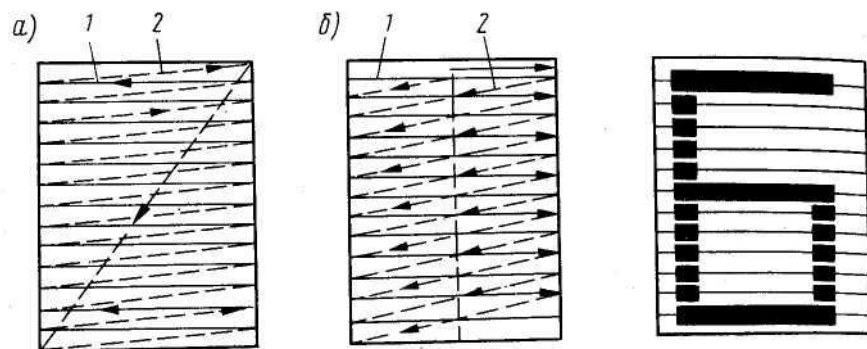


Рис. 12.3. Телевизионный кадр:
1—прямой ход; 2—обратный ход луча

строки в кадре примыкают друг к другу (рис. 12.3, а) и изображение получают за один проход луча по строкам экрана, и чересстрочной, когда кадр получают за два прохода луча по экрану (за два полукадра), для чего строки последующего полукадра укладываются между строками предыдущего (рис. 12.3,б). Движением луча по строкам и по кадру управляют генераторы напряжений строк и кадров, в принципе аналогичные устройствам развертки луча в ИУ РЛС. Начало строк и смена кадров происходят при поступлении сигналов синхронизации строк и кадров.

Изображение на экране приемной телевизионной ЭЛТ получают путем подачи на ее управляющий электрод импульсов подсвета в моменты нахождения луча в точках, в которых должны появляться элементы изображения (рис. 12.3, в). Длительность импульсов подсвета зависит от размера изображения по направлению строки развертки. Люминофор экрана имеет очень малое послесвечение. Длительное наличие изображения на экране обеспечивается повторением кадров.

Четкость изображения, контрастность, отсутствие размытости элементов, мерцание строк зависят от метода разложения, числа строк изображения и частоты кадров. В отечественной аппаратуре используется разложение в 625 строк (проектируется до 1250 строк в АО «Строка-Ц»). Прогрессивная развертка обеспечивает более высокое качество изображения, но для этого тракт видеосигналов должен удовлетворять высоким требованиям, например, по широко-полосности (десятки мегагерц и более). При чересстрочной развертке эти требования снижаются, так как полный кадр с частотой 12,5; 25 или 50 Гц создается за два полукадра по 312..313 строк. ИУ телевизионного типа применяются при отображении модели обстановки УВД на рабочих местах диспетчеров радиолокационного контроля, а также для отображения в текстовом виде сведений о

процессе УВД и плановой информации (таблично-знаковые индикаторы (ТЗИ)). Для использования ИУ с телевизионными ЭЛТ требуется предварительное преобразование РЛ-сигналов, несущих координатную информацию, в ТВ-сигналы. Оно выполняется с помощью специальной аппаратуры, главным элементом которой является электровакуумный преобразователь типа графekon. Преобразование радиолокационного изображения в телевизионное улучшает качество изображения, устраняя мелькание отметок путем их неоднократного повторения между последовательными обзорами РЛС, а также позволяет размножить изображение для использования его на нескольких рабочих местах.

Картографическая и справочная текстовая информация превращается в ТВ-сигналы путем оптико-фотоэлектронного преобразования изображений на бумаге с помощью передающей ТВ-трубки. Для воспроизведения на экране телевизионной ЭЛТ эти виды сигналов смешиваются с сигналами, несущими координатную информацию.

Преобразование РЛ-сигналов в ТВ-сигналы. Для этого может быть использовано устройство с графekonным преобразователем (рис. 12.4). Преобразователь создан на базе ЭЛТ с запоминанием изображения (потенциалоскоп). Графekon обеспечивает память от 5 до 90 с. В середине ЭЛТ размещается мишень, состоящая из диэлектрического полупроводящего накопительного слоя *НС* и закрепленной на нем металлической (из фольги) очень тонкой сигнальной пластины *СП*. Накопительный слой и *СП* укреплены на мелкоячеистой сетке *С*. Левая сторона колбы ЭЛТ предназначена для записи

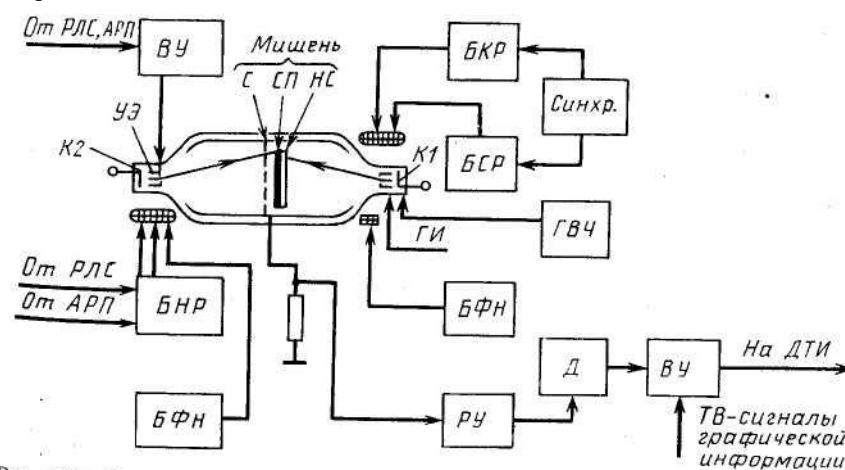


Рис. 12.4. Структурная схема аппаратуры графekonного преобразователя:
ВУ — видеоусилитель; БНР — блок напряжения разверток; БФН — блок фокусирующих напряжений; БКР — блок кадровой развертки; БСР — блок строчной развертки; ГИ — гасящие импульсы; БФН — блок фокусирующих напряжений; РУ — резонансный усилитель; Синхр — синхронизатор; ГВЧ — генератор высокой частоты; Д — детектор

РЛ-видеосигналов и имеет прожектор, создающий высокую разность потенциалов «катод—СП». Луч записывающего прожектора развертывается на мишени по законам радиолокационного изображения. Луч, формируемый прожектором с правой стороны ЭЛТ, предназначен для считывания записанной информации и разворачивается на мишени с другой стороны по законам ТВ-развертки.

Работа преобразователя состоит из этапов подготовки, записи и считывания. При подготовке луч телевизионной стороны трубки, проходя по НС мишени, выбивает из него вторичные электроны, которые захватываются и отводятся коллектором. При этом НС по отношению к заземленной через резистор R_H сигнальной пластине имеет положительный потенциал. Ток записывающего луча радиолокационной стороны трубки из-за высокого потенциала напряжения, приложенного к катоду К2 (-8...-10 кВ), проходит через СП и выбивает из НС не только поверхностные, но и глубинные вторичные электроны. При этом последние перемещаются на места электронов, которые были ближе к поверхности, вызывая тем самым ток проводимости, называемой дырочно-электронной. Этот ток разряжает элементарные конденсаторы, из которых состоит НС.

Под влиянием видеосигналов, поступающих на управляющий электрод УЭ радиолокационной стороны трубки, потенциал «катод-НС» изменяется так, что потенциальный рельеф на НС повторит («сфотографирует») наблюдаемую РЛС обстановку в воздушном пространстве.

Энергия луча считывания телевизионной стороны трубки невелика (на катод 2 (К1) подается -1 кВ). Ток этого луча, также идущий через резистор R_H , будет зависеть от глубины потенциального рельефа на тех элементах мишени, которые проходит списывающий ТВ луч. В процессе каждого кадра считывания будет сниматься часть потенциального рельефа. Регулируя ток луча, можно изменять время списывания, т. е. время памяти радиолокационной информации.

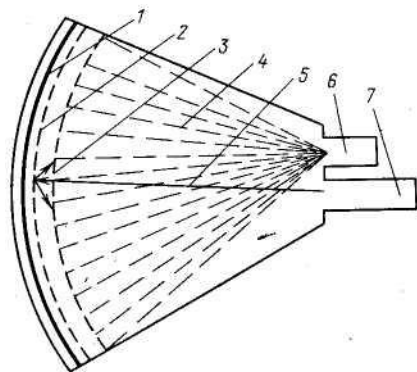


Рис. 12.5. Схема потенциалокопа с видимым яркостным изображением

Для выделения сигнала считывания ток списывающего луча модулируется по цепи катода 1 сигналами высокой частоты. Напряжения с резистора R_H идут через резонансный усилитель, детектор и видеоусилитель, подаются на распределитель сигналов изображения между диспетчерскими ТВ-индикаторами.

Аппаратура графekonного преобразования используется в аппаратуре отображения «Строка-Б», «Строка-Б»—«Страница», «Строка-2» и в аппаратуре отображения АСУВД «Старт».

Преобразование РЛ-сигналов в яркостное изображение в ЭЛТ.

При этом методе преобразование РЛ-сигнала в видимое изображение осуществляется с помощью ЭЛТ типа потенциалокопа. Эта ЭЛТ имеет иное устройство, чем графekon. Здесь потенциалокоп односторонний. На внутренней поверхности прозрачного дна колбы ЭЛТ (рис. 12.5) нанесен люминофор 1, перед которым установлена диэлектрическая сетчатая мишень 2, являющаяся накопителем заряда. За мишенью располагается коллектор 3. Прожектор записывающего луча 4 формирует тонкий луч 5, развертывающийся на экране по закону создания РЛ-изображения. Потенциал «катод— мишень» для этого луча значительно больше потенциала «катод— экран» в темновых ЭЛТ. Это обеспечивает возможность создания в мишени внутренней дырочно-электронной проводимости, благодаря которой происходит нанесение на мишень потенциального рельефа, соответствующего полученным видеосигналам так же, как в графekonном преобразователе.

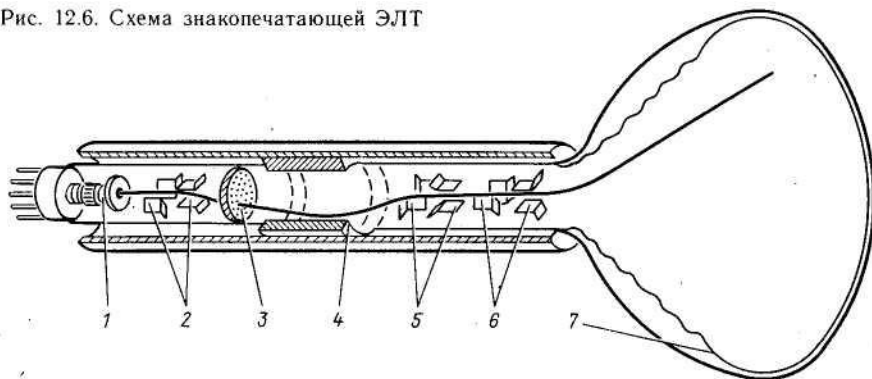
Считывающий луч 4 широкий, расфокусированный, формируется своим прожектором 6. Поток электронов этого луча проходит сетку накопителя и попадает на люминофор. Интенсивность идущего к экрану потока электронов в отдельных его частях зависит от потенциала элементов мишени, поэтому его воздействие на экран, т. е. и свечение экрана в разных местах, будет различным по яркости и повторит запомненное в виде элементарных зарядов РЛ-изображение. Списывание через коллектор происходит медленно, поэтому изображение на экране может сохраняться в течение времени между обзорами РЛС. Рассмотренный метод отображения используется в ИУ «Комета-2» для ДРЛС-7ск.

12.3. Методы отображения знаковой информации на экранах ЭЛТ

Для воспроизведения знаков в аппаратуре отображения применяются различные методы их генерации, например, знаковечати, растровый и функциональный.

Воспроизведение знаков методом знаковечати. При этом методе сечение луча ЭЛТ формируется соответствующим контуру воспроизводимого знака, поэтому электроны луча при взаимодействии с веществом экрана высвечивают (печатают) необходимый знак. Сечение луча формируется при пропускании его через малые (2...3 мм) отверстия в матрице, имеющие форму знаков, поэтому такие ЭЛТ называются также профилно-лучевыми. Направлением луча на отверстия матрицы и на место воспроизведения знака на экране управляют электростатические или электромагнитные поля, создаваемые пластинами или катушками, размещенными соответственно внутри или вне трубки. Имеются несколько разновидностей знаковечатающих ЭЛТ: с длительным хранением информации (тайпотроны), со сменными матрицами (композитроны), с полностью электростати-

Рис. 12.6. Схема знакопечатающей ЭЛТ



ческим управлением лучом (принтоскопы), со смещенным электростатическим и электромагнитным управлением (характроны). Один из видов ЭЛТ показан на рис. 12.6. Электроны излучаются прожектором 1 и формируются в тонкий луч с помощью катушки 4. Положением луча управляют три системы. Первая (выбирающая) имеет расположенные внутри ЭЛТ электростатические пластины 2, которые служат для выбора знака на матрице 3. Вторая, тоже электростатическая система 5, называемая компенсирующей, возвращает луч к оптической оси ЭЛТ с целью удобства последующего управления лучом при направлении его на место воспроизведения знака. Третья система в виде пластин 6 или катушек — адресная. Она управляет местом воспроизведения знака на экране 7. Эта система в ЭЛТ типа характрон электромагнитная, катушки располагаются снаружи ЭЛТ.

Управляющие напряжения вырабатывают преобразователи в соответствии с значениями поступающих двоичных кодов, обозначающих вид знака и место его отображения. Для высвечивания знаков на управляющий электрод прожектора подаются импульсы подсвета необходимой длительности. Послесвечение экрана небольшое, до 0,1 с. Цвет свечения фона и знаков зависит от вещества люминофора. Возможный ассортимент знаков ограничен размерами матрицы (64 и 128 знаков).

В настоящее время характроны используются как составная часть комбинированной ЭЛТ для обеспечения совмещенного отображения информации в АСУВД «Старт».

Растровый метод воспроизведения знаковой информации. При формировании знаков растровым методом развертывающий луч ЭЛТ кадр за кадром повторяет одни и те же прямолинейные траектории для образования строк и кадров, а контуры знака появляются за счет подачи импульсов подсвета в необходимые для фиксации элементов контура моменты времени. Растровый метод подразделяется на телевизионный (ТВ) и малоформатный ТВ-метод (МФТ). При

ТВ-методе используется строчное и кадровое развертывание изображения. За один проход луча по строке экрана высвечиваются элементы всех знаков, подлежащих воспроизведению на этой строке, затем отображаются элементы знаков второй строки и т. д. Развертка луча по кадру может быть прогрессивной или череспериодной. При МФТ методе для каждого слова, состоящего из нескольких знаков, создается микрорастр, представляющий собой часть раstra ЭЛТ. Считается, что для качественного воспроизведения знака он должен иметь $k = nm$ элементов размножения, где $n = 6...7$ — число элементов по высоте, а $m = 4...5$ — число элементов по ширине. Элементом считается величина, равная диаметру пятна луча на экране. Микрорастры формируются в цифровом знакогенераторе: конфигурация знаков хранится в виде кодов команд, управляющих выдачей сигналов подсвета. Длительность импульсов подсвета определяется шириной контура знака. Управление местом расположения микрораstra на экране производится с помощью систем развертывания луча по кадру и строкам.

Функциональные методы генерации знаков. При этом методе генерации знаков луч ЭЛТ перемещается по экрану в соответствии с контуром воспроизводимого знака, т. е. как бы пишет знак. Управление лучом осуществляется путем подачи на горизонтально и вертикально отклоняющие катушки ЭЛТ напряжений u_x и u_y , сформированных по закону, определяемому функцией, аппроксимирующей контур знака. Для того чтобы отображаемый знак был виден на экране, на время воспроизведения знака на управляющий электрод ЭЛТ подается импульс подсвета u_n . До начала воспроизведения знака управляющими напряжениями u_x и u_y луч направляется в то место на экране, в котором должен воспроизводиться знак. При этом учитывается также номер знакоместа воспроизводимого знака. Имеются три основных функциональных метода формирования отклоняющих напряжений: гармонический — синтезированием знаков из основной и гармонических составляющих функций, описывающих контуры знаков; полиграммный (функционально-векторный или штриховой), при котором знак синтезируется из частей (сегментов) фигуры, которыми могут быть представлены различные знаки, и точно-дискретный, при котором подсвечиваемый луч дискретно во времени переходит из точки в точку по контуру знака.

В аппаратуре отображения УВД в настоящее время используется лишь один из них — полиграммный. Полиграммой называется фигура, элементы которой представляют собой совокупность векторов, использующихся для отображения знаков всего используемого алфавита.

На рис. 12.7 показаны полиграммы, состоящие из 7 и 19 векторов. Для отображения всех арабских цифр достаточно 7 векторов. С помощью 19 векторов возможно воспроизвести любую цифру и букву русского и латинского алфавита. Номера векторов хранятся в па-

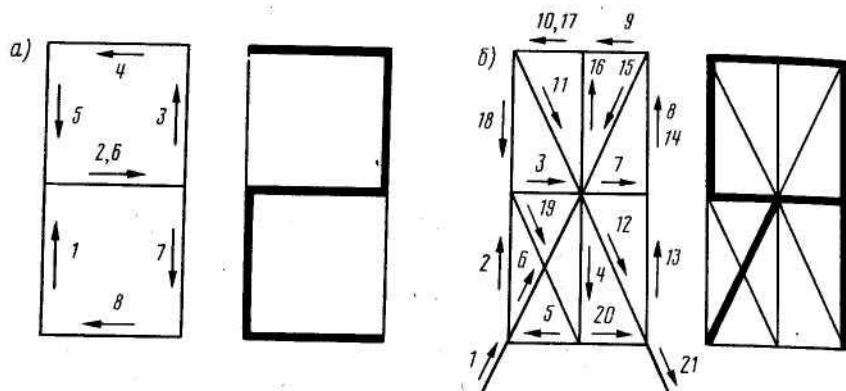


Рис. 12.7. Полиграммы аппроксимации знаков:
 а — 7-векторная для арабских цифр; б — 19-векторная для русских и латинских букв

мента знакогенератора в виде двоичного кода. После прихода кода команды о воспроизведении некоторого знака коды номеров векторов выбираются из памяти по программе воспроизведения знака и подаются на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) этих кодов в значения u_x и u_y для росписи знаков. Место воспроизведения знака на экране определяется по координатам x и y отметки ВС и по номеру знакоместа в формуляре сопровождения отметки.

12.4. Совмещенное отображение информации

Виды и способы отображения информации. С ростом ИВД увеличивается объем информации, поступающей к руководителям полетов и диспетчерам от различных источников, поэтому для удобства ее восприятия возникла необходимость одновременного (совмещенного) отображения на экранах диспетчерских индикаторов координатной, полетной, плановой и справочной информации, а также оперативного управления ее воспроизведением.

На совмещенных индикаторных устройствах (СИУ) модель обстановки УВД может включать:

координатные отметки, аналоговые от РЛС или синтетические, т. е. полученные в результате обработки цифровых координат ВС;

формуляры сопровождения (ФС) с полетной информацией о состоянии ВС, полученной от ответного канала ВРЛ, и дополнительной от ЭВМ и с пульта управления диспетчера;

векторы-указатели, соединяющие отметки целей и ФС, которые помогают опознавать принадлежность ФС отметкам ВС;

линии, отображающие графическую информацию (электронные карты);

формуляры ожидания (ФО) с плановой информацией о ВС, которые в ближайшее время войдут в контролируемую зону (прилетят, взлетят, пройдут по трассе);

маркеры для обозначения некоторых отметок ВС;

справочная информация, например, о метеобстановке и др.

Часть приведенной информации является динамической, изменяющейся по содержанию и объему, это координатные отметки и формуляры. Все другие элементы воспроизводимых моделей являются статическими, так как их вид и объем подвергаются изменениям реже, а такая информация, как картографическая практически не изменяется.

СИУ, на которых информация отображается в аналоговом виде, а полетная и дополнительная в цифровом и буквенном, называются аналогово-цифровыми. Информация, поступающая на аппаратуру СИУ в цифровом виде, преобразуется в напряжения и токи для управления движением луча в радиолокационной ЭЛТ или моментом выдачи напряжения подсветки в телевизионной ЭЛТ.

Совмещенное отображение на одном экране координатной и дополнительной информации возможно параллельным и последовательным методами. При параллельном, т. е. одновременном воспроизведении координатной и знаковой информации, используются многогорловые (2 или 3) ЭЛТ. Одно горло обеспечивает воспроизведение координатной информации, второе — цифробуквенной, третье — картографической. Примером такой ЭЛТ является телевизионный совмещенный план-индикатор (СПИ) АСУВД «Старт», который представляет собой комбинацию ТВ-трубки, характерна и оптического устройства, просцирующего изображение с диапозитива на экран ЭЛТ. При последовательном методе воспроизведения информации на радиолокационной ЭЛТ координатные отметки и знаки отображаются раздельно во времени. На прямом ходу развертки — координатная информация, на обратном ходу — знаковая и графическая. При воспроизведении информации на телевизионной ЭЛТ последовательный метод реализуется в поэлементном отображении координат, знаков и линий по мере движения луча ЭЛТ по строкам и кадрам.

При использовании радиолокационной ЭЛТ и необходимости отображения большого количества информации применяется метод сжатия (компрессии) во времени радиолокационной координатной информации с целью выделения большего времени на фиксацию знакографической информации. Сжатие производится путем оцифровки РЛ-информации, ее запоминания и последующей выдачи с большей, чем при записи, скоростью.

Для создания синтетических знаков информация, подлежащая отображению, поступает в цифровом виде, хранится в оперативных запоминающих устройствах (ОЗУ), откуда подается на процессоры и другие, устройства аппаратуры отображения по запросу или по командам исполняемой программы. Здесь она запоминается, вы-

дается в заданном темпе, преобразуется в напряжения, управляющие лучом или временем выдачи подсветки. Этот процесс регенерируется с частотой 50...12,5 Гц для того, чтобы изображение было слитным, немигающим и видимым при нормальной освещенности рабочего места диспетчера. Кроме знаков, на экранах ЭЛТ электронным путем воспроизводятся линии. Их число может быть 10...50 и более.

Синтетический метод следует отнести к параллельному методу отображения. Его реализация возможна на индикаторах радиолокационного и телевизионного типа. В настоящее время применяются:

телевизионные совмещенные ЭЛТ с формированием знаков растровым способом (аппаратура отображения «Страница»—«Строка-Б» и «Строка-2»), «Строка-Ц»;

телевизионные совмещенные ЭЛТ с формированием знаков способом знакопечати (аппаратура отображения АСУВД «Старт»);

радиолокационные совмещенные ЭЛТ с формированием знаков функционально-векторным методом (аппаратура отображения «Знак», «Символ-Д», АСУВД «Спектр», «Стрела»).

Управление отображением информации. Аппаратура рабочего места диспетчера представляет собой специальные пульта, оборудованные индикаторными устройствами, оконечными устройствами средств громкоговорящей и телефонной связи, средствами графической (ручной) или с помощью стрипов фиксации и контроля процессов УВД, и также панелями управления, с помощью которых диспетчер может управлять отображением информации, например поступлением информации от различных источников, вводом ВС в автопровождение, изменением вида информации в формулярах, ее объема и места расположения, вводом картографической плановой и справочной информации. Диспетчер выбирает режим отображения «Аналог» или «Синтетика». Имеется возможность управления масштабом изображения, размером знаков, наличием на экране азимутально-дальномерной сетки, яркостью и контрастностью изображения, а также частотой воспроизведения знаков в зависимости от объема отображаемой информации.

При наличии резервного ИУ его можно использовать как контрольный, работающий от другой РЛС, и как резервный.

12.5. Аппаратура отображения информации «Строка-Б»

Аппаратура отображения АО «Строка-Б» предназначена для создания изображения модели обстановки УВД на диспетчерских телевизионных индикаторах. Для этого в АО производится преобразование поступающих от средств наблюдения радиолокационных координатных сигналов в телевизионные, а также создание телевизионных сигналов графической и знаковой информации, представ-

ляемой неоперативно персоналом, обслуживающим аппаратуру отображения. Преобразование производится с помощью ЭЛТ (ЛН-104), называемой двусторонним графekonным преобразователем. Графическое и знаковое изображение для совмещенного их отображения с координатной РЛИ снимается со специально подготавливаемых бланков путем оптико-фотоэлектронного преобразования с помощью передающей ТВ-трубки.

Преобразование РЛИ в ТВИ обеспечивает: улучшение восприятия вследствие повышения контрастности изображения, яркости до значения, позволяющего работать в освещенных помещениях; получение слитного изображения траектории отметок ВС путем их запоминания и повторения с частотой 50 Гц; повышение информативности изображения на ТВ-индикаторе путем совмещения радиолокационной и дополнительной графической и знаковой информации; размножение изображения и его отображение на ДТИ нескольких рабочих мест диспетчеров.

Аппаратура обеспечивает сопряжение со всеми типами трассовых, аэродромных и посадочных РЛС (кроме РЛС новых типов), а также радиостанциями ближней навигации РСБН-2, РСБН-4Н, РСБН-6.

Устройство и функционирование аппаратуры (рис. 12.8). Информация от средств наблюдения поступает на приемные устройства ПУ, расположенные на КДП, если информация поступает от кабельной линии трансляции. Если же информация приходит от радиорелейной линии РРЛ, то она поступает на их приемопередающие устройства. Передатчики линии передают команды управления ее работой.

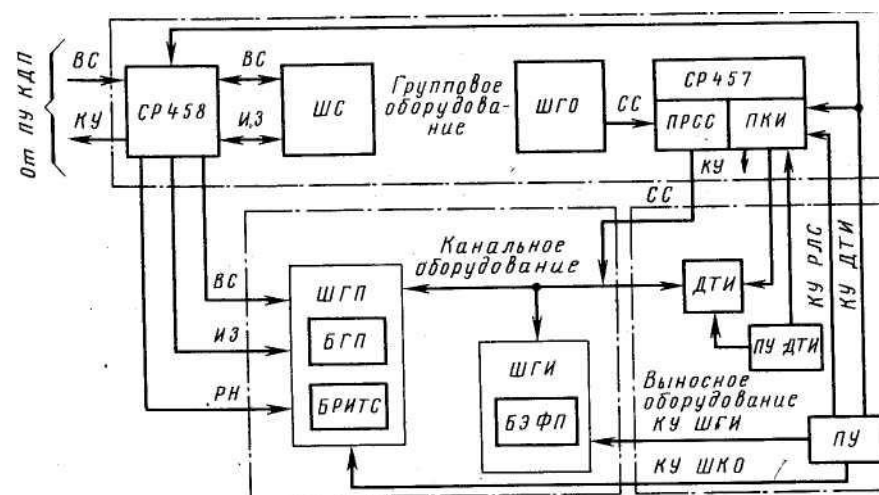


Рис. 12.8. Структурная схема аппаратуры отображения «Строка-Б»

Аппаратура «Строка Б» состоит из трех основных частей: группового оборудования (АГО), канального (АКО), выносного (АВО). Аппаратура группового оборудования состоит из стойки распределения *СР458*, шкафа сопряжения *ШС*, шкафа группового оборудования *ШГО* и стойки распределения *СР457*.

Стойка распределения 458 предназначена для приема РЛИ с аппаратуры КДП, передачи ее на шкаф сопряжения и передачи команд управления (КУ) на КДП. В шкафу группового оборудования формируются синхросигналы кадров и строк, которые обеспечивают: синхронность и синфазность размножения и воспроизведения ТВ-изображения; сопряжение аппаратуры с различного типа РЛС; распределение и коммутацию синхроимпульсов, а также команд управления РЛС. Возможно одновременное сопряжение с тремя РЛС: с ОРЛС-Т на 8 каналов преобразования, с ОРЛС-А на 4 канала и с РЛС-П на 4 канала.

Стойка распределения 457 имеет две панели, одна из которых *ПРСС* предназначена для распределения синхросигналов по потребителям в канальном оборудовании; вторая панель *ПКИ* производит коммутацию информации, поступающей из шкафов графической информации *ШГИ*, а также команд управления *КУ* телевизионными индикаторами, поступающих с ПУ ДТИ, и оборудованием *ШКО*, *ШГИ* и *РЛС*.

Шкаф сопряжения *ШС* является промежуточным звеном между аппаратурой КДП, *СР458* и аппаратурой графekonного преобразования, расположенной в канальном оборудовании. В *ШС* получаемые с *СР458* сигналы формируются по амплитуде и организуются в последовательность из импульсов запуска *ИЗ* и видеосигналов *ВС*. В последний входят: сигналы, отраженные от целей, и масштабные метки, а для видеосигналов с РЛС-П также и импульсы формирования линий курса и глассады. В *ШС* масштабные метки могут поступать от РЛС или формироваться самостоятельно. После нормирования видеосигналы возвращаются для последующего распределения в *СР458*, а угловая информация в виде развертывающих напряжений *РЖ* после нормирования идет непосредственно на канальное оборудование. Один *ШС* обеспечивает работу с одной ОРЛС (Т, А или П).

В состав АКО входят шкафы канального оборудования *ШКО* и шкафы графической информации (ШГИ). *ШКО* предназначены для преобразования РЛ-сигналов, а ШГИ — для преобразования графической информации: для каждой ОРЛС-Т и ОРЛС-А требуется по одному ШКО, а для одной посадочной РЛС необходимы два ШКО — для получения курсового и глассадного изображения.

Задача преобразования РЛИ в ТВИ решается в *ШКО* с помощью блоков графekonного преобразователя *БПП* (см. § 12.2) и блока радиолокационных и телевизионных сигналов *БРИТС*, в котором вырабатываются необходимые для работы *БПП* напряжения разверток лучей, созданных для работы РЛ- и ТВ-сторон графekonа. В *БРИТС*

От обслуживаемых РЛС поступают: видеосигналы, импульсы запуска, сигналы углового положения антенны и масштабные метки дальности. Телевизионные координатные сигналы снимаются с резистора R_n графekonа (см. рис. 12.4) и после усиления подаются на диспетчерские телевизионные индикаторы.

Преобразование графической и текстовой информации в ТВ-сигналы происходит с помощью передающей ТВ-камеры в ШГИ. Для этого лист бумаги с нанесенным на него изображением карты или текста размещается на панели перед оптической системой камеры. Изображение с бумаги строится оптикой на чувствительных элементах блока электрофотопреобразователя *БЭФП*, расположенного в фокусе оптической системы камеры, и превращается в нем в видеосигналы. Телевизионные видеосигналы, полученные в *ШГП* и *ШГИ*, смешиваются и посылаются в ДТИ.

Для обеспечения высокой надежности в каждом *ШКО* имеются по два блока *БПП* и *БРИТС*. При необходимости обеспечить работу *ШКО* с другим типом РЛС или. АРП блоки *БРИТС* должны быть заменены, так как разные РЛС имеют разные периоды обзора антенны и повторения зондирующих сигналов. Распределение радиолокационной и графической информации по потребителям осуществляется через панель коммутации стойки распределения аппаратуры. В различные комплекты оборудования может входить до шести *ШКО* и *ШГИ* в зависимости от числа секторов, на которое разделено пространство наблюдения. Аппаратура по составу шкафов и стоек комплектуется исходя из потребностей конкретного КДП. В комплект входят и запасные *ШКО* и *ШГИ*.

Отображение информации и управление ею. Аппаратура выносного оборудования располагается на КДП. В нее входят индикаторы *ТИ-412*, пульт управления *ПУ* аппаратурой всего комплекса, панель управления изображением *ПУ-ДИ* и вспомогательная аппаратура. В *ТИ-412* использована ЭЛТ 45ЛМ6В диаметром 450 мм с магнитным отклонением и магнитной фокусировкой. Передача информации может производиться по кабелям и проводам на дальность не более 100...150 м. С помощью *ШГИ* отображаются: рукописные и машинописные тексты, тексты телеграмм с рулонного телетайпа, контурные карты диспетчерского района и схемы движения.

Размеры бланков графической и текстовой информации 250x 250 мм. Рекомендуемая высота букв 4 мм. Точность совмещения изображения с картой местности: по азимуту не хуже $\pm 3^\circ$, по дальности 5% от масштаба дальности. Изображение может быть позитивным или негативным. Совмещенное изображение может иметь различную полярность, например негатив для картографической и позитив для буквенно-цифровой и координатной. Оператор имеет возможность выбрать способ отображения информации при круговом или секторном обзорах. Телевизионные индикаторы имеют следующие масштабы изображений: 100, 250, 500 км; 100, 200, 400 км; 100, 200, 360 км и 45, 90, 150 км. Возможны также масштабы 30 и

100 км (в секторном обзоре). Для индикаторов посадки применяются масштабы 10, 20, 50 и 15, 20, 60 км, в секторном режиме — масштабы 30 и 100 км. Может быть выбран сектор в 60° в пределах $0...360^\circ$ с дискретом в 30° при необходимости с задержкой начала развертки по дальности. Имеется также канал крупномасштабной индикации с масштабом 100 км. Масштабные метки дальности и азимута идут с ШКО в виде ТВ-сигналов. Управление изображением оперативное с платы управления ПУ-ДИ, расположенной на пульте управления, т. е. на рабочем месте диспетчера.

12.6. Аппаратура отображения информации «Знак»

Аппаратура предназначена для совмещенного отображения радиолокационной, знаковой и графической информации на радиолокационных (темновых) ЭЛТ индикаторных устройств в АЦЦ аэропортов с малой ИВД. АО сопрягается со всеми типами ОРЛС старого типа, а также с АРП. Аппаратура обеспечивает:

- определение местоположения ВС по единому (от ПРЛС и ВРЛС) координатному сигналу;
- идентификацию отметок ВС по бортовому номеру и опознавание ВС при работе в режиме RBS;
- контроль полета всех наблюдаемых ВС по трассам и маршрутам;
- контроль полета шести ВС по высоте и запасу топлива;
- получение информации об уровне отсчета давления при определении высоты;
- получение сообщений о бедствии на ВС;
- определение расстояния и азимута между точками и отображение этих данных.

Устройство и функционирование аппаратуры. Комплекс АО «Знак» (рис. 12.9) состоит из групповой (ГА) и индивидуальной аппаратуры (ИА). В качестве ГА использована ранее разработанная, но не внедренная в эксплуатацию аппаратура «Номер-Т», которая предназначалась для обработки координатной и полетной информации и ее отображения от трех ВС на знаковоспроизводящих табло. Групповая аппаратура обеспечивает сопряжение РЛС и АРП с аппаратурой обработки информации комплекса, распределение полученной информации по различным комплектам индивидуальной аппаратуры. Передача информации осуществляется в виде после-

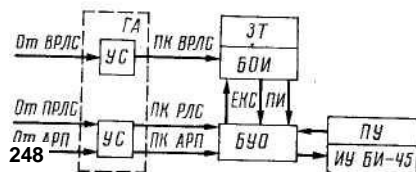


Рис. 12.9. Структурная схема аппаратуры отображения «Знак»: ГА — групповая аппаратура; УС — устройство сопряжения; ЗТ — знаковое табло; БДИ — блок обработки информации; БУО — блок управления отображения; ПУ — пульт управления; ЕКС — единый координатный сигнал; ИУ — индикаторное устройство

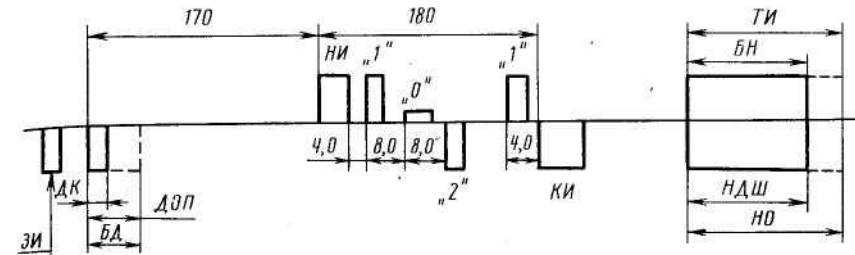


Рис. 12.10. Структура последовательного кода: ЗИ — запускающие импульсы; ДК — декодированные координаты; БД — ДК ВС, терпящего бедствие; ДОП — ДК опознаваемого ВС; НИ — начало информации; 1 и 0 — импульсы разрядных кодов БН и ТИ; КИ — конец информации; 2 — двойная ошибка; БН и ТИ — признаки кодов; НДШ и НО — неисправности дешифратора и блока очистки

довательных кодов ПК (рис. 12.10), в которых она кодирована временным, положением импульсов, их длительностью и полярностью. В ГА производятся декодирование координатных сигналов, очистка их от помех и формирование последовательных кодов, которыми передается полетная информация на индивидуальную аппаратуру в соответствии с запросными кодами: БН или ТИ (ЗК1 или ЗК2).

Поступившая в ИА информация обрабатывается в двух блоках обработки информации (БОИ1 и БОИ2), размещаемых у диспетчерского пульта управления (рис. 12.11). Обработанная информация

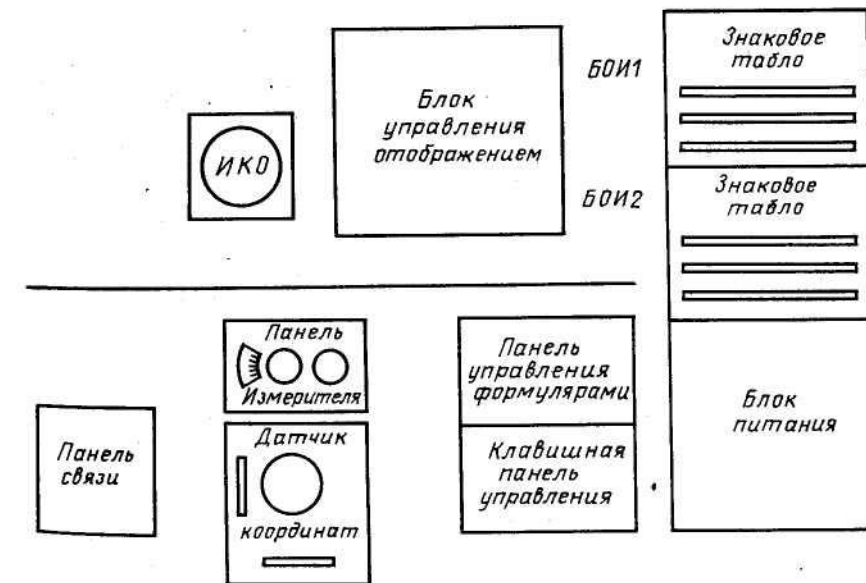


Рис. 12.11. Схема размещения индивидуальной аппаратуры отображения информации «Знак» на пульте управления диспетчера

идет на индикаторное устройство ИУ *БИ-45*, установленное на пульте управления. На передних стенках *БОИ* установлены по три двухстрочных знаковоспроизводящих табло, воспроизводящих полетную информацию от трех ВС на каждом.

В *БОИ* из координатной информации, поступившей от ПРЛС и ВРЛС в виде ПК, образуется единый координатный сигнал *ЕКС*. Остальная часть ПК преобразуется в *БОИ* в двоичные цифровые коды. В каждом *БОИ* имеются три канала автосопровождения (АС), т. е. обрабатывается информация, поступающая по вторичному каналу от трех ВС. Переход к АС совершается следующим образом. Полученная из ПК информация о БН сравнивается с кодом БН, введенным диспетчером. При совпадении кодов БН текущая дальность до ВС заносится в память, и вырабатываются команды селектирования кодов высоты и запаса топлива этого ВС, а также сигналы выдачи маркера для выделения отметки ВС, взятого на АС. Вся отселектированная информация поступает через блок управления отображением *БУО* на *БИ-45*, а также на знаковое табло.

Отметки ВС на экране ИУ создаются аналоговым методом, а знаки — функционально-векторным во время обратного хода развертки. При этом используется метод видеосжатия. Для обеспечения непрерывной видимости изображения сигналы регенерируются с частотой 50 Гц. При переходе к АС у отметки ВС на экране *БИ-45* отображается полетная информация в виде двухстрочного формуляра сопровождения (ФС), соединенного с отметкой вектором указателем.

Основное назначение *БУО* — формирование для *БИ-45* напряжений разверток и подсветки, с целью получения координатных

отметок, линии пеленга, векторов электронной карты, вектора измерителя азимута дальности, координат расположения ФС и росписи знаков в них. Все указанные задачи решаются в знакогенераторе (ЗГ), размещенном в *БУО*. Напряжения разверток вырабатываются в соответствии с кодами признаков знаков, кроме того в ЗГ получают ортогональные напряжения U_x и U_y для определения координат формуляров и места знаков в них.

Картографическая информация обеспечивается генерацией 12 линий карты в генераторе электронной карты (ГЭК), расположенном в *БУО*. Линии карты и вектор измерения дальности и азимута строятся с помощью напряжений, снимаемых с потенциометров при установке данных оператором. Сигналы подсвета для знаков и линий также вырабатываются в ЗГ.

Все сигналы: видео от ПРЛС и ВРЛ, импульс запуска, метки дальности и азимута, а также сигналы от ЗГ и ГЭК суммируются в видеоусилителе, расположенном в *БУО*, а затем подаются на *БИ-45*. На передней панели *БУО* расположены рукоятки регулировки амплитуд видеосигналов пассивного и активного каналов, яркости отметок ВС, управления метками дальности и азимута, маркером, смещением формуляров ожидания, изменения масштаба изображения и др.

На диспетчерском пульте управления, кроме ИКО и *БУО*, размещены панели: управления (рис. 12.12), датчика прямоугольных координат, вектора-измерителя, оконечных устройств громкоговорящей телефонной и радиосвязи. Панель управления (ввода данных) служит для ввода диспетчером ВС в сопровождение, выделения отметок от ВС с ответчиками и индивидуального опознавания. Для этого панель управления имеет ряд клавиш и кнопок.

Датчик прямоугольных координат (ДПК) предназначен для получения напряжений $U_{ХК}$ и $U_{УК}$, управляющих лучом ЭЛТ при автоводе путем совмещения маркера с отметкой ВС или установкой кольцевой зоны автовода, а также для установки конца вектора-измерителя в нужную точку экрана (рис. 12.13).

Панель вектора измерителя служит для измерения дальности и азимута между любыми двумя точками на экране ИУ. Измерение выполняется с помощью потенциометров, расположенных под панелью. В конце вектора-измерителя высвечивается формуляр значения дальности (три знака). Азимут вектора отсчитывается по шкале направлений на пульте. Начало вектора-измерителя устанавливается в выбранную точку шаром датчика прямоугольных координат, а ручками «Дальность» и «Азимут» конец вектора устанавливается в Другую точку, до которой измеряется расстояние.

Конструкция ДПК (рис. 12.14) обеспечивает преобразование угловой величины движения шара, поворачиваемого рукой, в последовательность импульсов, несущих информацию о значении угла поворота шара. Импульсные напряжения затем превращаются в постоянные напряжения $U_{ХДК}$ и $U_{УДК}$ и подаются через видеосмеситель на ИУ.

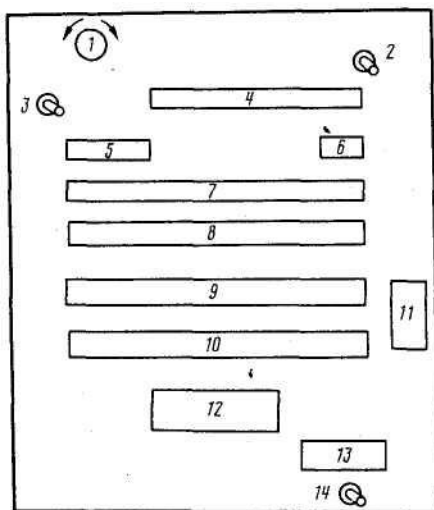


Рис. 12.12. Схема расположения групп клавиш на панели управления (ввода данных) АО «Знак»:

1 — ручка установки размеров маркера; 2 — тумблер выделения отметок ВС с ответчиками; 3 — тумблер включения и снятия маркера АС; 4 — четыре кнопки сигнализации снятия маркеров; 5 — кнопки автовода АС и ввода по БН; 6 — клавиша SpI; 7 — шильдики сигнализации занятости каналов АС; 8 — кнопки сброса каналов сопровождения; 9, 10 — клавиши набора бортовых номеров; 11 и 12 — диски выставления дальности и ширины зоны строга для автовода; 13 — клавиши управления датчиком координат; 14 — тумблер включения отображения зоны автовода

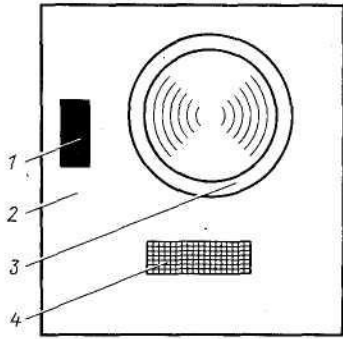


Рис. 12.13. Панель датчика прямоугольных координат:
1 — клавиша включения движения маркера;
2 — панель; 3 — шар; 4 — клавиша возвращения маркера в центр экрана

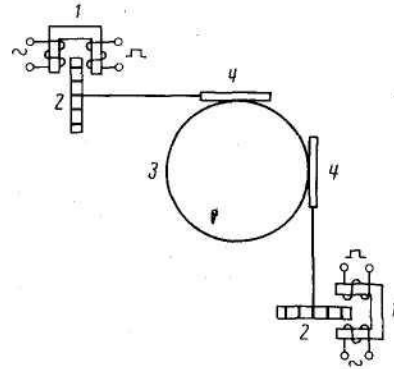


Рис. 12.14. Датчик прямоугольных координат:
1 — магнитные головки; 2 — зубчатые диски; 3 — шар; 4 — валы

Отображаемая информация и управление ею. ИКО обеспечивает отображение наблюдаемого воздушного пространства при круговом или секторном режиме со смещением центра в любую точку экрана при трех оперативных выбираемых масштабах, предусмотренных в РЛС, сопрягаемых с аппаратурой «Знак».

На БИ-45 отображаются координатная и полетная информация от ВРЛС в виде 11-значных ФС, карта в виде схемы трасс (коридоров) и маршрутов полетов, микроабло (формуляр) ожидания с шестью строчками информации (БН, номера каналов АС), линия пеленга, вектор-измеритель с формуляром дальности, азимутальная и дальномерная сетка, маркер и строб маркера.

Отметки ВС наблюдаются в течение 3...4 обзоров и образуют следы их прошлого (за 2...3 обзора) положения. При включении на панели управления тумблера «Акт» все отметки от ВС с ответчиками увеличиваются в 2...2,5 раза. Для опознавания отметки ВС по БН без ввода его в АС надо дать по радио команду на ВС «Нажать кнопку „Знак" на пульте ответчика», а диспетчеру нажать клавишу S_p на панели управления. После этого отметка опознаваемого ВС увеличивается по дальности в 4 раза на время 50 с.

При поступлении сообщения «Бедствие» выделяются отметки от ВС. Координатная отметка от ВС в этом случае расширяется по дальности в 4 раза, а на панели управления начинает мигать сигнал «Бедствие». По каналу радиосвязи выдается прерывистый звуковой сигнал.

Возможно отображение не более шести ФС и ФО. Формуляр сопровождения имеет вид:

35043 2
A0120

где 35043 — бортовой номер; 2 — номер канала сопровождения; А — признак отсчета высоты относительно давления аэродрома; 0120 — высота в десятках метров;

65812 3.
00840

где 65812 — бортовой номер; 3 — номер канала сопровождения; 0 — признак отсчета высоты относительно уровня моря; 0840 — высота в десятках метров;

86652 5
045

где 86652 — бортовой номер; 5 — номер канала сопровождения; 045 — остаток топлива в процентах;

5

где 5 — номер канала ФС.

Формуляры ожидания на микроабло имеют следующий вид:

75434 4

где 75434 — бортовой номер, 4 — номер канала сопровождения.

Размеры знаков в ФС и ФО могут оперативно устанавливаться в пределах: 2 x 3, 3 x 5, 6 x 8 мм. ФС располагаются слева от отметок ВС и перемещаются вместе с ними. Обеспечивается возможность перемещения (отброса) ФС на 8... 10 мм вверх и вниз от исходного положения. ФО может оперативно устанавливаться диспетчером в любом свободном от информации месте на экране ИКО.

Аппаратура «Знак» обеспечивает ввод в АС следующими способами:

по известному БН путем его набора на панели управления и отображения в ФО. При этом БН вводится в БАС, где сравнивается с приходящими от ВРЛ БН. В случае совпадения номера при прохождении луча развертки на экране через отметку ВС в БАС вырабатывается команда захвата и перехода в АС. При этом информация из ФО переходит в ФС;

путем автовода при подходе луча развертки к отметке ВС после нажатия на панели управления клавиши «Автовод» происходит переход в АС этого ВС;

датчиком координат путем совмещения с помощью шара ДК маркера (светлая точка) с отметкой ВС. Ввод в АС произойдет автоматически после прохождения развертки через отметку ВС.

В АО раннего выпуска автовод осуществляется также в кольцевой зоне. Для этого с помощью ДК на экране ИУ устанавливается кольцевая зона автовода. Дальность ее установки и ширина выбираются диспетчером с помощью дисковых органов управления. После перехода луча развертки через отметку ВС произойдет ввод в АС.

Основными недостатками аппаратуры «Знак» являются: малое число каналов АС, ограниченный объем информации в ФС, а также невысокая яркость и контрастность изображения отметок координатной информации, присущая темновым экраном.

12.7. Аппаратура отображения информации «Символ-Д»

Аппаратура предназначена для аэропортов со средней ИВД и обеспечивает рабочие места диспетчеров подхода, круга и посадки информацией о воздушной обстановке в контролируемом ВП и условиях УВД. Для этого на экранах ИКО воспроизводится совмещенная координатная, знаковая и картографическая информация.

АО позволяет диспетчеру:

наблюдать и опознавать аналоговые отметки от ВС, оборудованных и не оборудованных ответчиками;

идентифицировать аналоговые отметки от ВС, оборудованных ответчиками с условными символами отметок этих же ВС, полученных в результате цифровой обработки;

по результатам наблюдения осуществлять контроль за движением ВС;

контролировать текущую высоту полета ВС и остаток топлива.

АО предназначена для сопряжения с ОРЛС-А «Экран-85» и «Онега» («Дружба»), которые имеют в своем составе ВРК. Аппаратура может работать с ОРЛС типа ДРЛС-7см, ДРЛС-9, ДРЛС-А и П-35М и П-37, сопряженных с ВРЛС «Корень-АС», а также с АРП-65 и АРП-7с.

Первичная обработка информации производится в АПОИ «Вуокса». При работе с РЛС старого типа и АРП в ее состав включается также аппаратура преобразования развертывающих напряжений АПРН «Модуль». В этих РЛС информация о текущем угловом положении антенн РЛС и АРП (α_r и α_n) формируется в виде синусно-косинусных напряжений типа $U \sin \alpha$ и $U \cos \alpha$. Необходимые для работы цифровых устройств АПОИ дискретные сигналы, несущие информацию об α_r и α_n , получают в АПРН «Модуль» в виде импульса «Север» и двух последовательностей импульсов, временные интервалы между которыми изменяются в соответствии с функциями синуса и косинуса.

АПОИ «Вуокса» и АПРН «Модуль» расположены на радиолокационной позиции. Аппаратура может работать одновременно с двумя разнотипными РЛС с отображением информации на различных индикаторах. Например, на дополнительный индикатор можно вывести информацию от трассовой РЛС для расширения зоны обзора по дальности. Комплект АО обеспечивает работу на двух рабочих местах (РМ), возможно также отображение информации для просмотра на третьем РМ, а также на РМ диспетчера посадки.

В аппаратуре 15 каналов автосопровождения по информации, получаемой от ВРК. Постоянно в работе используется 14 каналов, 15-й — резервный на случай сопровождения ВС, подавшего сигнал бедствия.

Аппаратура имеет высокую надежность (100%-ное резервирование). Среднее время восстановления 30 мин. Гарантируется соответствие требованиям технических условий на аппаратуру в течение

6 лет эксплуатации с учетом годичного хранения на складе. Технический ресурс не менее 80 000 ч наработки в течение 10 лет эксплуатации.

Состав и функционирование АО. Аппаратура размещается в аппаратном и диспетчерском зале, длина связывающих кабелей должна быть не более 150 м (рис. 12.15). Вся обрабатывающая аппаратура расположена в аппаратном зале, индивидуальная аппаратура РМ диспетчеров находится в диспетчерском зале.

Комплект аппаратуры аппаратного зала включает:

групповую аппаратуру сопряжения с РЛС и АРП — стойку сопряжения аналоговую (ССА). Эта стойка имеет два подканала, каждый из которых обеспечивает одно рабочее место и полностью резервирован (в аппаратуре того же подканала);

аппаратуру (стойку) памяти и сопровождения (СПС). В комплекте их две, каждая из них резервирована;

аппаратуру (стойку) управления отображением (СУО). Эту стойку в комплекте две, каждая из них резервирована;

контрольный индикатор с пультом управления, расположенным на тележке (КИ), а также две стойки питания (СП), одна из них резервная.

От полукомплектов аппаратуры информация поступает на индикаторные устройства через панели коммутации сигналов ПКС. Через них также идут команды диспетчера, вводимые с пульта ввода данных ПВД.

Типовой комплект АО обеспечивает контроль и УВД с двух пультов (например, ДПП и ДПСР-круг), а также воспроизведение изображения на резервном ИУ рабочего места диспетчера (рис. 12.16)

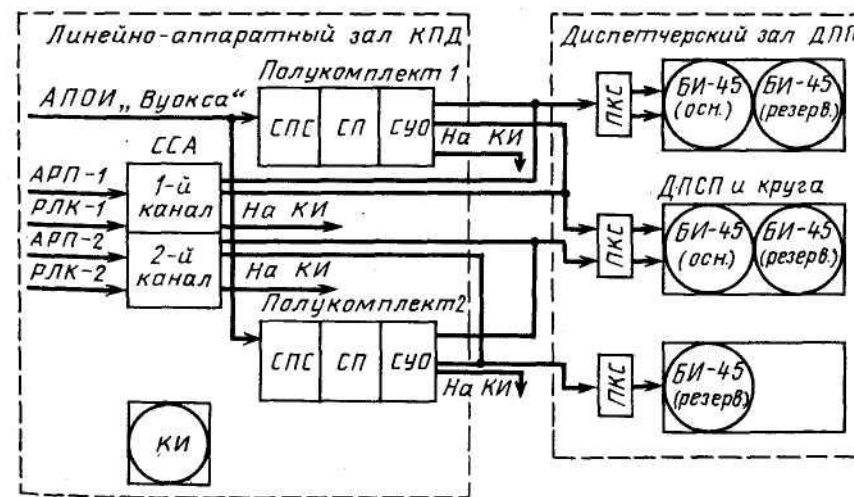


Рис. 12.15. Структурная схема комплекта АО «Символ-Д»

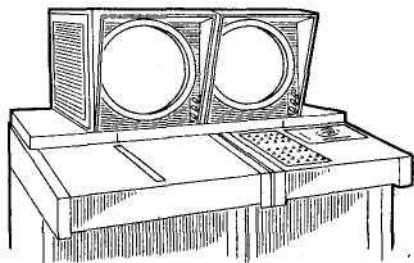


Рис. 12.16. Индивидуальная аппаратура рабочего места диспетчера («Сим-вол-Д»)

каждого рабочего места. Возможно также отображение информации для просмотра на третьем рабочем месте. Число используемых комплектов АО зависит от числа обеспечиваемых секторов УВД, т. е. и от числа рабочих мест.

Стойка ССА выполняет функции:

- сопряжения АО с двумя различными или однотипными РЛС или двумя АРП;
- формирования принятых видеосигналов от ПРК— пассивного и после СДЦ-обработки, а также активного сигнала от ВРК;
- приема угловой информации о положении антенн РЛС и АРП и формирования напряжений радиально-круговой развертки для ИКО;
- формирования меток азимута и дальности;
- выработки управляющих сигналов для стоек СУО и СПС;
- передачи принятой от РЛС и АРП информации на стойки ССА других комплектов аппаратуры;
- выработки имитационных сигналов для контроля работы АО.

ССА имеет два самостоятельных канала сопряжения с РЛС или АРП, которые резервируются и контролируются самостоятельно. Для этого каждый из каналов имеет два идентичных комплекта аппаратуры, соединенных параллельно по входу и выходу. Второй комплект является резервным и при работе АО включен.

СПС получает обработанную цифровую координатную и полетную информацию (ЦКИ и ПИ) от АПОИ «Вуокса» и решает следующие задачи:

- прием и запоминание ЦКИ и ПИ, а также дополнительной информации (ДИ), введенной с пульта ввода данных (ПВД) и от ДПК;
- привязку ПИ и ДИ к координатам ВС автоматически или вручную (с помощью маркера), т.е. осуществление ввода в сопровождение и формирование информации в ФС;

формирование зон автовода ВС в сопровождение (в плане и по высоте) в соответствующих секторах;

сопровождение формулярами координатных символов путем сравнения БН, полученного в текущем обзоре и находящегося в ФС, т. е. в памяти;

256

с целью просмотра (без возможности осуществления воздействия на эту информацию). Так, на пульте диспетчера круга может просматриваться информация с пульта диспетчера подхода, а на пульте диспетчера посадки с пульта диспетчера круга. Комплект имеет семь стоек — одну общую для всей аппаратуры стойку ССА с двумя одинаковыми подканалами и два полукомплекта по три стойки (СПС, СУО и СИ) для

регенерацию всей совмещенной информации (СИ) и следов движения координатных символов за три обзора и выдачу информации на СУО;

формирование и регенерацию координатных символов несопровождаемых ВС (полученных после обработки аналоговых координат от ПРК и ВРК), а также их следов и выдачу кодов СИ на СУО;

управление частотой регенерации;

выделение информации о ВС терпящих бедствие и о ВС, информация о которых не обновляется три и более обзоров;

автосброс сопровождения при необновлении информации в течение 12...14 обзоров.

Стойка памяти и сопровождения обслуживает одно рабочее место диспетчера. В СПС — два идентичных канала, образующих основной и резервный каналы. Последний при работе также включен.

В стойке управления отображением (СУО) вырабатываются и формируются сигналы управления СПС и устройствами, расположенными в СУО: генератором символов, генератором электронной карты, формирователем навигационных пунктов, измерителем интервалов дальности и схемой тестового контроля. СУО обслуживает одно рабочее место и может выдавать информацию на второе РМ.

Стойка СУО обеспечивает выполнение следующих операций:

- опроса ССА, приема кодов СИ и преобразование их в напряжения развертки луча ЭЛТ индикатора для отображения условных отметок ВС, выработки напряжений для росписи символов и напряжений подсветки луча;
- совмещения координат ВС, полученных при обработке информации от ПРК и ВРК;

формирования напряжений росписи электронной карты и векторов-связок;

формирования сигналов для изменения масштаба координатной информации, обеспечивающей масштабы 50, 100 и 200 км, а также 100, 200 и 400 км;

формирования символа маркера;

формирования навигационных символов (до 15) и напряжений для их отображения, а также выбора одного из четырех символов для их обозначения;

подготовки сигналов к трансляции на два рабочих места;

формирования контрольных сигналов.

СУО резервирована второй стойкой.

В аппаратном зале имеется также контрольный индикатор с панелью коммутации сигналов, блоком ввода данных и блоком питания, который расположен на тележке. При наличии более одного сектора подхода, а также при получении РЛИ от РЛС другого типа на КДП устанавливается дополнительный комплект аппаратуры АО.

Индивидуальная аппаратура располагается в диспетчерском зале. На рабочем месте диспетчера устанавливают два индикаторных устройства БИ-45, тех же, что используется в АО «Знак». Информация на ИУ

поступает через панель коммутации сигналов (ПКС). Индикаторное устройство устанавливается на типовых пультах «Пульт-1» или «Пульт-2». На столе пульта размещается панель управления режимами отображения — пульт ввода данных (ПВД) и датчик прямоугольных координат (ДПК). В пульте размещаются панель коммутации сигналов (ПКС), идущих на ИУ, и переключения сигналов, получаемых от ПВД. Все устройства и платы для УВД располагаются на столах пультов у одного из ИУ. Напряжения разверток лучей ЭЛТ, необходимые для создания совмещенного изображения, подаются от СУО.

Плата ввода данных для управления ВД имеет клавиши, сгруппированные по функциональным признакам:

эшелонатора для записи заданных эшелонов полета от 900 до 6000 м, а также высот полета по кругу;

управления резервным каналом отображения, получения информации той или иной РЛС, смещения центра изображения, установки одной из двух схем посадки, смены масштаба работы ИУ, сброса ЦБИ;

набора букв русского и латинского алфавитов;

выбора алфавита, установки радиотелефонного позывного, наименования аэропорта назначения;

цифронабирателя;

управления отображением БН и ТИ, выбором режима видеосигналов, смещения ФС, управления автовводом, выделения аналоговых отметок от ВРЛС, изменения информации в ФС;

«Конец обращения», нажимаемая после выполнения некоторой операции на ПВД.

Виды отображаемой информации и методы ее воспроизведения. На экране ИУ модель обстановки УВД отображается следующим набором знаков, символов и линий:

аналоговых РЛ-отметок ВС от ПРК или ВРК;

условных (синтетические) символов отметок координат ВС после цифровой обработки информации от ПРК и ВРК;

буквенно-цифровых знаков, объединенных в формуляры сопровождения (ФС);

векторов-связок, соединяющих ФС и символы координат ВС;

линий электронной карты и символы радионавигационных точек, отображающие модель условий УВД;

микротабло ожидания для контрольной записи номера борта ВС в режиме автоввода в сопровождение по номеру борта;

цифровых значений дальности после измерения расстояния между двумя маркируемыми точками на экране.

Аналоговая координатная информация воспроизводится с частотой обзора РЛК- Знаки, символы, линии в модели воспроизводятся векторно-функциональными методами. Непрерывность наличия синтетической информационной модели обеспечивается методом видеокompрессии, частота регенерации информации 12,5...50 Гц. Воспроизведение координатной

и цифро-буквенной информации раздельное, координатной — на прямом ходу луча ЭЛТ, а знаковой и картографической — на обратном ходу. Для воспроизведения направления движения ВС генерируются дополнительные условные отметки, которые воспроизводятся в виде трех убывающих по яркости точек. Всего на экране может быть отображено 16,32 или 64 синтетических отметки в зависимости от частоты регенерации координатных символов 50, 25 или 12,5 Гц.

ФС имеет 15 знакомест в двух строчках. Размеры знаков плавно регулируются от 2Х3 мм до 4Х6 мм. Формуляры сопровождения могут иметь следующие объемы информации: полный — двухстрочный, сокращенный до первой строки и сокращенный до номера канала АС. При первичном вводе в АС ФС отображается полным. Приведем виды полных ФС:

а) ФС с текущей высотой, измеренной по давлению 760 мм рт. ст.:

```
8 5 4 1 2 1 0
5 7 0 В Н 5 1
```

Здесь 10 — условный номер ФС; 570 — текущая высота в десятках метров; ВН — аэропорт назначения; 51 — заданный эшелон в сотнях метров;

б) ФС с текущей высотой, измеренной по давлению на аэродроме:

```
8 5 4 1 2 1 0
A 0 6 0 — 0 9
```

Здесь фигурной скобкой отмечено: "не введен аэропорт назначения"; 09 — заданная высота в сотнях метров;

в) ФС при нажатой клавише «Топливо»:

```
3 5 4 1 2 1 0
8 5 % В Н 0 9
```

ФС отображается в одном из четырех положений: слева—внизу, слева—вверху, справа—внизу или справа—вверху от отметки. После получения в режиме «УВД» сигнала «Авария» ФС всегда отображается двухстрочным с буквами БД в начале первой строки. ФС чередуется с частотой 0,3 Гц с кодом БН, поэтому представляется мигающим.

В режиме «УВД» 15-й ФС используется в случае бедствия с несопровождением ВС при занятости остальных 14 каналов. При поступлении в режиме «RBS» одного из сигналов «Бедствие», «Нападение», «Потеря радиосвязи» они отображаются в дополнительном 15-м ФС буквами БД, НП, РС на первых местах первой строки, чередуясь с кодом БН. Этот ФС привязывается к координатной отметке ВС, терпящего бедствие. Сброс 15-го ФС производится вручную.

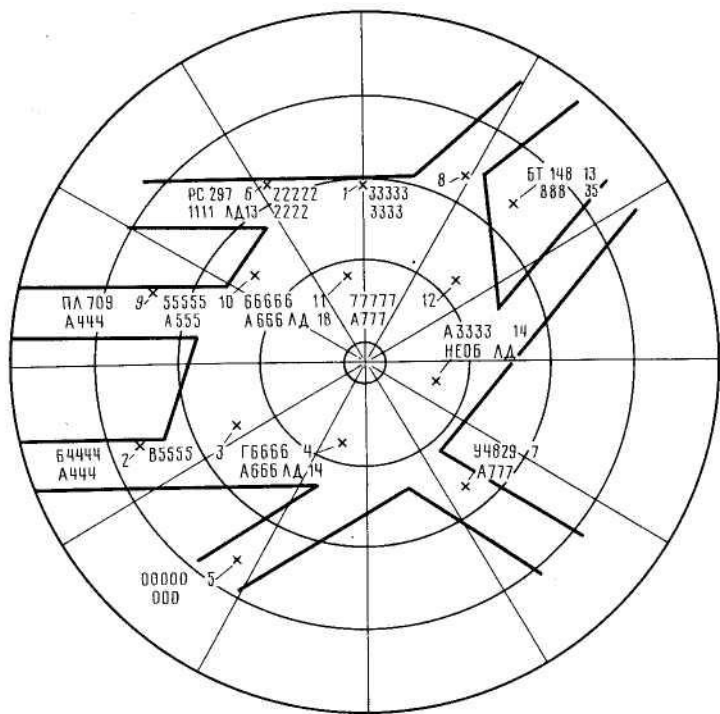


Рис. 12.17. Примерное изображение экрана ИКО АО «Символ-Д»

При необновлении информации ФС в трех обзорах ФС перестает сопровождать координатную отметку и в нем, вначале второй строки воспроизводится слово «НЕОБ», чередующееся с последним значением высоты. При непоступлении информации в течение 12 обзоров ФС автоматически сбрасывается. При обращении к ФС с ПВД номер канала АС в формуляре начинает мигать. Мигание прекращается с концом операций на ПВД. При ошибке в последовательности выполнения операций на ПВД вырабатывается сигнал ошибки, по которому в первой строке ФС появляется слово «ОШИБ».

Микротабло (МТ) имеет 14 строк по 7 знакомест и предназначено для записи БН, которые будут вводиться в АС по известному бортовому номеру. До введения БН в строках записаны номера свободных формуляров. Информация в МТ стирается при ее переходе в АС. Это происходит после входа в зону действия ВРЛ. Место расположения микротабло устанавливается неоперативно в СУО.

Точность установки линий и символов не хуже $0,1^\circ$ по азимуту и 0,8 мм по дальности.

Маркер перемещается с помощью ДК и служит для ввода ФС в АС и измерения дальности между двумя точками на экране. Маркер

высвечивается точкой после нажатия клавиши «Маркер» на панели ДК. Дальность измеряется путем передвижения маркера между двумя отметками. Значение измеренной дальности отображается тремя цифрами около маркера, перемещающимися вместе с ним. На рис. 12.17 приведено примерное изображение экрана ИКО АО «Сим-вол-Д».

Аппаратура обеспечивает три режима автовода в АО.

1. Ввод «в объеме». Ввод в АС производится автоматически при входе ВС в зону автовода, имеющую строго определенные размеры в плане и по высоте, и максимально приближенную к границам зоны управления. В аппаратуре сравниваются координаты ВС в двух соседних обзорах. Выдача новой информации на отображение разрешается в случае, если новые координаты ВС находятся в пределах формируемых в плане и по высоте стробов вокруг координат X и Y (в плане) и в установленном высотном слое. Размер стороны строба 12,6 км, а высотного слоя ± 400 м.

2. Ввод «по номеру борта». Ввод производится вручную, путем ввода БН в аппаратуру с помощью цифронабирателя. Введенный БН отображается в МТ, на котором проверяется правильность ввода.

3. Ввод с помощью ДПК. Выполняется вручную, для чего высвечивается маркер, который подводится к вторичной РЛ-отметке. Маркер находится в центре строба, его размер устанавливается в стойке СПС тумблером. Стороны квадрата строба 6 или 12 км.

12.8. Аппаратура отображения информации «Строка-Б»—«Страница»

Аппаратура предназначена для обеспечения УВД диспетчерами РЦ, ДПП, ДПК и ДПСР в аэропортах со средней интенсивностью воздушного движения. Она используется вместе с изделием «Строка-Б». Это позволило значительно увеличить объем отображаемой информации, получаемой от вторичных каналов средств наблюдения, что привело к повышению пропускной способности ВП контролируемого района и повышению безопасности полетов.

АО «Строка-Б»—«Страница» сопрягается со всеми типами диспетчерских РЛС, имеющих первичные и вторичные каналы, а также с трассовыми РЛС «Скала» и П-37, работающими совместно с ВРЛС «Корень-АС». Аппаратура может также сопрягаться с АРП и посадочными РЛС типа РПЗГ, РП4Г.

Для первичной обработки информации в комплекс включается АПОИ «Вуокса», на которую подается аналоговая информация (видеосигналы) от ВРК — координатная (АКИ) и полетная (ПИ). При сопряжении АО с РЛС или РЛК, у которых информация об угловом положении антенны передается синусно-косинусными напряжениями, в состав комплекса встраивается аппаратура преобразования

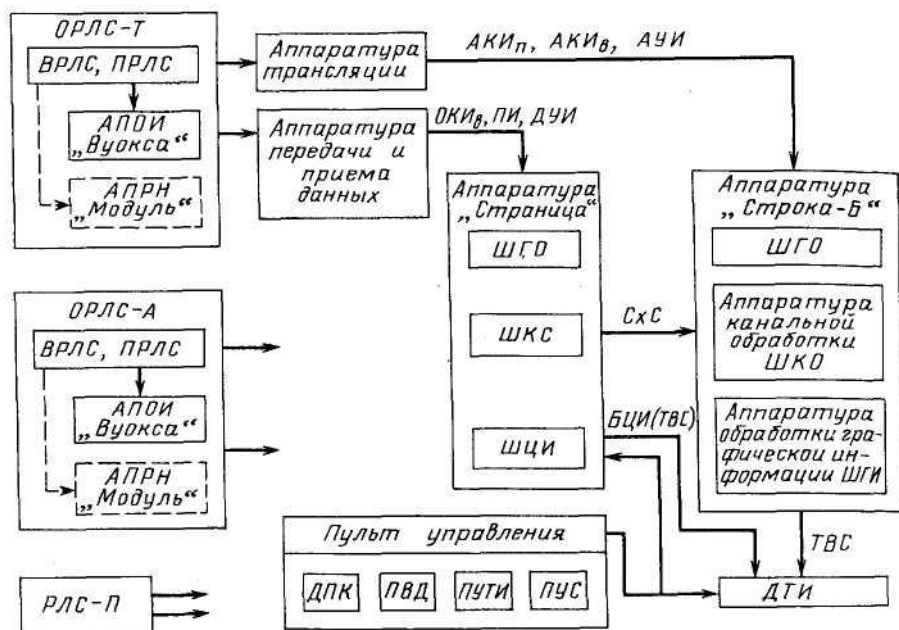


Рис. 12.18. Структурная схема АО «Строка-Б» — «Страница»: ИЗ — импульс запуска; АКИ_в — аналоговая координатная информация от ВРЛ; ПИ — полетная информация; АУИ — аналоговая угловая информация; АКИ_п — аналоговая координатная информация от ПРЛС; ОКИ — обработанная (цифровая) координатная информация; ДУИ — дискретная угловая информация; СхС — синхросигнал; БЦИ — буквенно-цифровая информация; ТВС — телевизионные сигналы

напряжений разверток «Модуль», которая формирует импульс «Север» и две серии малых азимутальных импульсов, несущих информацию об угловом положении антенны.

Аппаратура позволяет: формировать модель обстановки УВД, включающую совмещенную координатную, полетную, дополнительную и картографическую информацию; снабжать информацией до 6 диспетчерских рабочих мест; осуществлять на экране индикатора идентификацию совмещенных координатных отметок и полетной информации; иметь в автосопровождении до 21 цели; контролировать движение ВС, их текущую высоту полета и запас топлива.

Устройство и функционирование АО. АО (рис. 12.18) состоит из аппаратуры «Страница» и аппаратуры «Строка-Б». Основное назначение аппаратуры «Страница»: выработка телевизионных видеосигналов для отображения получаемой от АПОИ «Вуокса» дискретной координатной, полетной информации и информации, вводимой диспетчером с его рабочего места; преобразование поступающей от ПРК и АРП аналоговой координатной информации в ТВ-сигналы; воспроизведение на диспетчерских телевизионных индикаторах ДТИ

аппаратуры «Строка-Б» совмещенного изображения — модели обстановки УВД, включающей также картографическую и текстовую информацию, получаемую от ШГИ АО «Строка-Б».

Аппаратура «Страница» состоит из шкафа группового оборудования ШГО, в который входят шкаф коммутации и синхронизации ШКС и шкафы цифровой информации ШЦИ. В ШГО информация, получаемая от вторичного канала, разделяется так: о номере борта, о высоте и остатке топлива, о координатах цели. ШГО обеспечивает распределение информации от АПОИ по ШЦИ и формирует сигналы наличия координат ВС и зоны автоввода в плане и по высоте. Кроме того, в ШГО формируются сигналы и сообщения для автоматического контроля аппаратуры. Один ШГО обеспечивает работу 8 рабочих мест диспетчеров. При большем их числе необходимы два ШГО.

ШЦИ является основным структурным элементом АО, один комплект аппаратуры может включать 4... 15 ШЦИ. Каждый ШЦИ обслуживает одно рабочее место диспетчера. В ШЦИ обрабатывается координатная (ЦИ) и полетная (ПИ) информация, поступающая от АПОИ, а также вводимая диспетчерами с помощью ПВД и ДК с пульта управления. Производятся идентификация и привязка ЦКИ и ПИ, принадлежащей одному ВС, т. е. ввод ВС в автосопровождение. Привязка возобновляется по данным каждого обзора ВРЛС и таким образом осуществляется автосопровождение.

В ШЦИ по кодам ПИ, полученным от АПОИ, и дополнительной информации, введенной с пульта управления, формируются ФС, которые затем так же, как и координаты ВС, преобразуются в команды выработки телевизионных сигналов (ТВС) подсветки отметок целей и знаков в ФС.

ШКС — один на любую комплектацию АО. В нем вырабатываются сигналы синхронизации (СхС), обеспечивающие совместную работу аппаратуры «Страница» и аппаратуры «Строка-Б». Здесь же вырабатываются сигналы резервирования аппаратуры комплекса. ШКС распределяет ТВС по соответствующим диспетчерским индикаторам ДТИ, а также информационные коды и коды управления (введенные с ПВД) по необходимым ШЦИ.

Пульты управления с размещенными на нем диспетчерскими телевизионными индикаторами относятся к аппаратуре «Страница». На них расположены устройства и органы непосредственного УВД, такие, как ПВД, ДК, платы управления связью (ПУС) и плата управления телевизионным изображением. Сопряжение аппаратуры «Страница» и «Строка-Б» показано на рис. 12.19.

Информация, отображаемая в модели обстановки УВД. Модель содержит координатную, буквенно-цифровую полетную и картографическую информацию. Аналоговая координатная информация в виде телевизионных сигналов подсветки экрана индикатора поступает из шкафа канального оборудования «Строка-Б», картографическая информация идет также из аппаратуры «Строка-Б» от шкафа графической информации. Синтетическая информация в виде букв,

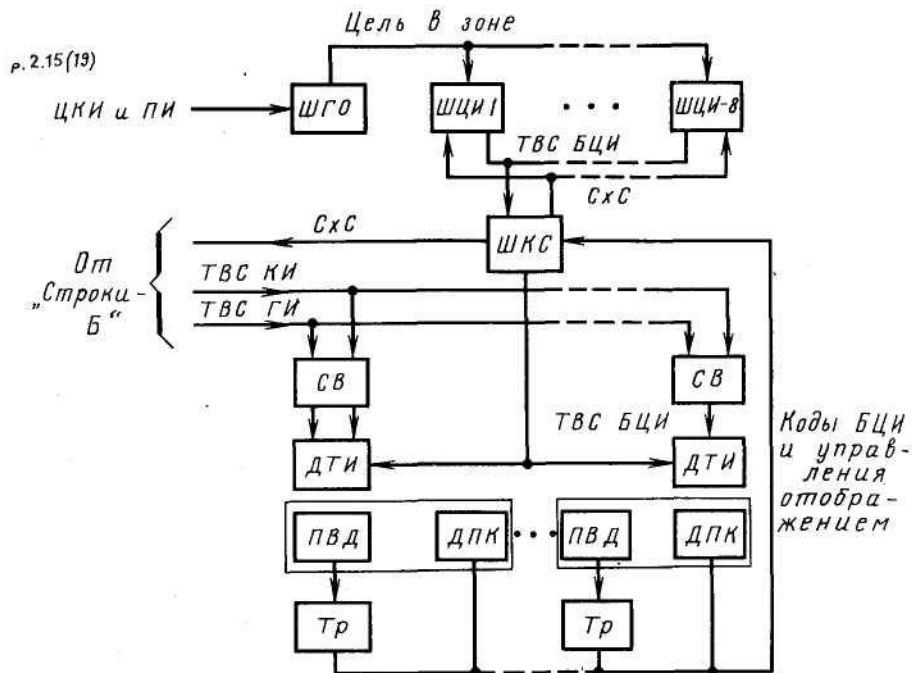


Рис. 12.19. Структурная схема сопряжения аппаратуры «Страница» и «Строка-Б»: ЦКИ и ПИ — цифровая кодовая и полетная информация; СхС — синхросигналы; ТВС БЦИ — телевизионные сигналы буквенно-цифровой информации; ТВС КИ и ТВС ГИ — телевизионные сигналы координатной и графической информации; Тр — транслятор; СВ — смеситель видеосигналов; СхС — синхросигналы; ТВС КИ (ГИ, БЦИ) — телевизионные видеосигналы координатной, графической и буквенно-цифровой информации

цифр, символов (отметки, знаки, векторы) поступает из ШЦИ аппаратуры «Страница», буквенно-цифровая информация представляется ФС, микротабло (МТ) и списком потерь (СП).

ФС — двухстрочный, имеет 16 знакомест, может размещаться справа, слева, ниже или выше символа отметки ВС и передвигается вместе с ней. При первоначальном вводе ФС всегда полный. Приведем различные виды полных ФС:

а) ФС с высотой измеренной по давлению 760 мм рт. ст.:

```
8 5 4 1 2 . 0 2   8 5 4 1 2 . 0 2
1 1 4 0 . 1 1 4   9 6 0 . 9 6
```

Здесь 02 — условный номер ФС; 1140 — текущая высота в десятках метров; 114 — заданный эшелон в сотнях метров; 960 — текущая высота в десятках метров; 96 — заданный эшелон в сотнях метров; знак точка ставится, если высота измерена по давлению 760 мм. рт. ст.

б) ФС с высотой, измеренной по давлению, отличающемуся от 760 мм рт. ст.:

```
8 5 4 1 2 . 0 2
A 0 9 0 . . 8 6
```

Здесь 86 — заданная высота в сотнях метров; 090 — текущая высота полета в десятках метров; А — высота, измеренная по давлению аэродрома;

в) ФС при нажатой клавише «Т» (с вспомогательной информацией и без нее):

```
8 5 4 1 2 . 0 2   8 5 4 1 2 . 0 2
5 0 . 3 3 1 1 4   5 0 . 1 1 4
```

Здесь 50 — остаток топлива; 33 — введенная диспетчером служебная информация; 114 — заданный эшелон в сотнях метров; — — отсутствие служебной информации;

г) ФС, сокращенный до первой смысловой строки:

```
8 5 4 1 2 . 0 2
```

д) ФС, сокращенный до условного номера канала сопровождения

```
0 2
```

Полнотой ФС управляет диспетчер, ФС может быть сокращен до условного номера канала АС. При работе ответчика в режиме «RBS» на первом месте первой строки отображается ноль. При длительном необновлении информации (более 3 обзоров) ФС отображается на том же месте, где он был при последнем поступлении информации. При срыве АС вторая строка ФС мерцает. При нахождении ВС вне зоны ответственности отображения ФС производится на микрорастре.

Возможны следующие методы отображения:

полярность изображения координатных отметок и ФС одинакова как при позитивном, так и при негативном способе воспроизведения, т. е. светлые отметки и знаки на темном фоне или темные на светлом фоне;

полярность изображения отметок и знаков ФС противоположна, т. е. темные отметки на светлом фоне и светлые знаки ФС на темном растре.

Микротабло имеет 21 строку, из которых заполнено может быть не более 7. Для отображения МТ выбирается одно из восьми возможных мест на экране. Микротабло представляет собой список из семи строк, в котором в начале отображаются только номера свободных каналов АС. При обращении к МТ на номере строки обращения возникает микрорастр и воспроизводится набранный диспетчером БН.

СП записывается левее МГ в виде списка однострочных формуляров, которых может быть до 7. В этот список диспетчер заносит опознавательную информацию о тех ВС, от которых не поступала

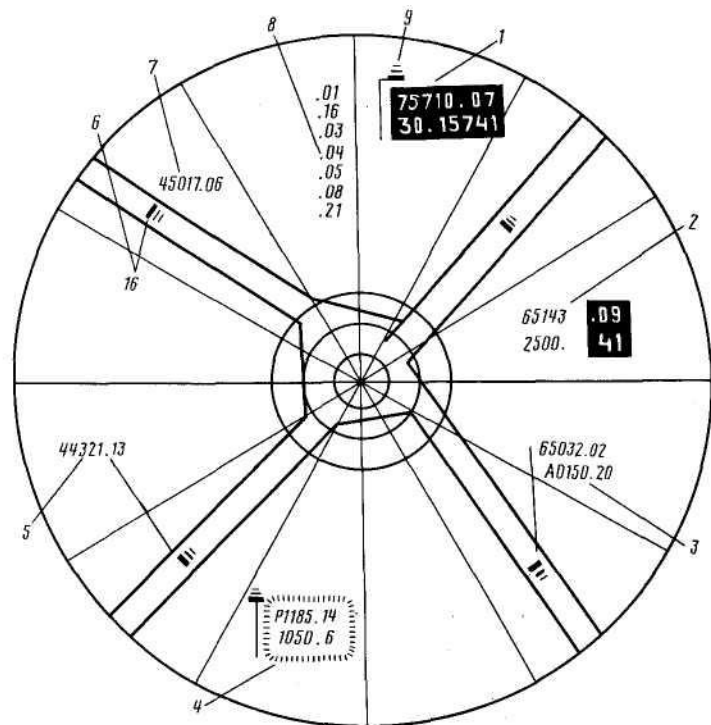


Рис. 12.20. Примерный вид изображения экрана ДТИ АО «Строка-Б» — «Страница»: 1 — ФС самолета вне зоны ответственности; 2 — ФС при обращении с ПВД по условному номеру канала АС; 3 — полный ФС; 4 — ФС при бедствии отечественного ВС (мерцает); 5 — ФС, сокращенный до строки; 6 — ФС, сокращенный до условного номера; 7 — список потерь; 8 — микротабло формуляров; 9 — отметка ВС, след отметки и вектор-указатель

информация от ВРК за время более чем трех обзоров. Решение о записи принимает диспетчер.

Примерный вид изображения на экране ДТИ приведен на рис. 12.20, на рис. 12.21 — экран индикатора посадки.

Аппаратура обеспечивает четыре режима ввода ВС в АС. «В объеме» — это основной режим. Ввод в АС в этом случае происходит автоматически при входе в зону автоввода, границы которой в пространстве устанавливаются в ШЦИ неоперативно по особой методике. АС прекращается после выхода из этой зоны. На рабочем месте могут быть установлены две такие зоны.

Режим «Все», при котором при наличии свободных каналов сопровождения после нажатия клавиши ввода в АС берутся все ВС, обнаруживаемые ВРЛС в зоне, ограниченной растром аппаратуры отображения. Режим предназначен для получения информации о ВС, находящихся в смежных районах.

Ввод по номеру борта осуществляется вручную с ПВД вызовом МТ и записыванием БН в его свободную строку. При переходе к АС следует нажать клавишу «Конец обращения». Этот вид ввода предназначен для контроля за движением ВС, интересующего диспетчера.

Ввод с помощью ДК вручную путем подведения маркера вращением шара к аналоговой отметке ВС. Ввод в АС совершится после прохождения отметки лучом ЭЛТ при его развертке, а маркер после этого вернется в исходное положение.

На пульте ввода данных размещены несколько групп клавиш. Для установки заданных эшелонов полета используются клавиши «Эшелонатор». С их помощью может устанавливаться высота 900... 12000 м. Другие группы клавиш предназначены для смещения

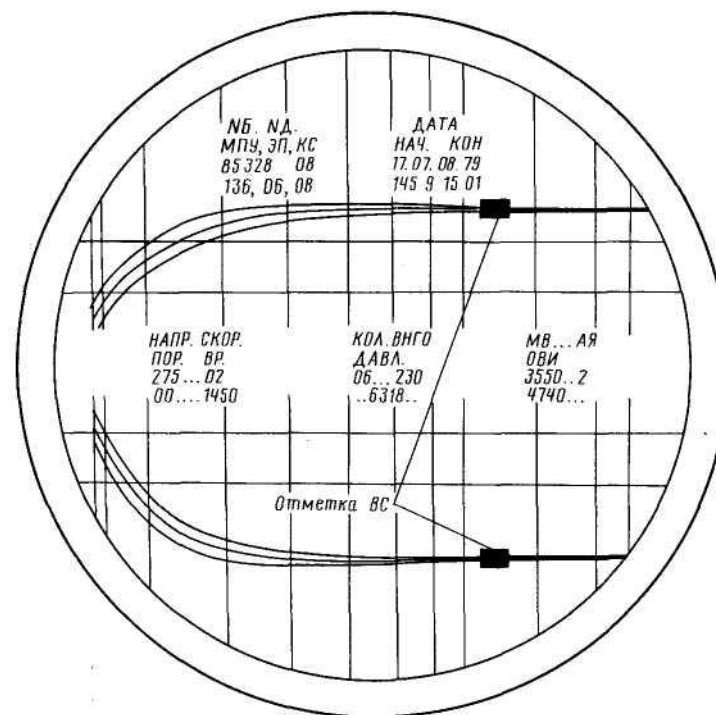


Рис. 12.21. Примерный вид изображения экрана ДТИ посадки АО «Строка-Б» — «Страница»:

НБ — номер борта; НД — личный номер диспетчера; МПУ — магнитный путевой угол; ЭП — эшелон перехода; КС — коэффициент сцепления; дата — день, месяц, год; нач. кон. — время наблюдения метеоданных; напр. — направление ветра; скор. — скорость ветра; Пор — порывы ветра; Вр — время; кол. — количество облаков в баллах; ВНГО — высота нижней границы облаков; МВ — метеорологическая видимость на ВПП; АЯ — атмосферные явления; ОВИ — видимость огней высокой интенсивности

центра изображения, выбора первой или второй зон автовода «В объеме», подключения к рабочему месту резервного ШЦИ при отказе основного. Для управления воспроизведением БЦИ имеется группа клавиш цифронабирателя. В этой группе установлены клавиши букв: Р и Т, точки (•) и радиотелефонного позывного ВС. Имеется также группа клавиш управления видом, объемом и режимом отображения информации, вводом в сопровождение, положением ФС и отметки ВС, вводом информации в ФС и переводом ее из ФС в СП и сбросом информации.

Для установки наиболее часто встречающихся высот круга (400 и 600 м) имеются специальные клавиши. При окончании операции нажимают на клавишу «Конец обращения». Органы управления датчика координат такие же, как у АО «Знак».

Для управления качеством отображения на передней панели ДТИ расположены необходимые органы управления. На пульте управления имеются также панели: управления режимом работы источников информации (Актив, Пассив, СДЦ, Смешанный), телефонной и радиосвязи с ВС и смежными пунктами УВД, а также для проверки работоспособности аппаратуры.

Аппаратура «Страница» выполнена на современных твердотельных интегральных схемах, установленных на платах, с использованием технологии печатного монтажа. Платы укреплены в кассетах, а кассеты установлены в шкафах, что обеспечивает высокую надежность и ремонтоспособность. Нарботка на отказ для оборудования одного места не менее 1000 ч. Отказом считается отсутствие или искажение в воспроизведении двух и более ФС в течение более чем 20 с или отображение в течение этого же времени ФС вне связи с координатами отметками. Отказом комплекта «Страница» является случай, когда после обнаружения отказа за время трех обзоров не может быть представлено резервное оборудование. Соответствие «Страницы» требованиям ТУ гарантируется в течение 8000 ч на протяжении 4 лет эксплуатации. Технический ресурс изделия «Страница» до списания составляет 60 000 ч наработки в течение 10 лет эксплуатации. «Страница» имеет встроенную систему автоматического контроля для оперативного контроля работоспособности изделия, которая осуществляет: контроль прохождения информации, диагностику состояния отдельных устройств, поиск места неисправностей.

12.9. Аппаратура отображения информации «Строка-2»

АО «Строка-2» разрабатывалась одновременно с АО «Строка-Б» — «Страница» как более совершенный вариант аппаратуры ТВ-отображения, предназначенный для эксплуатации на рабочих местах РП, ДПП, ДПК и ДПСВ в аэропортах со средней ИВД.

Кроме того, аппаратура может использоваться на рабочих местах метеорологов.

АО «Строка-2» сопрягается практически со всеми типами трассовых и аэродромных РЛС, с ВРЛС «Корень-АС», с АРП-6, -7с и -75, с посадочными РЛС фирмы «Тесла», а также с системами РСБН-2н, -4н, и, кроме того, с аппаратурой индикации метеообстановки, и диспетчерских данных «Табло». На радиолокационной позиции для обработки координатной и полетной информации, получаемой от первичных и вторичных каналов РЛС, и представления ее в цифровом виде устанавливается АПОИ «Вуокса», а при использовании РЛС, выдающих угловую информацию в виде аналоговых синусно-косинусных напряжений, для ее преобразования в дискретную в виде последовательности малых азимутальных импульсов используется АПРН «Модуль». АО имеет диспетчерские индикаторы кругового обзора ДТИ-КО и посадочные ДТИ-П. Имеется также индикатор ДТИ-Р у диспетчера руления на АДП. На экранах ДТИ-КО воспроизводится следующая информация: картографическая, основой которой являются линии трасс и маршрутов; координатная от ПРЛС и от ВРЛС; полетная (буквенно-цифровая) от ВРЛС и введенная диспетчером; аналоговая пеленгационная, синтетическая метеорологическая и справочная диспетчерская.

На ДТИ-КО координатная информация воспроизводится в виде аналоговых и синтетических телевизионных отметок, а буквенно-цифровая в виде различного типа формуляров. Стандарт разложения изображения на ДТИ: 625 строк, 50 кадров/с, развертка череспериодная. Изображение возможно в режимах «Позитив» и «Негатив». АО обеспечивает автосопровождение до 21 ВС. Отображение БЦИ на экране ДТИ-КО аналогично ранее рассмотренному в АО «Строка-Б» — «Страница», так как в АО «Строка-2» использована та же аппаратура обработки БЦИ, что и в аппаратуре «Страница».

На ДТИ-П (посадки) отображается аналоговая координатная информация от посадочной РЛС, а также справочная цифровая метеорологическая и диспетчерская информация от аппаратуры «Табло» и вводимая диспетчером. Информация, отображаемая на ДТИ-П, фотодокументируется. На ДТИ-Р отображается информация о расположении ВС на стоянках (списки, в которых указываются номера стоянок и бортовые номера ВС, а также метеоинформация для экипажей). Для этого информация, записанная на бланках, устанавливается на АДП вручную в специальном устройстве АО, преобразующем эту информацию в ТВ-сигналы с помощью передающей ТВ-камеры.

При работе на пультах управления диспетчеры по изображениям на экранах ДТИ-КО РП, ДПП и ДПК могут опознавать отметки ВС, их ФС и контролировать взаимное положение ВС, текущую высоту полета, запас топлива, на экране ДТИ-П диспетчерского пункта старта и посадки выполнение ВС посадочной траектории с учетом информации

о метеобстановке и диспетчерских данных, отображенных на экране ДТИ-П.

Аппаратура отображения (рис. 12.22) имеет в своем составе групповое, каналное, выносное и контрольное оборудование.

Групповое оборудование включает: шкаф группового оборудования ШГО, шкаф сопряжения ШС, устройства коммутации информации УКИ. Шкаф ГО служит для формирования сигналов синхронизации всей аппаратуры (в том числе кадров и строк ТВ изображения) и развертывающих напряжений для работы блоков графekonного преобразования в канальном оборудовании. От источников информации в ШГО поступают: импульсы «Север» (С) и запуска от радиолокационной станции, видеосигналы станции ВС и угловая информация (УИ) о положении антенны.

В канальное оборудование входят: шкафы графekonного преобразования в каналах кругового обзора и в каналах посадки ШГП-КО и ШГП-П соответственно; шкафы формирования буквенно-цифровой информации ШЦИ, поступающей от АПОИ; шкаф электронной карты ШЭК; установки графической информации УГИ-КО и УГИ-П и шкаф фотодокументирования ШФД. В комплекте аппаратуры может быть не более 16 ШГП-КО и 4 ШГП-П. При большом числе ДТИ-КО в комплект аппаратуры может входить 2 ШГО. В ШГО схемы дублированы в целях резервирования аппаратуры. Шкаф сопряжения необходим для сопряжения ШЦИ с источниками информации через АПОИ «Вуокса». На ШС поступают: цифровая координатная информация КИ, полетная информация ПИ, импульс «Север», дискретная угловая информация МАИ — малые азимутальные

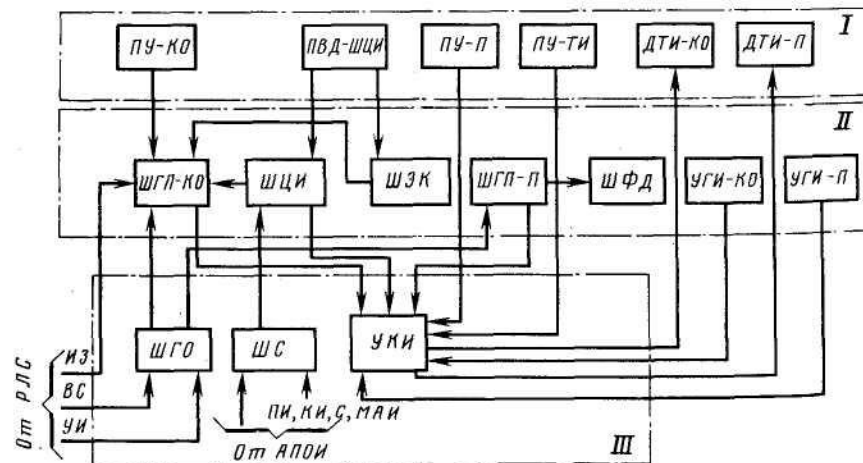


Рис. 12.22. Структурная схема АО «Строка-2»:
I — выносное оборудование; II — канальное оборудование; III — групповое оборудование

импульсы. УКИ коммутирует связи для передачи информации между ШГИ-КО, ШЦИ, ШГП-П и диспетчерскими индикаторами.

В шкафах ШГИ-КО и ШГП-П с помощью графekonных устройств происходят преобразование радиолокационных сигналов в телевизионные видеосигналы с временем запоминания 5...60 с и формирование сигналов подсвета для отображения аналоговых координатных отметок ВС (аналогичные шкафы ШГП-КО и ШГП-П использованы в АС УВД «Старт»).

Каждый ШГП может работать только с одним датчиком информации (РЛС, АРП, РСБН). Один ШГП может обслуживать несколько ДТИ. Для этого в ШГП производится размножение видеосигналов. Так, у ШГП-КО имеются четыре выхода, к каждому из которых может быть подключено до шести ДТИ-КО.

В ШЦИ формируется БЦИ в виде сигналов подсвета, посылаемых на ДТИ в нужные моменты времени. В аппаратуре «Строка-2» использован ШЦИ, ранее разработанный для аппаратуры отображения «Строка-Б» — «Страница», поэтому возможности АО «Строка-2» по созданию изображения аналогичны возможностям аппаратуры «Строка-Б5» — «Страница». Точность совмещения отметок ПРЛС и ВРЛС не хуже 5 мм. Ввод в АС автоматический: при входе в установленный объем, по введенному номеру, а также с помощью ДК.

В ШЭК вырабатываются электрические дискретные сигналы карты, которые подаются на записывающую сторону графekonа ШГИ-КО вместе с видеосигналами РЛС. Для воспроизведения карты генерируется до 60 линий. Исходные данные для работы ШЭК устанавливаются неоперативно в виде координат начала и конца отрезка линии и угла наклона линии на ДТИ-КО.

УГИ используются для получения с помощью передающей ТВ-трубки сигналов несущих графическую и метеорологическую информацию, передаваемую на рабочие места диспетчеров УВД, руления и метеонаблюдателей. Для каждой группы рабочих мест, которые должны располагать одной и той же графической информацией, имеется свое УГИ. Перед оптическим устройством передающей камеры на столе располагается освещаемый лампой блоке информацией размерами 250x250 мм или 650x650 мм. Первый с информацией, предназначенной для рабочих мест диспетчеров УВД и метеонаблюдателей, второй — со схемами стоянок и бортовыми номерами для диспетчеров руления.

Оборудование рабочих диспетчерских мест включает пульта управления, на которых расположены ДТИ-КО и ДТИ-П, а также панели, с помощью которых диспетчер управляет режимами работы аппаратуры, РЛС и отображением информации.

На рабочих местах имеются следующие панели: ПВД для ввода данных в ШЦИ, ПУ-КО для управления ШГП-КО и обзорной РЛС, ПУ-П для управления ШГП-П и посадочной РЛС, а также датчики прямоугольных координат. Для обслуживания ДТИ-П имеется

свой отдельный комплект аппаратуры с ШГИ-П, ШЦИ, УГИ-П и ШФД.

Вся аппаратура отображения резервирована. ШГП-КО, ШГП-П и ШЭК — двухканальные, т. е. в одном шкафу расположены два комплекта устройства, при работе второй комплект находится в нагруженном резерве. ШЦИ и ШФД — одноканальные, для резервирования имеются по два ШЦИ и ШФД.

Аппаратура имеет вполне удовлетворительные расчетные характеристики надежности. Нарботка аппаратуры на отказ канала кругового обзора 1570 ч, канала посадки 2850 ч. Среднее время восстановления 30 мин, ресурс 60 000 ч.

12.10. Аппаратура отображения информации «Строка-Ц»

Комплекс предназначен для отображения знаковой информации о модели обстановки УВД в диспетчерских районах РЦ ЕС УВД, в зонах подхода, взлета и посадки и на посадочной прямой при улучшенных по сравнению с АО «Строка-2» технико-экономических характеристиках. Это улучшение достигнуто вследствие:

более высокого качества телевизионного растрового изображения на экранах диспетчерских индикаторных устройств (ИУ);

расширения оперативных возможностей отображения путем увеличения объема отображаемой информации, в том числе путем введения, кроме обычного кругового (в плане), специальных изображений (табло), отображающих новый тип моделей ВО в виде вертикальных разрезов воздушного пространства на трассах полета и в коридорах подхода;

обеспечения более высоких надежностных характеристик, сокращения эксплуатационных расходов, увеличения гарантийного срока эксплуатации, уменьшения массовых и габаритных характеристик, а также сокращения эксплуатационных расходов.

Унифицированный комплекс отображения информации «Строка-Ц» может работать со всеми видами ОРЛС и ОРЛК, эксплуатируемых в службе УВД (кроме РП-5г, имеющей свою эффективную аппаратуру отображения); с радиопеленгаторами АРП-7с, АРП-7, АРП-80, со средствами ближней навигации РСБН-2Н и РСБН-4Н; с комплексными радиотехническими автоматическими метеорологическими станциями КРАМС-1 и КРАМС-2. Кроме того, имеются два датчика: даты и текущего времени (ДВТ). Один получает информацию от аппаратуры «Севан», связанной с системой единого времени, а другой — от внутреннего системного датчика.

Основные задачи КОИ:

формирование синтетической координатной и знаковой (полетной) информации о состоянии ВС, аналоговой координатной информации и графической информации;

масштабирование и смещение информации на экране, изменение размеров знаков, введение графической информации, изменение местоположения любых формуляров и другие преобразования информации;

автоматическое изображение линий пеленгов;

автоматизация ряда функций диспетчеров, например, отброс формуляров при их наложении и др.;

передача управления от РЦ в ДПП, от ДПП в ДПК от сектора к сектору;

ввод в сопровождение первичной и вторичной информации.

Ввод в сопровождение может быть осуществлен в четырех режимах для 31 ВС;

автоматический ввод в зону, ограниченную в плане и по высоте снизу и сверху или только сверху;

режим «Все» — ввод в сопровождение всех ВС при их входе в зону обзора РЛС. Может быть установлена граница ввода по высоте:

по бортовому номеру, набранному диспетчером на пульте ввода данных;

с помощью датчика координат при использовании маркера для определения вводимого в сопровождение ВС.

Зона автоввода в плане и по высоте устанавливается неоперативно. Выбор одной из зон производится оперативно. В групповом оборудовании величина строба по высоте и в плане определяется возможным перемещением цели за один обзор и вводится в аппаратуру группового оборудования во время пусконаладочных работ. При высоте снижения ВС менее 100 м происходит автоматический сброс сопровождения.

Структурная схема КОИ совместно с датчиками информации приведена на рис. 12.23. Основными частями КОИ являются: / — источники информации; // — групповое оборудование; /// — каналное оборудование; IV — оборудование РМ диспетчеров. Структурная схема КОИ («Строка-ЦП»), обеспечивающая управление посадкой, приведена на рис. 12.24. Эта часть КОИ комплектуется отдельно, так как поставляется не со всеми комплектами «Строки-Ц».

Групповое оборудование (ГО). Оно формирует информацию, передаваемую от различных датчиков и устройств в каналное оборудование (КО). КО предназначено для обработки информации, которая должна быть отображена на его индикаторных устройствах. Групповое оборудование располагается в двух шкафах: сопряжения информации (ШС) и собственно группового оборудования (ШГО). Это оборудование обеспечивает сопряжение с двумя ОРЛК-Т, двумя ОРЛК-А, двумя РСБН и двумя метеорологическими РЛС. От ШС информация поступает на аппаратуру документирования (АД). В состав аппаратуры входят следующие основные устройства:

устройства сопряжения (УС), устройство коммутации сигналов (УКС) основного и дополнительного каналов РЛИ, коммутатор видеосигналов, распределитель информации по рабочим местам (РИ РМ), блок анализа зон для определения принадлежности координат цели к объему автовода, формирователь суммарного индекса диспетчера (ФИД_Σ),

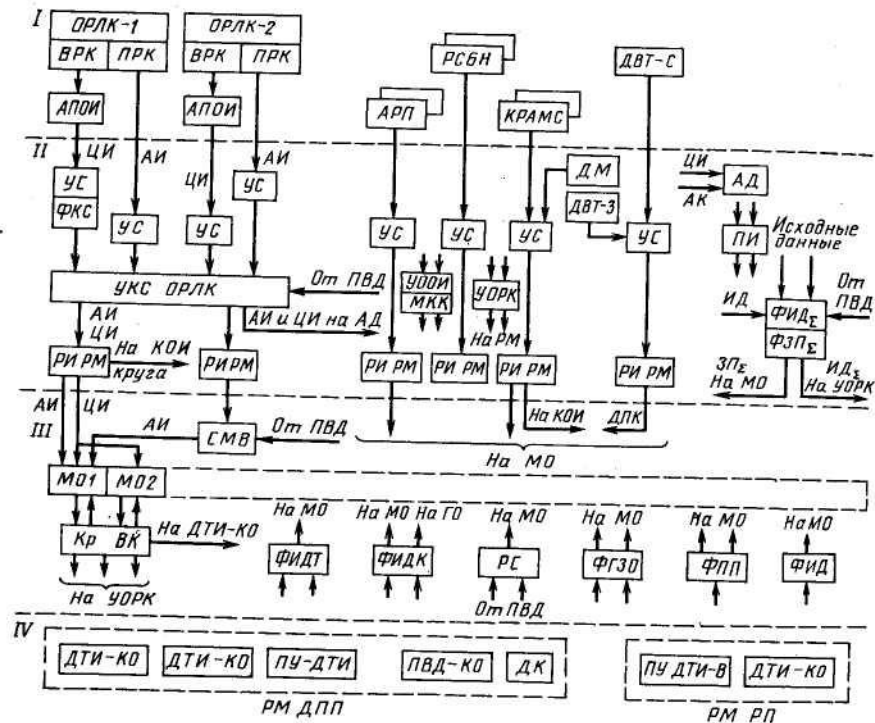


Рис. 12.23. Структурная схема КОИ «Строка-Ц»:

I — источники информации; II, III, и IV — групповое, каналное и диспетчерское оборудование соответственно; ОРЛК — обзорный РЛК; ВРК, ПРК — вторичный и первичный радиолокационные каналы; АРП — автоматический радиопеленгатор; РСБН — радиотехническая система ближней навигации; КРАМС — комплексная радиотехническая автоматическая метеостанция; ДВТ-С — датчик текущего времени от системы единого времени «Севан»; ДВТ-З — датчик (запасной) ввода времени от своей системы; РЛС-П — посадочная РЛС; УКС ОРЛК — устройство коммутации сигналов ОРЛК; АПОИ — аппаратура первичной обработки информации; ЦИ, АИ — цифровая и аналоговая информация; УС — устройство согласования; ФКС — формирователь контрольных сообщений; РИРМ — распределитель информации по рабочим местам; СМВ — смеситель видеосигналов; МО — модуль отображения; КрВК — коммутатор выбора основного и дополнительного каналов; РС — распределитель информации по стыку каналов; ФИДК — формирователь исходных данных карт; ФГЗО — формирователь границ зон ответственности РМ; ФПП и ФИД — формирователи признака зоны просмотра и индикатора диспетчера; УООИ — устройство организации обмена информацией; МКК — микрокомпьютерный комплекс; УОРК — устройство организации распределения каналов; ФИД_Σ — формирователь суммарного признака запрета; АД — аппаратура документирования; ДТИ — диспетчерский телевизионный индикатор; ПУ-ДТИ — панель ввода данных; ДК — датчик прямоугольных координат; ПУО — панель управления отображением

формирователь индекса запрета обработки регулярных переотражений (ФЗП₂) устройство организации резервирования каналов (УОРК), устройство организации обмена информацией (УООИ) с микрокомпьютерным комплексом (МКК), пульт инженера (ПИ) и руководителя полетов и датчики текущего времени (ДВТ).

Все датчики информации (кроме ДВТ) имеют УС, которые размещаются в ШС. Общей задачей для всех УС является преобразование выходных сигналов, получаемых от датчиков к виду, необходимому для функционирования аппаратуры КОИ. Так, аналоговые сигналы преобразуются по амплитуде и длительности, а цифровые коды формируются в сообщения вида, принятого при обработке информации в КОИ.

Оба ОРЛК работают одновременно. Один из них используется в качестве основного информационного канала для получения РЛИ от вторичного и первичного каналов, т. е. в цифровой и аналоговой форме, второй комплекс выдает только аналоговую информацию от первичного канала. Комплексы взаимозаменяемы и при необходимости переключаются с помощью коммутатора, которым управляют с пульта КОИ. Получаемая информация идет через УС, которые есть в каждом из каналов обоих ОРЛК, на устройство коммутации сообщений. Информация, поступающая от вторичного канала, до подачи на УС проходит обработку в АПОИ. Устройство коммутации сообщений обеспечивает перекрестную коммутацию всей информации. Это может потребоваться при отказе части распределителя, работающего с аналоговыми сигналами от второго ОРЛК. От УКС информация подается на распределитель ее по рабочим местам диспетчеров. Информация от основного канала обеспечивает получение основного изображения, аналоговая — дополнительного.

В системе имеется формирователь контрольных сообщений (ФКС), размещенный в УС ОРЛК1 и предназначенный для участия в тестировании и текущем контроле работоспособности КОИ. Эта работа выполняется по введенным в КОИ программам.

Формирователь признака запрета создает сигнал, запрещающий использование РЛИ, полученной из зон, дающих регулярные переотраженные сигналы. Сигналы ЗП формируются при совпадении

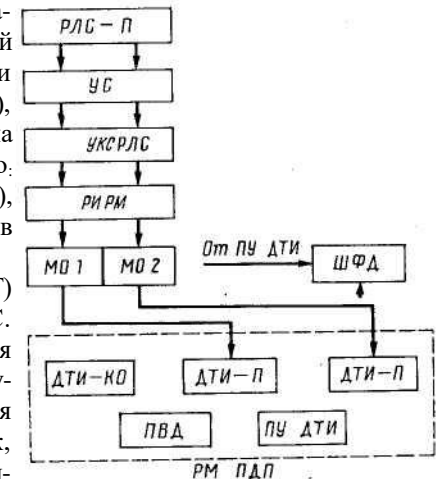


Рис. 12.24. Структурная схема КОИ «Строка-ЦП»

цифровых координат ВС с координатами зоны переотражений, введенных в КОИ неоперативно в период пусконаладочных работ. Эти зоны для некоторой местности постоянны.

Устройство организации обмена информацией организует передачу информации для управления ВС в других секторах. С помощью УООИ в канальное оборудование вводится также информация о временных ограничениях на полеты на некоторых участках трасс (сигнал «Режим»). УООИ взаимодействует с микрокомпьютерным комплексом, организующим обмен в режиме разделения времени, формирует временные интервалы, в которые абоненты (различные устройства и каналы обмена их соединяющие) могут передавать информацию по основным магистралям.

Устройство организации резервирования каналов УОРК распределяет на основные и резервные каналы информацию от различных магистралей, организует обмен информацией между РМ с помощью коммутаторов выбора каналов. УОРК распределяет также по всем каналам сигналы суммарного индекса диспетчеров (ИД), который определяет своим кодом в зоне управления какого РМ находится в данный момент ВС.

Пульт инженера предназначен для оперативного управления эксплуатацией аппаратуры комплекса. С него осуществляется резервирование датчиков информации, регистрируются неработающие каналы, производятся их замена и управление документированием.

Канальное оборудование (КО). Основным его назначением являются обработка поступающей от ГО информации и подготовка ее для отображения в виде модели обстановки УВД на различных ДТИ.

Канальное оборудование выполняет следующие основные функции:

формирование телевизионных сигналов и их отображение на различного типа ДТИ;

управление отображением и взаимодействием со смежным РМ диспетчеров;

предупреждение о снижении высоты ВС до безопасного минимума;

выдача информации о конфликтной ситуации (КС). Первичный сигнал о КС поступает в КОИ от аппаратуры «Документ».

Оборудование размещено в шкафах *ШКО*, каждый из которых обслуживает одно РМ.

Модель обстановки УВД может отображаться в двух видах: в плане как результат наблюдения при круговом обзоре и при вертикальных разрезах воздушного пространства на выбранных диспетчерами трассах и в воздушных коридорах.

Модули отображения (МО) являются в КО основными устройствами обработки информации. Каждое РМ обслуживается двумя МО. Модуль *МО1* обрабатывает информацию и формирует кодовый

телевизионный цифровой сигнал для создания изображения «в плане» на *ДТИ-КО*.

Модуль *МО2* формирует сигналы для изображения воздушной обстановки при вертикальных разрезах трасс и коридоров. Изображения вертикальных разрезов называются динамическими табло-эшелонаторами (ДТЭ). Они отображаются на индикаторах ДТИ-В. Кроме того, *МО2* формирует дополнительное аналоговое изображение «в плане» по информации от неосновного ОРЛК, которое может быть отображено на ДТИ-В или скоммутировано на основной индикатор по команде с пульта инженера. Информация для дополнительного изображения поступает через смеситель видеосигналов (*СмВС*) и в принципе может быть получена от любого из двух ОРЛК-В. *СмВС* с помощью коммутатора видеосигналов могут быть смешаны видеосигналы: активные, пассивные и пассивные СДЦ. Размещается *СмВС* в шкафу сопряжения ГО. Выбором вида сигнала управляет диспетчер.

В составе КОИ (в шкафу канального оборудования) имеются следующие формирователи: признака просмотра (ФПС), т. е. нахождения ВС в зоне просмотра; индекса диспетчера (ФИД), обозначающего нахождение ВС в зоне ответственности; исходных данных электронной карты схемы района управления (ФИДК); исходных данных конфигурации трасс (ФИДТ), а также формирователь сигналов границ зоны ответственности (ФГЗО) для каждого рабочего места.

Сигналы ПС и ИД получают в результате сравнения текущей координатной информации о ВС с ранее введенными оперативным путем сведениями о границах зон ответственности. Сигнал ПС идет на МО, а сигнал ИД — на ГО для формирования суммарного индекса диспетчера ИД₂. Отсюда же идет информация о границах зоны ответственности, подлежащих отображению на экране индикатора по команде диспетчера. Здесь же хранится информация о коде РМ, обслуживаемого данным каналом.

Исходные данные для карт и схем управления, а также конфигурации трасс после ввода диспетчером запоминаются и вводятся в МО после запроса данных для последующей их обработки и отображения.

На выходах первого МО формируются коды сигналов для изображения модели обстановки УВД на ДТИ в плане, на выходах второго МО — код для изображения динамического табло-эшелонатора. От обоих МО коды поступают в коммутатор выбора каналов информации для отображения, с помощью которого по команде диспетчера производится выбор информации от основного или дополнительного канала. Эти цифровые сигналы будут затем преобразованы в аналоговые видеосигналы для ДТИ в контроллере отображения. Информация, предназначенная для основного индикатора, идет также на распределитель, обеспечивающий этой информацией смежные каналы.

Кодовые последовательности команд и запросов идут с пульта диспетчера на МО через распределитель по стыку (РС).

Модули отображения располагаются в шкафах канального оборудования ШКО и состоят из трех блоков каждый (рис. 12.25): преобразования радиолокационной информации (БПРЛИ), обработки информации (БОИ) и контроллера отображения (БКО).

Блок преобразования радиолокационной информации представляет собой аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), на который поступают сигналы запуска, угловая информация и видеосигналы от ОРЛК, РЛС-П и АРП и других устройств.

Аналоговая РЛИ, т. е. видеосигналы от первичного канала ОРЛК или РЛС-П дискретизируются по времени и квантуются по интенсивности в устройстве, обозначенном ЯДК, где они фильтруются (производятся обнаружение сигналов и очистка их от несинхронных помех) и оцифровываются. Затем с помощью буферного запоминающего устройства (БЗУ) производится преобразование временного масштаба кодированных сигналов путем их компрессии (сжатия), т. е. записи и последующего регулярного считывания с большей, чем при записи, скоростью. Угловая информация от РЛС, поступившая в аналоговой форме, также

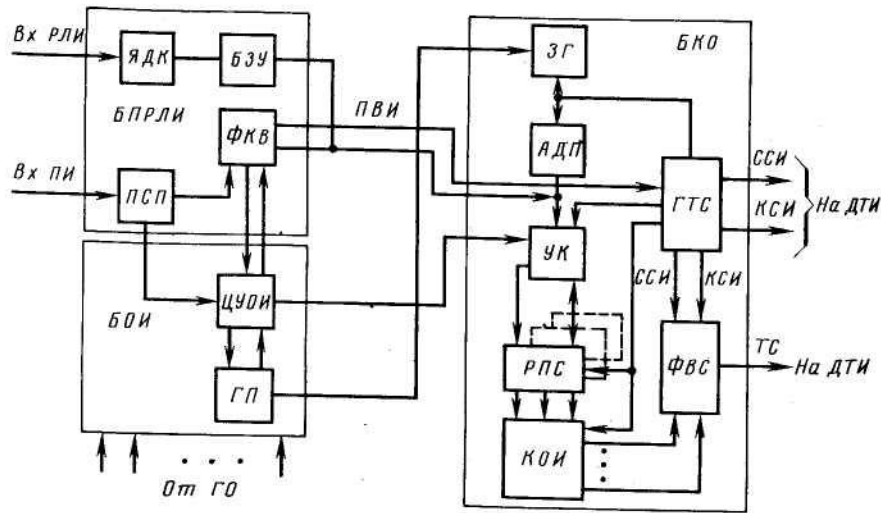


Рис. 12.25. Структурная схема модуля отображения: БПРЛИ — блок преобразования радиолокационных сигналов; Вх.РЛИ — входная радиолокационная информация; Вх.ПИ — входная пеленгационная информация; ЯДК — ячейка дискретизации и квантования; БЗУ — буферное запоминающее устройство; ФКВ — формирователь координат видеосигналов; ПВИ — признак ввода информации; БОИ — блок обработки информации; ЦУОИ — центральное устройство обработки информации; ГП — графический процессор; ЗГ — знакогенератор; БКО — блок контроллера отображения; АДП — адаптер; ГТС — генератор тактовых сигналов; УК — ячейка управления и контроля; КЦИ — контроллер отображения информации; ФВС — формирователь видеосигналов; ССИ — строчные синхросигналы; КСИ — кадровые синхросигналы; ТС — телевизионные видеосигналы

278

оцифровывается. Координаты ВС,

измеренные в полярной системе координат, преобразуются в прямоугольную систему. Для этого формирователь координатного видеосигнала (ФКВ) преобразует текущие азимуты ВС, приходящие в виде потока импульсов от датчика положения антенны ОРЛК или РЛС-П, и код дальностей анализируемых дискретов, т. е. полярных координат цели, в прямоугольные координаты X, Y . В ФКВ производится также компенсация вынесенного положения антенного поста корректировкой центра изображения на величину выноса. Для обработки сигналов от АРП в АЦП имеется специальное устройство — преобразователь сигналов пеленга (ПСП), принимающий с пеленгатора напряжения вида $u \sin \Pi, u \cos \Pi$. Эти напряжения преобразуются в цифровую информацию, содержащую значение пеленга, которая подается на ФКВ. В АЦП, кроме того, вырабатываются азимутальные и дальномерные метки для создания координатной сетки на изображении.

Графический процессор (ГП) преобразует получаемые от ЦУОИ кодовые цифровые сигналы в информационные посылки, необходимые для создания графической и знаковой части модели обстановки УВД и передает их с помощью ОЗУ на блок контроллера отображения информации. Работа ГП происходит в соответствии с хранящимися в его оперативной памяти алгоритмами решаемых задач и программами их выполнения. Связь ЦУОИ и ГП осуществляется через ОЗУ. В модулях обработки информации формируются сигналы перемещения маркера, считывается его текущее положение и решаются другие задачи. Массив кодов, получаемых от БПРЛИ, содержит сведения от аналоговых каналов средств наблюдения (ОРЛК, АРП, РЛС-П). Вся эта информация передается на БКО. Задача блока обработки информации — прием цифровой информации от различных источников, ее обработка и формирование в виде упорядоченной системы кодов для передачи их в БКО.

Основными частями БОИ является процессор, называемый центральным устройством обработки информации, и графический процессор. Программы их работы хранятся в постоянном запоминающем устройстве. В ЦУОИ имеется контроллер, принимающий информацию через МО от группового оборудования, в части, поступившей от вторичного канала ОРЛК, КРАМС и ДВТ, которая была обработана в МО. На ЦУОИ поступают также кодовые сигналы всех признаков и индексов, команды и запросы с ПВД, синхросигналы КСИ и ССИ с БКО.

На блок контроллера отображения аналоговая оцифрованная РЛ информация поступает от БПРИ, а цифровая координатная и полетная — от БОИ. БКО преобразует эту информацию, а также кадровые и строчные синхросигналы (КСИ и ССИ) в телевизионные аналоговые сигналы.

В БКО информация хранится в растровой памяти сигналов (РПС), куда ее направляет устройство управления и контроля

(УК). На него сигналы поступают в виде кодов знаков и векторов через адаптер (АДП) от знакогенератора (ЗГ), а также от ФКВ и БЗУ блока БПРИ. Адаптер преобразует поступающие сигналы в вид, необходимый для записи в РПС. Обменом между БОИ и БКО управляет микрокомпьютер, расположенный в ГП БОИ.

Содержание РПС считывается в кодировщик отображаемой информации (КОИ) с тактом, получаемым от генератора тактовых сигналов (ГТС). Отметим, что аппаратура всех РМ имеет автономную синхронизацию. Генератор вырабатывает также кадровые и строчные синхроимпульсы КСИ и ССИ и сам синхронизируется от ФКВ признаком вывода информации (ПВИ) из БПРИ. КОИ перекодирует поступающую информацию в коды точек, рисующих контур сигнала, а формирователь видеосигналов (ФВС) в соответствии с этими кодами формирует телевизионные видеосигналы (ТС), идущие на индикаторы для отображения модели обстановки УВД. ФВС может обслуживать три одноцветных — монохроматических индикатора или один цветной.

Пульт управления диспетчера (ПУД) предназначен для размещения аппаратуры и устройств, непосредственная работа с которыми обеспечивает оперативное управление КОИ в процессе УВД.

Основными устройствами, относящимися к КОИ и размещаемыми для осуществления указанной задачи на пультах управления, являются: диспетчерские телевизионные индикаторы, эшелонаторы, панели ввода данных, датчики координат и панели управления отображением. На ПУД устанавливают ряд других устройств, обеспечивающих деятельность диспетчера, которые не описаны здесь, как непосредственно не относящиеся к КОИ.

Каналы передачи и обработки информации от РСБН, КРАМС и РЛС-П.

В комплексе отображения «Строка-Ц» они имеют одинаковую общую структуру, достаточно подробно описанную ранее и сводящуюся к схеме: датчик информации, устройство сопряжения, смеситель видеосигналов, коммутатор каналов, распределитель информации по рабочим местам, т. е. по модулям отображения. Конечной задачей этих модулей является формирование цифрового телевизионного сигнала. Полученные форматы сигналов передаются на контроллер отображения, который и создает аналоговый телевизионный сигнал.

Информация о метеобстановке поступает от КРАМС и может быть также введена вручную с помощью дополнительного датчика метeosигналов (ДМ). Информация от РСБН идет по своим магистралям на диспетчерские посты РЦ ДПП и ДПК, информация от КРАМС — на ДПП, ДПК и ДПП.

От РЛС-П (см. рис. 12.16) информация через распределитель передается на оба МО, в распределитель приходят также сигналы от КРАМС и ДВТ. С пульта диспетчера, где установлена панель управления ПУ-П, производится выбор рабочего канала (РЛС-Ш или РЛС-П2). Панелей ПУ-П две, одна на ПДП, вторая на ДПК.

В системе имеется распределитель информации, который обеспечивает ее поступление на рабочие места ДП и СДП, а также на два рабочих места ДПК и на аппаратуру фотодокументирования. Полученная информация по вызовам диспетчеров отображается на соответствующих экранах. Изображения на экранах аналогичны общепринятым на прямоугольных экранах посадочных РЛС.

Оборудование рабочих мест (выносное оборудование). Структурная схема оборудования пульта управления диспетчера подхода аппаратурой КОИ показана на рис. 12.23. Пульт имеет два ДТИ, панель управления ТВ-изображения (ПУ-ДТИ), панель ввода данных (ПВД) и датчик координат (ДК).

Один из индикаторов ДТИ-КО обеспечивает отображение модели обстановки УВД в плане, т. е. при круговом обзоре. Второй индикатор имеет четыре варианта изображений модели обстановки УВД: в плане (резерв), модель воздушной обстановки на трассе при ее вертикальном разрезе — ДТЭ, изображение информации от РСБН и модель обстановки УВД в плане по информации от смежных РМ.

Пульт управления ДПК оборудован тремя ДТИ. На первом из них отображается модель обстановки УВД в плане. На втором индикаторе могут быть отображены: модель обстановки УВД в плане (резерв), модель воздушной обстановки в коридорах аэродромной зоны при вертикальном разрезе ВП, информация от РСБН, модель обстановки в плане по информации от смежного РМ. Третий индикатор ДТИ-П обеспечивает прием информации от первой или второй посадочной РЛС-П. Остальное пультное оборудование, относящееся к КОИ, аналогично оборудованию на пульте ПДП.

ПДП оборудован тремя ДТИ (см. рис. 12.24). На первом индикаторе отображается информация о первой РЛС-П, на третьем — от второй РЛС-П. На третьем ДТИ может быть отображена информация от первой или второй РЛС-П или изображение в плане от пульта ДПК.

Оборудования ПДП может не быть в том случае, если среди средств информации имеется современная РЛС-П типа РП-5г, которая имеет хорошую собственную аппаратуру отображения.

На РМ диспетчера РЦ имеются два индикатора. На первом из них отображается модель обстановки УВД в зоне ответственности данного диспетчера. На втором индикаторе возможно отображение резервного изображения модели обстановки УВД и модели УВД со смежных РМ. Кроме индикаторов ДТИ, на пульте имеются панели эшелонатора ПВД и ДК. Руководитель полетов может вызвать на экран изображение с любого рабочего места диспетчеров РЦ, подхода и круга.

В индикаторных устройствах используют телевизионные трубки, дающие растровое черно-белое изображение с прогрессивной разверткой путем подсветки в необходимое время нужных точек на строках раstra. ЭЛТ ДТИ-КО имеют диаметр 400 мм и изменяющийся под управлением диспетчера масштаб. Эта же ЭЛТ может

быть использована и для отображения ДТЭ. Однако есть вариант прямоугольной трубки, обеспечивающей получение изображения размером 381 x 474 мм, которая также предполагается к использованию.

Изображение имеет разрешение в 1024 строки по 1024 элементов и частоту кадров 50 Гц. Указанные параметры обеспечивают высокую четкость изображения и отсутствие мерцания строк и кадров. КОИ в принципе обеспечивает возможность создания цветного

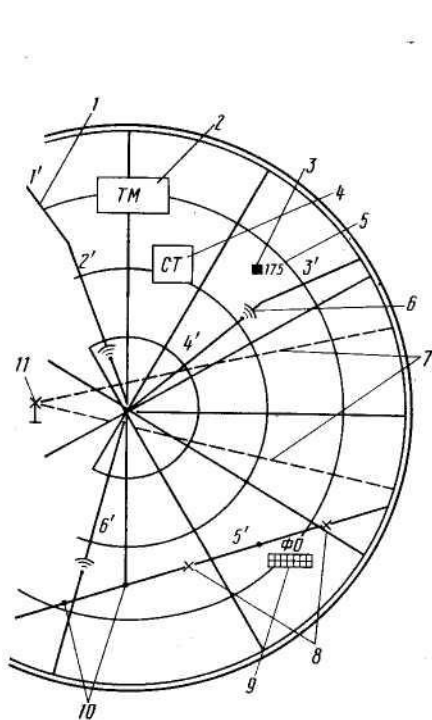


Рис. 12.26. Схема отображения информации на экране ДТИ-КО в аналоговом режиме:

1 — трассы полета с номерами трасс 1'...5'; 2 — табло справочной и метеорологической информации; 3 — маркер для измерения расстояний; 4 — системное табло; 5 — значение измеренного расстояния; 6 — отметка аналоговых координат ВС со следами движения; 7 — пеленги с АРП на ВС с работающей РС; 8 — символы закрытия участка трассы; 9 — формуляр ограничений (времени и высоты); 10 — точки границ равных интервалов дальностей на трассе; 11 — место расположения АРП

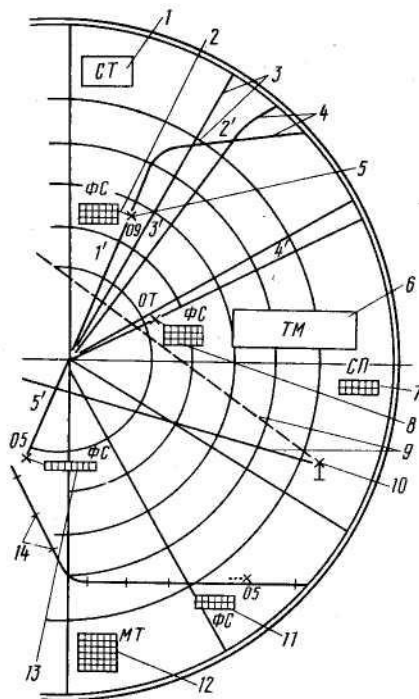


Рис. 12.27. Схема отображения информации на экране ДТИ-КО в синтетическом режиме:

1 — системное табло; 2 — стрелка-указатель; 3 — дальномерно-азимутальная сетка; 4 — трассы полетов с номерами 1'...5'; 5 — символ координат ВС (синтетических); 6 — табло справочной и метеорологической информации; 7 — список потерь; 8 — формуляр сопровождения (дополненный); 9 — линии пеленгов с АРП на работающую РС; 10 — символ АРП; 11 — формуляр сопровождения (неполный); 12 — микротабло; 13 — формуляр сопровождения (сокращенный); 14 — точки, обозначающие интервалы дальности для определения длины трассы

изображения, однако необходимые для этого ЭЛТ с высокой разрешающей способностью отсутствуют.

На ДТИ-КО можно использовать три режима отображения: синтетический (С), аналоговый (А) и совмещенный (АС). В режиме С на экране отображаются картографическая информация, символы координат ВС и различного вида формуляры и табло. В режиме А отображается аналоговая координатная. В режиме АС отображается как аналоговая, так и синтетическая информация. На экранах совмещены обе отметки ВС. При всех режимах на экране могут воспроизводиться координатная сетка и маркер. С помощью последнего перемещают формуляры СТ, СП и МТ.

На рис. 12.26 и 12.27 показаны схемы изображений моделей обстановки УВД при работе КОИ в режимах А и С соответственно.

Индикаторы, предназначенные для отображения динамических табло-эшелонаторов, сокращенно называются ДТИ-В. В КОИ на ДТИ-В отображаются два типа ДТЭ, несущих информацию о воздушной обстановке при вертикальных разрезах воздушного пространства: на первом обстановка на трассе, а на втором типе — обстановка в воздушных коридорах. Структура изображений, указанных ДТЭ приведена на рис. 12.28. На первом типе изображения над табло справа сверху отображается номер трассы, на которой диспетчер управляет полетом ВС, а сверху посередине аббревиатура СТДТЭ (системное табло ДТЭ). С левой и правой сторон экрана в первом и последнем столбцах указаны эшелоны высот полета в контролируемом пространстве с интервалом 300 м от 0 до 8100 м или 500 м от 8100 до 12 600 м (на рисунке эти величины указаны в сотнях метров).

Внизу экрана отображается масштабная линейка дальности полета (от нуля до максимальной), соответствующей рассматриваемой трассе или участку трассы через принятый для данной трассы интервал. Вся трасса столбцами разбивается на участки (до 12), отделенные друг от друга интервалами, на которых запись не производится.

На строках столбцов в элементах, соответствующих высоте полета ВС, в случае если ВС находится в зоне рассматриваемой трассы, отображаются их ФС. В строках столбцов отображаются ФС, включающие бортовые номера ВС, совершающих полеты по рассматриваемой трассе, и номера каналов АС. В столбцах строк, на которых отображены формуляры, ниже их штриховыми линиями обозначается нижняя граница эшелона. Направление движения ВС устанавливается по перемещению формуляров за время двух-трех обзоров РЛК. Информация, имеющаяся на табло, позволяет достаточно быстро определить возможности изменения относительного расположения ВС. Нижнее поле табло, имеющее шесть строк, выделено для записи рельефа трасс. Диапазон отмечаемых высот от 0...500 м через 100 м может быть изменен.

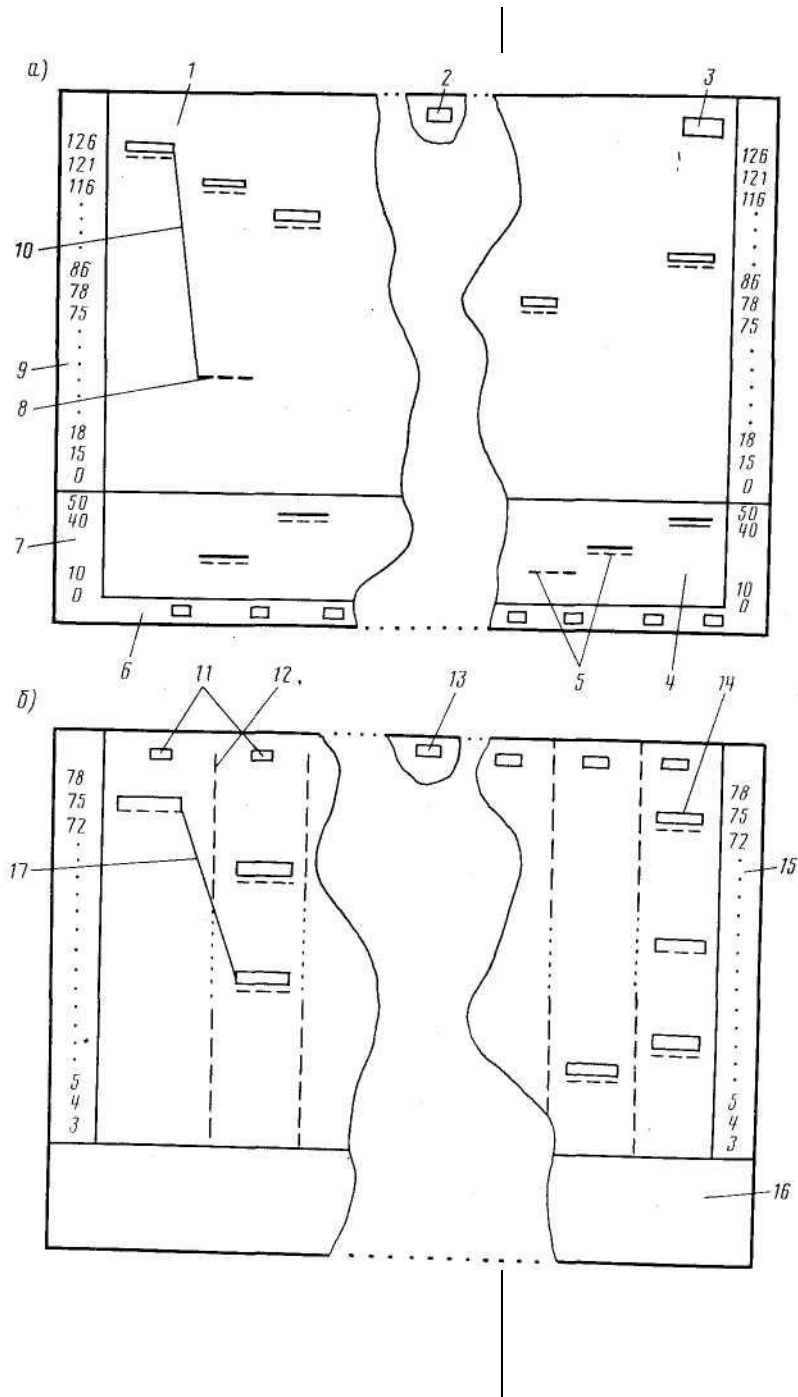


Рис. 12.28. Схемы динамических табло эшелонаторов:

а — ДТЭ зоны подхода:

1 — формуляр сопровождения ФС-В; 2 — СТ ДТЭ — системное табло ДТЭ; 3 — номер трассы; 4 — табло рельефа; 5 — максимальные высоты рельефа; 6 — шкала дальностей; 7 — шкала рельефа; 8 — отметка заданного эшелона; 9 — шкала эшелонов; 10 — стрелка-указатель заданного эшелона; 6 — ДТЭ коридоров; 11 — номера коридоров; 12 — линии раздела коридоров; 13 — СТ ДТЭ — системное табло ДТЭ; 14 — формуляр сопровождения; 15 — шкала эшелонов; 16 — свободное место; 17 — стрелка-указатель изменения коридора полета ВС

На табло ДТЭ второго типа (рис. 12.28, б) в первой строке отображаются номера коридоров подхода или наименования пунктов обязательных донесений на их входах. Коридоров может быть 1...6. Для каждого выделяется до трех столбцов. Всего на ЭЛТ располагается 12 столбцов. Коридоры отделены друг от друга вертикальными прерывистыми линиями. Все столбцы разбиты на строки в соответствии с эшелонированием ВП коридора. Число строк и значения интервалов между ними определяются нормами эшелонирования в рассматриваемом ВП. На одной строке могут быть отображены не более трех ФС и номера каналов автосопровождения.

Нижние границы эшелонов отмечаются горизонтальными пунктирными линиями по три в столбце. В случае выдачи на ВС команды изменения высоты на экране отображается стрелка-указатель заданного эшелона (УЗЭ), идущая от ФС самолета, который должен изменить высоту, к строке с эшелоном, который должен быть занят этим ВС. Число воспроизводимых указателей практически не ограничено. Можно отобразить сразу три указателя от всех трех ФС на одной строке. По мере изменения эшелонов указатель изменяет свою длину.

Табло первого типа отображается на дополнительных индикаторах ДПП и ДПК, а табло второго типа — только на индикаторе ДПК.

Наличие указанной информации об относительном расположении ВС в ВП коридора обеспечивает возможность диспетчеру повысить эффективность УВД в зоне подхода.

Рабочее место руководителя полетов относится к ГО, так как на его индикаторы может быть вызвано изображение модели обстановки УВД с любого РМ. Однако функционально оборудование пульта РМ аналогично описанному ранее каналному, и поэтому оно рассматривается в настоящем месте раздела.

Пульт диспетчера имеет ДТИ-КО и плату управления (ПУ-ДТИ), с помощью которой вызывается изображение рабочих мест диспетчеров/осуществляется объединение смежных РМ, что бывает необходимо в ночные смены, когда ИВД значительно уменьшается.

Панель ввода данных (ПВД) обеспечивает функционирование КОИ путем ввода в него различной информации, команд и запросов.

С ПВД производится управление каналами преобразования информации, вводом в формуляры буквенно-цифровой информации (БЦИ) и управление режимами отображения формуляров. При этом создается модель обстановки УВД, соответствующая реальной обстановке. Панели располагаются на столешнице диспетчерских пультов управления. Имеются четыре типа панелей, обеспечивающих управление в зонах РЦ, подхода, круга и посадки.

Клавиатура ПВД разделяется на три вида: знаковая, эшелонирования и команд управления. При нажатии клавиши замыкаются контакты соответствующего переключателя, с которого снимается сигнал, преобразуемый в необходимый код.

Для знакомства с задачами, решаемыми с помощью ПВД, приведем их неполный перечень для пультов диспетчеров подхода круга: выбор масштаба, размеры знаков и времени памяти координатных следов, установка исходного положения маркера, отдельная установка яркости различных видов элементов изображения (знаков, символов, линий), вызов и сброс трасс, отображение их номеров, ввод и сброс диспетчером дополнительных трасс и их номеров, включение автоматического отображения пеленга, вызов и сброс рамок табло МТ, ТМ и СТ, ввод изображения заданного эшелона с эшелонатора или цифронабирателя, измерение расстояния между двумя точками, отображение расстояния между ними и сброс его, управление положением ФС, запрет отображения некоторых ФС, включение и выключение режима автовода или режима ввода по номеру, управление включением ФС, его запретом, установка полноты и содержания формуляров, ввод и вывод отображения границ автовода, сброс информации из списка потерь, управление резервированием модулей отображения, закрытие отрезка трассы и его сброс, ввод и замена аэропорта назначения, ввод функции передачи управления в смежный сектор, подтверждение приема информации, вызов изображения ДТЭ (подхода или коридора) и управление его изображением, ввод изображения РСБН и многое другое.

Панель управления посадкой ПУ-П предназначена для управления работой модулей отображения, обеспечивающих обработку информации РЛС-П, и процессом фотодокументирования захода ВС на посадку. Панели две — одна на пульте ДПК, вторая на ДПП.

Приведем примерный перечень операций, выполняемых на пульте управления посадкой: (ПВД-П) включение в рабочий режим и его выключение, выбор канала управления 1 или 2 (получение информации от РЛС-П 1 или РЛС-П2), выбор масштаба изображения (10 или 20 км), выбор яркости отметки ВС, линий курса и глиссады, угловых меток и меток дальности, справочной информации, ввод значений диспетчерских данных КСП и МПУ, индекса диспетчера номера борта, вызов давления на аэродроме, включение и выключение режима фотодокументирования.

При нарушении порядка выполнения любой пультовой операции

продолжается отображение ранее введенной информации и требуется повторение пультовой операции.

Для документирования радиолокационной информации в цифровом виде используется аппаратура документирования (АД) «Документ-2». Производится также документирование посадочной радиолокационной координатной информации, а также метеорологических и диспетчерских данных с помощью фотоаппаратуры. Для этого имеется шкаф с посадочными индикаторами специальной фотоконтрольной аппаратурой ПУУ-486-1, имеющей необходимые устройства управления.

Некоторые общие технические характеристики. Надежность КОИ не менее 4000 ч, среднее время восстановления не более 20 мин, занимаемая площадь 25 м². Имеется разветвленная система автоматического контроля, основанная на тестировании с помощью вырабатываемых в системе контрольных сообщений, которые отображаются на экранах ее ДТИ.

Информация, отображаемая на ДТИ. На экранах ДТИ отображается следующая информация: координатная, буквенно-цифровая, в виде условных символов, линий, дуг и окружностей. Возможно мерцание некоторых знаков, а также использование позитивных и негативных изображений формуляров. При этом используются буквы русского и латинского алфавитов, а также арабские цифры. Эти знаки выводятся из МКК.

Масштаб изображений на ДТИ изменяется дискретно от 40 км при секторном обзоре до 400 км при круговом.

Координатная информация. Координаты ВС в режиме С, полученные от ВС с ответчиком, отображаются символом «Х», а без ответчика символом «О». Символы координат сопровождаются в синтетическом изображении соответственно точками, а в аналоговом дужками убывающей яркости, обозначающими следы отметок ВС за прошлые 2...4 обзора. Аналоговая координатная информация отображается от всех ВС. При автосопровождении отображаются координаты 31 ВС.

Если ВС сопровождается по координатам с вычисленной скоростью, то по вызову для всех таких ВС отображаются векторы экстраполированного положения в виде штриховых линий. Рядом с символом координат в режиме С отображается условный номер от 00 до 31 канала автосопровождения АС. Он называется также индексом диспетчера. Если в автосопровождении находится ВС из зоны ответственности других диспетчеров, то в условном номере канала на первом месте отображается буква Р из РЦ, П из зоны подхода, К из зоны круга. От отметки координат в синтетическом режиме отображения к формуляру сопровождения идет вектор-связка (указатель). Он может быть одинарной и двойной длины. В синтетическом режиме отображаются координаты целей, находящихся в установленном объеме автовода. Однако может быть установлена

зона просмотра больших размеров для получения информации о ВС, которые вскоре могут войти в зону управления.

Формуляры сопровождения (ФС). Всего может быть отображен 31 формуляр сопровождения. Формуляр имеет 24 знака, по 8 в строке. Он содержит информацию, характеризующую состояние ВС. ФС могут располагаться в восьми положениях. Начальное положение 225° на расстоянии от координатного символа, определяемом размером стрелки-указателя (связки), соединяющей ФС и координатный символ.

В режиме «Просмотр» ФС отображаются возле отметки каждого из обнаруженных ВС, в том числе и не находящихся в зоне ответственности. ФС самолетов, высота полета которых менее 100 м, сбрасываются автоматически.

Возможен запрет отображения некоторого ФС. Изображение ФС и символа координат может быть разной «полярности» (позитив или негатив), либо одной и той же. В последнем случае ФС изображается на местном микрорастре. Так отображаются ФС ВС, находящихся вне зоны управления.

Формуляры (табло) списка потерь (СП) сокращенные (однострочные). Это ФС тех ВС, от которых за время последних трех обзоров не поступала информация. СП может иметь до 10 строк. При обновлении информации о ранее потерянных ВС его ФС автоматически выбывает из СП и отображается в основной полноте. Если обновление не происходит в течение 16 обзоров, то формуляр автоматически выбывает из СП и аппаратуры КОИ.

Системное табло СТ содержит справочную системную информацию, относящуюся к непосредственным действиям диспетчера по УВД, и имеет две строки. В первой указан режим ввода, обозначения действий по управлению изображением с ПВД, условные обозначения режимов работы системы, выбранный масштаб изображения. Во второй строке содержатся значения введенных диспетчером давления на аэродроме и эшелона подхода. По вызову диспетчеров могут отображаться списки кодов ответчиков и радиотелефонных позывных ВС.

Микротабло МТ (формуляр ожидания) служит для контроля записи диспетчером с ПВД бортового номера ВС. Всего может быть до 10 МТ. Место отображения СТ, СП и МТ выбирается оперативно с помощью маркера.

Табло справочной информации (ТМ) отображается на ДТИ ДНК и ДПП и содержит справочную неоперативную метеорологическую и диспетчерскую информацию. Метеоинформация вводится из аппаратуры КРАМС, а диспетчерская из аппаратуры «Табло-А».

Табло-формуляр ограничений (ФО) отображает информацию о закрытии трассы или ее участка. Закрытый участок обозначается с двух сторон символами «Х», а рядом размещается двухстрочный ФО. В его первой строке информация о начале и об окончании ввода режима закрытия, во второй строке нижнее и верхнее значения

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24

Рис. 12.29. Расположение строк и знакомест в формуляре сопровождения:
1, 2, 3 — сокращенная, основная и дополненная степени полноты ФС соответственно

интервала закрытых для полетов эшелонов. Группы цифр, несущих информацию, разделены точками. Режим ограничений вводится с одного РМ, а отображается на всех РМ.

Графическая информация служит для изображения линий трасс и пеленгов, границ метеообразований, карт обстановки УВД, разделительных линий на табло эшелонатора коридоров, стрелок-указателей, векторов упреждений координат ВС, дуг, азимутально-дальномерной сетки.

Число отрезков карты 80. Они могут быть любой длины (до диаметра экрана). С помощью ДК можно отобразить еще пять линий. Отображаются два вида карт: для РЦ и для ДПП и ДПК, отличающихся содержанием и детализацией. Карты вводятся оперативно с помощью клавиатуры ПВД.

Пеленги от разных частотных каналов отличаются на изображении видом линий (точки, тире, сплошные). Всего могут быть отображены пеленги от двух АРП или от трех частотных каналов одного АРП. На трассах по вызову диспетчера могут отображаться точками 10- или 50-км участки. Трассы и отрезки трасс имеют сквозную нумерацию. Яркость меток, трасс, формуляров, линий пеленга регулируется раздельно.

Варианты информации, содержащейся в формулярах сопровождения. ФС для ДТИ-КО трехстрочный с восемью знакоместами (ЗМ) в каждой строке. На экране могут быть ФС трех видов полноты (рис. 12.29). Информация, содержащаяся в ФС, отражает состояние ВС в полете. В ней может быть отображена следующая информация: номер борта, радиотелефонный позывной (5- или 6-значный), код ответчика, текущая и заданная высота полета, символ направления изменения высоты, аэропорт назначения, азимут и дальность между двумя точками, сигнал необновления информации, резерв времени (по остатку топлива) в минутах, сигнал конфликтной ситуации, аварийные сигналы, скорость и курс (магнитный путевой угол полета), признак уровня отсчета высоты и признак нахождения ВС в зоне летного препятствия. Отображением того или иного вида информации в ФС управляет диспетчер, который выдает с пульта ввода данных необходимые для этого команды. Структура различных ФС показана в табл. 12.1...12.3, где приведены варианты отображения информации в 1...3 строках ФС.

Таблица 12.1

Вариант отображения	Знакоместа							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	6	5	8	3	4	•	1	2
2	•	6	4	3	5	•	•	↑
3	3	5	9	9	9	•	•	↓
4	P	8	3	5	2	6	•	•
5	P	8	3	5	2	•	Б	Д
6	•	6	4	3	5	•	Н	П
7	•	6	4	3	5	•	Р	С

Дадим пояснения к информации, которая может быть отображена в различных строках и на различных ЗМ.

Знакоместа 1...6 (табл. 12.1):

вариант 1: цифровой, пятизначный, позывной (бортовой номер) отечественного ВС, точка;

вариант 2, 6, 7: точка и цифровой, четырехзначный код ответчика иностранного самолета, точка;

вариант 3: цифровой, пятизначный, радиотелефонный, позывной по отечественным самолетам, точка;

вариант 4: цифровой, шестизначный, радиотелефонный, позывной по иностранным самолетам;

вариант 5: цифровой, пятизначный, радиотелефонный, позывной по иностранным самолетам, точка.

Знакоместа 7...8 (табл. 12.1):

вариант 1: условный номер канала сопровождения ВС, не управляемого с данного РМ (при управлении ВС с данного РМ условный номер канала отображается рядом с координатным символом. В этом случае обращение к каналу вызывает увеличение размеров знаков номера канала);

вариант 2: точка, признак набора высоты ВС, управляемого с данного РМ, при наличии разницы между текущей и заданной высотами, отображаемыми во второй строке;

вариант 3: признак снижения ВС, управляемого с данного РМ. при наличии разницы между H_T и H_3 , отражаемыми во второй строке;

вариант 4: признак горизонтального полета ВС, управляемого с данного РМ, при совпадении высот текущей и заданной, отражаемых во второй строке, или признак необновленной информации о высоте, координате и номере борта (кода ответчика) ВС;

варианты 5, 6, 7: признаки поступления по вторичному каналу аварийных сигналов «Бедствие» (БД) от иностранного или отечественного ВС, «Нападение» (НП) от иностранного ВС, «Потеря радиосвязи» (РС) от иностранного ВС. Признаки отображаются в мигающем режиме с частотой 0,3...0,5 Гц.

Таблица 12.2

Вариант отображения	Знакоместа							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	•	1	2	3	•	•	•	•
2	A	1	2	3	•	0	2	1
3	1	2	3	4	•	1	2	6
4	H/1	E/2	0/3	B/4	•	1	2	6
5	$\begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix}$	$\begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix}$	$\begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix}$	$\begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix}$	•	1	2	6
6	A/*	0	2	3	•	0	0	3

Знакоместа 9...12 (табл. 12.2):

вариант 1: текущая высота меньше 10 000 м и определена по стандартному давлению;

вариант 2: текущая высота меньше 10 000 м и определена по аэродромному давлению;

вариант 3: текущая высота больше 10 000 м и определена по стандартному давлению (в варианте 1, 2, 3 текущая высота в десятках метров);

вариант 4: признак необновления информации о координате и номере борта чередуется со значением текущей высоты с частотой 0,3...0,5 Гц;

вариант 5: признак необновления информации о текущей высоте отображается в мигающем режиме с частотой 0,3...0,5 Гц;

вариант 6: признак нахождения ВС в зоне летного препятствия. На 9-м знакоместе символ «А» чередуется с символом «*» с частотой 0,3...0,5 Гц.

Знакоместа 13...16 (табл. 12.2):

вариант 1: точки, заданный эшелон не введен;

вариант 2...6: точки на 13 знакоместах, заданный эшелон в сотнях метров для ВС, управляемого с данного РМ, вводится с эшелонатора или после нажатия клавиши «H₃» — с цифронабирателя. Знакоместа 17...24 (табл. 12.3):

Таблица 12.3

Вариант отображения	Знакоместа							
	17	18	19	20	21	22	23	24
1	T	=	3	5	%	•	•	•
2	T	=	1	0	5	•	2	3
3	0	9	3	•	V	8	5	0
4	0	9	3	•	W	8	7	0
5	2	7	5	•	•	0	3	8
6	Л	П	Д	•	P	0	6	0

вариант 1: знакоместа 17...21—информация об остатке топлива в процентах, отображается при последовательном нажатии необходимых клавиш на ПВД-КО в формулярах ВС, управляемых с данного РМ, при отсутствии информации—отображаются точки; знакоместа 22...24—отображаются точки;

вариант 2: знакоместа 17...24—информация об остатке топлива в минутах и аэропорт назначения (трасса) в ФС ВС, управляемых с данного РМ, отображается при нажатии клавиши «Ап» на панели ПВД-КО. При неизвестном типе ВС остаток топлива отображается в процентах;

вариант 3: знакоместа 17...19—курс; 20-е знакоместо — точка; знакоместа 22...24— скорость. Информация- поступает от бортового ответчика и отображается в ФС ВС, управляемых с данного РМ при нажатии клавиши «V» на панели ПВД-КО. При отсутствии информации на знакоместах 17...19 и 22...24 отображаются точки;

вариант 4: знакоместа 17...19—курс; 20-е знакоместо — точка, знакоместа 22...24— скорость, рассчитанная в МО для ФС ВС, управляемых сданного РМ. Информация отображается при последовательном нажатии клавиш « / » (с и м в о л " ↑", слегка наклоненный вправо) и « ↑ » на панели ПВД-КО;

вариант 5: знакоместа 17...19—курс; 20, 21-е знакоместа — точки; знакоместа 22...24—дальность. Отображаются: 1) при обращении к конкретному формуляру в течение 10 с, сброс автоматический; 2) при поступлении аварийных сигналов по вторичному каналу; 3) при передаче управления чередуются с вариантом 6 с частотой 0,3...0,5 Гц;

вариант 6: знакоместа 17...19— ПРД; 20-е знакоместо — точка; знакоместа 21...23—индекс диспетчера, принимающего управление (на передающем РМ) или точки (на принимающем РМ), чередуется с вариантом 5 с частотой 0,3...0,5 Гц, отображается до момента подтверждения приема управления.

ФС-В (ФС-ДТЭ) — формуляр сопровождения в ДТЭ однострочный, имеет восемь знакомест и содержит те же варианты информации, что были указаны для первой строки ФС-КО.

12.11. Устройство пересчета высоты «Высота»

Оно предназначено для пересчета высоты, измеренной на ВС барометрическим высотомером от уровня давления 760 мм и переданной на землю в виде кода ответчика, в высоту, соответствующую уровню давления на аэродроме. Решение этой задачи необходимо в связи с тем, что по рекомендациям ИКАО баровысотомеры должны измерять высоту как по давлению, введенному экипажем, так и по стандартному давлению 760 мм. Результаты первого из указанных измерений подаются на приборы ВС, результаты второго поступают на ответчики для передачи на землю. Благодаря пересчету

ликвидируются погрешности определения высоты из-за погрешностей в установке давления.

В аэродромных АСУВД задача защиты от этой погрешности решается в ВК системы. В системах УВД, имеющих АО «Знак», «Символ», «Страница», «Строка-2», для этого в комплекс вводится устройство пересчета высоты «Высота». Оно имеет две комплектации: УПВ «Высота-2», для АО «Знак» и «Высота-1», используемое во всех других видах АО.

Пересчет основан на цифровом моделировании функции расчета поправки к высоте $\pm H$, которая суммируется с высотой, переданной с ВС. Результат — высота над уровнем ВПП передается на АО. Для работы в УПВ используются: атмосферное давление на уровне аэродрома (p_a), эшелон перехода (ЭП), признак вида давления и высота полета ВС. Погрешность пересчета до ± 10 м. Источниками информации о высоте являются: для УПВ «Высота-1» — АПОИ системы, а для УПВ «Высота-2» — блок обработки информации АО «Знак». Значения p_a и ЭП поступают от аппаратуры «Табло». Устройство обработки данных для этой аппаратуры расположено в линейно-аппаратном зале.

УПВ работает и при получении признака «отрицательная высота», включаемого в кодограмму ВРК канала ВРЛ. Этот признак передается в тех случаях, когда с ВС передается высота, отсчитанная по стандартному давлению, а аэродромное давление значительно превышает 760 мм (например, 780 и более) и ВС находится ниже эшелона перехода (например, 200...300 м), т. е. на глиссаде, когда информация ВРЛС не используется.

Аппаратура УПВ размещается в линейно-аппаратном зале (ЛАЗ) и на пультах ДПК и ДПСП. В ЛАЗ находится основной блок ВС-5— устройство обработки данных, которое принимает информацию, рассчитывает ΔH , рубеж пересчета $H_{руб.}$, высоту H и передает ее на АО.

На пульте диспетчера расположена панель управления УПВ и панель индикации, на которой отображается значение ЭП.

12.12. Таблично-знаковые индикаторы

ТЗИ предназначены для воспроизведения цифробуквенной информации в каналах подготовки данных информационно-поисковых каналов, в частности, при диалоговой работе диспетчерского состава автоматизированных систем УВД с ЭВМ. ТЗИ размещаются на рабочем месте руководителя полета и диспетчеров различных назначений. На ТЗИ воспроизводится справочная информация о процессе УВД, метеобстановке, обстановке на аэродроме, возможных ограничениях и т. д.

Одним из распространенных типов ТЗИ является РИН-612, на втором информация воспроизводится телевизионными методами.

Его технические данные следующие. Применяется ЭЛТ 31ЛМБИ с повышенной разрешающей способностью. Возможно использование двух типов ТВ разверток: череспериодной, обеспечивающей 625 строк изображения при 50 кадрах в секунду, и прогрессивной на 312 строк при том же числе кадров. Люминофор дает зеленое свечение. Допустимый уровень внешней освещенности 80 лк. Рабочее поле экрана 210x150 мм, на нем располагаются 24 строки текста (по 80 символов в строке), 25 строк со служебной информацией (для отображения индикаторов состояния: ошибка — ОШ, вставка — ВС, форматное поле — ФП, блокировка — БЛ, звуковая сигнализация — 11). Общее число видов воспроизводимых символов 104, размеры символов 2x3,9 мм, расстояние между строками 2,5 мм, максимальное число одновременно отображаемых знаков 1920. Возможно изображение темных знаков на светлом поле и светлых знаков на темном поле. Четкое восприятие обеспечивается на расстоянии от экрана до 1,2 и при внешней освещенности до 180 лк на экране. Маркер мерцает с частотой 3 Гц. Размеры ТЗИ РИН-612: ширина 480 мм, глубина 925 мм, высота 400 мм, масса 50 кг. Элементная база — микросхемы, наработка на отказ более 1000 ч, срок службы 10 лет.

ТЗИ состоит из двух устройств: блоков индикации и управления (БИУ) и пульта подготовки данных (ППД), который соединен с БИУ коротким кабелем. В БИУ расположены ЭЛТ с обслуживающими ее схемами и устройство управления отображением. С помощью ППД можно выполнять следующие операции: ввод для отображения алфавитно-цифровой и символьной информации, управление маркером (мерцающим указателем), редактирование текста (сдвиг, вставка и стирание информации), передача информации в ЭВМ из памяти РИН через устройство управления внешними устройствами (УУВУ), а также разовых команд с ППД.

ТЗИ может работать в автономном режиме и рабочем, т. е. управляемом, когда режим устанавливается с ППД. В автономном режиме БИУ отключен от информационной магистрали системы и допускает выполнение с ППД всех операций, не связанных с обменом. В рабочем режиме блок БИУ, т. е. РИН подключен к информационной магистрали и выполняет следующие операции: обмен информацией с УУВУ, ее обработку, преобразование цифровой информации в ТВ-видеосигнал, формирование изображения на экране ЭЛТ. Первые три функции выполняются в блоке управления, последующие — в блоке ЭЛТ. В автономном режиме вся информация вводится с ППД. Цифровая и буквенная информация русского и латинского алфавитов преобразуется в ТВ-сигналы в двух знакогенераторах латинских и русских букв. Полученные видеосигналы усиливаются и поступают на блок ЭЛТ. Для выполнения операции редактирования служит специальная схема, имеющая связь с ПД-

Организующие кадры изображения горизонтально и вертикально развертывающие напряжения создаются с помощью формирователя

синхросигналов. Эти напряжения создают на экране ТВ-изображение букв, цифр и символов. В блоке ЭЛТ имеется плата сигнализации, которая нужна для усиления внимания оператора в некоторых случаях. Сигнализация может быть звуковой или световой (включение освещения транспарантов). Имеются также блоки управления качеством изображения и высоковольтного питания. Информация может быть форматная (табличная) или неформатная (текстовая). Форматная организуется в ЭВМ программой пользователя путем ее разделения на зоны (поля) специальными командами атрибутов поля, которые на экране не отображаются (вместо них будут пробелы). Форматная информация может быть защищенной, т. е. недоступной для редактирования, и незащищенной — доступной. Примерные конкретные изображения экрана ТЗИ приведены в § 13.2 (см. рис. 13.6).

12.13. Аппаратура индикации метеорологической информации и диспетчерских данных «Табло»

Аппаратура «Табло» (рис. 12.30) является электронным средством информации диспетчеров о текущей метеобстановке в районе аэродрома и о специальных данных. Она может устанавливаться на рабочих местах диспетчерских пунктов круга, посадки руления и руководителя полетов аэродрома (ДПК, ДПП, ДПСП, СДП, ДПР, РПА) и представляет собой коробку размерами 540x367x175 мм, в которой размещены два блока цифровой индикации метеорологических и диспетчерских данных (БМД). Индикация осуществляется с помощью знаковоспроизводящих ламп. Остальной состав аппаратуры следующий: панель управления диспетчера (ПУД), панель управления метеоролога (ПУМ), блок текущего времени (БТВ) (со стрелочными часами), блок сопряжения с метеостанцией КРАМС, блок управления телетайпом (БУТ).

БМД, БТВ и панели ПУД устанавливаются на пульте диспетчера посадки и КДП МВЛ, на пультах ДПС и ДПР. На рабочем месте диспетчера посадки блок цифровой индикации аппаратуры размещается на плате индикаторного устройства курса и глиссады так, чтобы обеспечивались одновременное фотографирование блока индикации и изображение курса и глиссады. БМД размещается также на рабочих местах метеонаблюдателей. Везде, где имеется

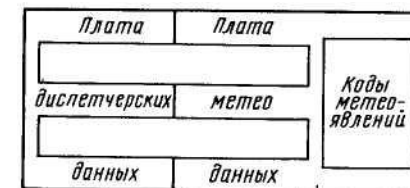


Рис. 12.30. Информационные платы диспетчерских и метеорологических данных индикатора аппаратуры «Табло»

БМД, устанавливаются также и часы. ПУД имеется на каждом рабочем месте, через него диспетчеры вводят данные. Панели ПУМ стоят на рабочих местах метеонаблюдателей.

Данные из аппаратуры «Табло» могут вводиться в аппаратуру «Строка-2», АСУВД «Старт» для отображения метео- и справочной информации и ее фоторегистрации на индикаторе посадки. Данные, отображаемые на БМД, фиксируются на телетайпе, управляемом с БУТ. В левой части блока расположена информационная плата отображения диспетчерских данных, а в правой части — плата отображения метеоинформации. На обеих платах информация воспроизводится в двух строках.

Данные диспетчера вводятся в ПУД. Они имеют пять групп цифровых индикаторов, соответственно отображающих: бортовой номер ВС, заходящего на посадку, магнитный путевой угол посадки, личный номер диспетчера посадки, эшелон перехода (в сотнях метров), коэффициент сцепления с ВПП.

Плата метеоданных имеет 1.0 групп цифровых индикаторов, на которых отображаются:

в верхнем ряду: первые две группы — облачность (количественная оценка облаков в баллах и высота нижней границы облаков (ВНГО)); третья и четвертая группы — горизонтальная видимость в метрах (метеорологическая видимость на ВПП и горизонтальная видимость огней высокой интенсивности); пятая группа — атмосферные явления, условно обозначенные цифрами, значения которых приведены справа на плате (0— ясно, 1—туман, 2—дымка, 3—град, 4— дождь, 5— снег, 6— пыльная буря, 7— метель, 8— гроза, 9— гололед);

в нижнем ряду: 1-я группа — давление, мм рт.ст.; 2-я группа — направление ветра, градус; 3-я группа — скорость ветра, м/с; 4-я группа — порывы ветра, м/с; 5-я группа — время наблюдения метеоявлений.

Диспетчерские данные вводятся с панели ПУД нажатием на клавиши признаков вводимой информации и набором цифровых данных. Метеоинформация вводится либо вручную с панели ПУМ метеонаблюдателем АМСГ аэродромной метеорологической, или автоматический КРАМС-М, или К.РАМС-М1. Автоматический режим является основным.

13.1- Аэродромная автоматизированная система УВД «Старт»

АСУВД «Старт» используется при УВД в районах аэропортов с высокой интенсивностью воздушного движения. Первая система принята в эксплуатацию в 1978 г. в аэропорту Пулково. Один комплект АСУВД обслуживает воздушное пространство, разделенное на два сектора подхода *M* и *H*, один сектор круга *K* и сектор посадки.

Система решает задачи автоматического сбора, обработки и представления диспетчерам следующей необходимой для УВД информации:

текущей и прогнозируемой воздушной обстановки (РЛ-координаты ВС, оборудованных и необорудованных ответчиками, текущие и заданные высоты полета, путевые скорости и курсы ВС, данные о их маневрировании и прогнозируемом положении, остаток топлива, аварийные сигналы и др.);

о текущих планах полета ВС до их входа в зону управления (месте и высоте входа, расчетном времени входа и взлета, аэродроме назначения и др.).

АСУВД «Старт» (рис. 13.1) обеспечивает:

автоматизацию процессов отображения информации об обстановке УВД (моделей воздушной обстановки и условий УВД);

одновременное автоматизированное управление 36 ВС в секторах подхода и двумя ВС в зоне посадки;

автоматизацию радиолокационного управления заходом на посадку (в части выпущенных систем).

Основными источниками информации о ВС в секторах подхода и круга являются: РЛК «Иртыш», включающий ДРЛС-А и «Корень-АС», АРП «Клён», возможно также использовать РЛС «Скала-МПА». Дополнительными источниками могут быть РЛС П-35м, П-37 «Экран-Д» и ДРЛС-7см. Сектор посадки обеспечивается РЛС-П типа РП-3Г и РП-4Г.

Первичные каналы РЛК дают координатную информацию о всех ВС, находящихся в зоне наблюдения, а вторичные — координатную (КИ) и полетную (ПИ) от ВС, имеющих ответчики. Радиопеленгационная информация (РПИ) поступает от АРП. Информация о вылетающих, прилетающих и следующих транзитом ВС идет

из служб аэропорта, планирующих движение ВС, и от диспетчеров РЦ смежных зон управления по каналам диспетчерской связи. Полученную информацию о вылете, входе в район аэродрома, позывной аэродрома назначения и другую диспетчер вводит в систему управления. Метеоинформация (МИ) поступает из метеослужбы аэропорта по каналам телефонной или диспетчерской связи, а также в виде бланков и синоптических карт. Метеоданные отображаются на информационном табло, расположенном на пульте управления диспетчера круга и посадки, куда они вводятся диспетчером с метеопульта. Кроме того, метеоданные воспроизводятся на выносном индикаторе комплексной автоматической радиотехнической метеорологической станции «КРАМС-М», расположенной в диспетчерском зале.

КАОУ представляет собой аппаратуру оперативного (непосредственного) управления и состоит из двух частей: КАОУ секторов подхода (СП) и КАОУ секторов круга и посадки (КП). Эта аппаратура расположена в диспетчерском зале и состоит из двух пультов ДСП (по одному на сектор) и трех пультов ДКП для секторов круга, посадки и резервного. Пульта ДСП имеют три секции: диспетчера управления (рабочая и резервная) и диспетчера оператора (ассистента).

Пульта управления секторов подхода и круга имеют совмещенные телевизионно-знаковые индикаторы, называемые совмещенными

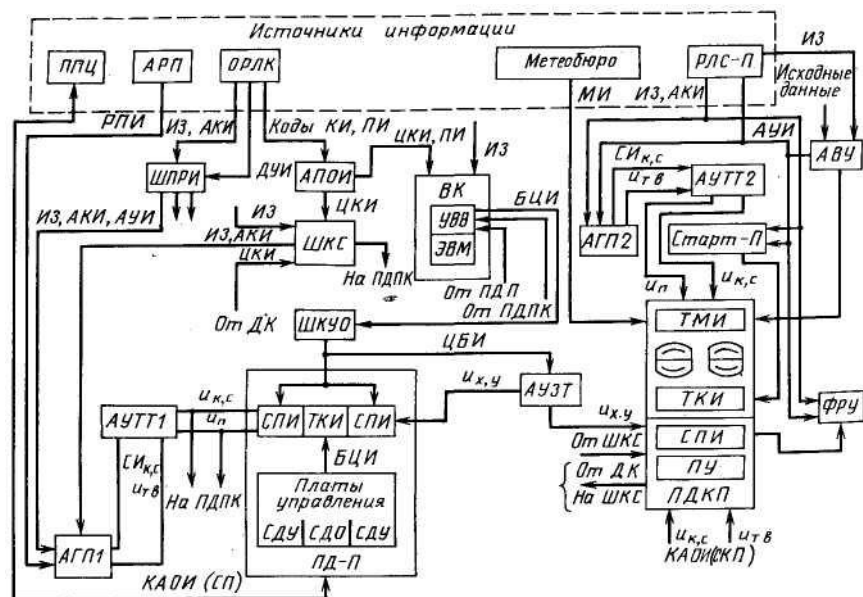


Рис. 13.1. Структурная схема АСУВД «Старт»

план-индикаторами (СПИ), на которых изображается модель обстановки УВД в виде аналоговой (координатной) или синтетической (цифровой, координатной, знаковой) и графической (динамической и статической) информации. На СПИ автоматически отображается информация о текущих планах полета (прилета, вылета, пролета зоны). В системе обеспечивается возможность взаимодействия с действующими трассовыми системами УВД. Пульта ДКП имеют телевизионные курсоглиссадные индикаторы с соответствующими платами управления. Качество выполнения диспетчерами пультовых операций автоматически проверяется, имеется сигнализация о выполнении операций и допущенных ошибках.

АСУВД обслуживается приемо-передающим радиоцентром (ППЦ), обеспечивающим радиосвязь с экипажами ВС и смежными зонами УВД.

В состав АСУВД входят также аппаратура дистанционного контроля технического состояния системы и его отображения, дистанционного управления и контроля источников информации и комплекс энергоснабжения и питания. АСУВД «Старт» позволяет проводить тренировку диспетчерского состава. Для этого на ее индикаторах воспроизводится модель обстановки УВД, она полностью резервирована — возможна работа с других рабочих мест или на резервной аппаратуре.

Функционирование АСУВД «Старт». Комплекс аппаратуры обработки информации состоит из двух частей: комплексов аппаратуры обработки информации сектора подхода (СП) и сектора круга и посадки (СКП). КАО (СП) включает: шкаф приема и распределения информации (ШПРИ), аппаратуру графekonного преобразования (АГП1), аппаратуру управления телевизионным трактом (АУТТ1), аппаратуру первичной обработки информации (АПОИ), шкаф координатных сигналов (ШКС), шкаф комплекса управления отображением (ШКУО), вычислительный комплекс (ВК), аппаратуру управления знаковым трактом (АУЗТ), работающим также и для обеспечения СПИ круга. Кроме того, КАОИ (КП) имеет в своем составе аппаратуру посадки, включающую телевизионный индикатор посадки, аппаратуру графekonного преобразования (АГП2), аппаратуру управления телевизионным трактом (АУТТ2), аналоговое вычислительное устройство (АВУ), а также в некоторых АСУВД аппаратуру «Старт-П» для автоматического определения отклонений ВС от ЛГ и ЛК и фоторегистрирующее устройство (ФРУ).

ШПРИ принимает от ПРК обзорной РЛС аналоговую координатную информацию (АКИ), импульс запуска (ИЗ) и дискретную угловую информацию (ДУИ) о текущем положении антенны в виде малых азимутальных импульсов, промодулированных функциями синуса и косинуса азимута, которые преобразуются в ШПРИ в аналоговую угловую информацию (АУИ), необходимую для работы АГП.

В АПОИ обрабатывается информация, получаемая от вторичного канала ОРЛК- При этом решаются задачи: обнаружения кодовых

посылок координатной и полетной информации (КИ и ПИ), измерения координат ВС (дальности и азимута), представления координат в цифровом виде (ЦКИ), формирования сообщений и передачи их в ШКС (только ЦКИ) и ВК (как ЦКИ, так и ПИ). В ШКС цифровая КИ преобразуется в аналоговую КИ, т. е. в видеопульсы, задержанные относительно ИЗ, полученных в ШКС от РЛК. Выработанная АКИ передается в АГП1. В ШКС несколько каналов обработки, каждый из них обеспечивает информацией один комплект АГП, который обслуживает СПИ одного диспетчерского пульта.

На ШКС подаются также цифровые коды КИ, вводимые диспетчером с помощью датчика прямоугольных координат (ДПК). В АГП1 видеосигналы АКИ трансформируются в телевизионные ($u_{тв}$) и с его выхода подаются на СПИ через АУТТ в виде напряжений подсветки ($u_{п}$). В АУТТ, кроме того, формируются подаваемые на СПИ напряжения кадровой и строчной разверток ($u_{КС}$) в соответствии с поступающими от АГП кадровыми и строчными синхроимпульсами.

Прием и выдача информации в ВК производятся с помощью устройства ввода и вывода (УВВ). В ВК поступает ЦКИ и ПИ с АПОИ, а также информация, вводимая диспетчерами со всех пультов управления (подхода и круга) и, кроме того, информация с пульта комплекса средств управления системой и контроля. ВК производит вторичную, т. е. за несколько обзоров обработку ЦКИ, привязывает поступившие координаты к известным траекториям, завязывает новые, определяет курсы и скорости ВС, упрежденные за 2 и 4 мин координаты места ВС, обрабатывает полетную информацию и выдает цифровую координатную и буквенную информацию (ЦКИ и БИ) для отображения.

В ВК рассортировывается ПИ по различного типа формулярам для их воспроизведения на СПИ, обрабатывается также информация, вводимая диспетчерами, в том числе и плановая (время и место вылета, время входа ВС в зону управления, аэродром назначения, заданная высота на трассе и др.), а также сигналы управления в соответствии с технологией работы, позывные ВС и др. ВК формируют признаки режима отображения (ПРЛ, ВРЛ, совмещенный), сигнал для отображения графической информации (вектора связки, вектора упреждения) и выдает их в соответствии с заданной программой. В ВК осуществляется также прием-передача управления ВС между секторами.

Вся буквенно-цифровая информация (БЦИ) с ВК поступает на ШКУО, а плановая БЦИ, вводимая диспетчером, воспроизводится на табло контрольной информации (ТКИ), размещенном на секции диспетчера-оператора, а затем по его команде через ВК также поступает в ШКУО. В ВК две ЭВМ. Одна из них при работе находится в нагруженном резерве. Машина — одноадресная, параллельного действия, с двоичным счислением 16-разрядными числами; быстродействие

по сложению 140 тыс. и по умножению 26 тыс. операций в секунду; долговременная память 32 768 слов, оперативная 4096.

Последовательность решения логических и вычислительных операций в ВК определяется несколькими программами: управления вычислительным процессом, вторичной обработки РЛИ, отображения информации, технического контроля и моделирования обстановки УВД для тренировки диспетчеров. Включение программ производится периодически от счетчиков времени, ведущих счет сигналов прерывания (через 10 мс) и синхронизируемых специальными импульсами.

Основной задачей ШКУО является регенерация БЦИ, поступающей с ВК. Здесь же регенерируются признаки векторов упреждения и признаки изменения интенсивности их подсвета. Частота регенерации 50 Гц. Если объем информации увеличивается и требует более 0,02 с на ее воспроизведение, частота регенерации снижается до 25 Гц.

Из ШКУО информация передается в АУЗТ1, в котором в соответствии с полученными признаками знаков вырабатываются напряжения типа u_x и u_y , определяющие положение луча знаковоспроизводящего прожектора на знаковой матрице характрона и на экране СПИ, т. е. вид отображаемого на СПИ знака. Все сигналы, идущие на СПИ ДСП, идут также на СПИ ДКП. Один из пультов ДКП обеспечивает информацией диспетчера круга, другой пульт используется диспетчером посадки, а изображение на его СПИ играет вспомогательную роль.

В АСУВД обеспечено резервирование отображения. Так, при выходе из строя ВК возможно отображение не только аналоговой, но и цифровой КИ, так как последняя преобразуется из цифровой в аналоговую в ШКС. При выходе из строя АПОИ возможно отображение информации только от ПРЛС.

Комплекс аппаратуры обработки информации для обеспечения посадки получает информацию о воздушной обстановке от РЛС-П в аналоговом виде: координатную — в форме видеосигналов (АКИ), а угловую о положении антенны — в виде синусно-косинусных напряжений (АУИ). На экране индикатора посадки, размещенного на пульте диспетчера посадки, воспроизводится прямоугольное курсо-глиссадное ТВ-изображение, поэтому сигналы АКИ и АУИ поступают на индикатор через АГП2. Линии глиссады и курса, а также метки дальности и контрольных азимутов рассчитываются в аналоговом вычислительном устройстве и преобразуются в ТВ-сигналы в АГП2 и АУТТ2.

При использовании комплекса аппаратуры посадки в режиме автоматического определения отклонений ВС от линий заданного положения работает аппаратура «Старт-П», которая размещается в КДП в отдельном шкафу. В ней автоматически проводятся следующие операции: обнаружение, сглаживание и экстраполирование координат ВС (азимута, угла места, дальности), расчет угловых

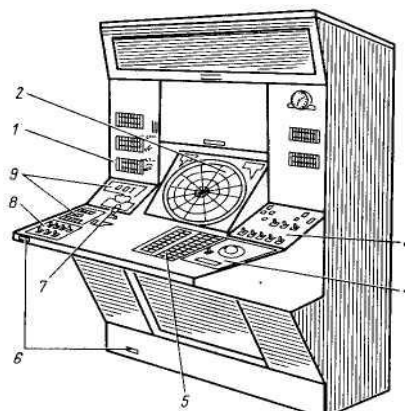


Рис. 13.2. Пульт диспетчера сектора подхода:

1— панель динамиков ГГС; 2— совмещенный план-индикатор; 3— панель управления; 4— датчик прямоугольных координат; 5— панель ввода данных; 6— разъемы микротелефонной гарнитуры и ножной тангенты; 7— сборка микрофонов; 8— панель управления радиосвязью с экипажами; 9— панели управления телефонной и громкоговорящей связью (ГГС)

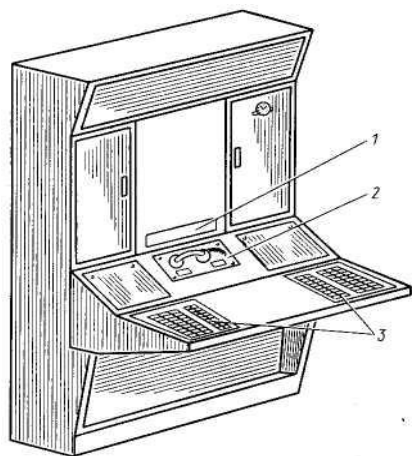


Рис. 13.3. Пульт оператора: 1— контрольное табло; 2— панель телефона; 3— панели управления

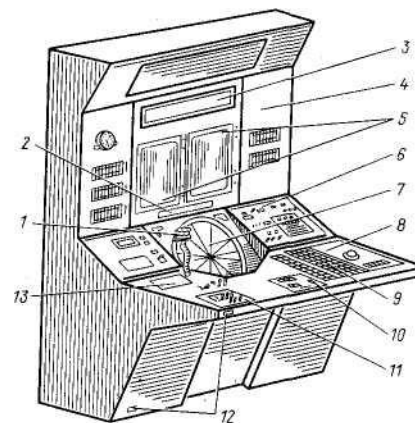
отклонений от заданных линий положения, расчет отклонений ВС от них и высоты полета, расчет параметров движения ВС (путевая скорость, путевой угол), передача значений отклонений для отображения на ТКИ. Отклонения от ЛК и ЛГ измеряются в пределах 200 м с дискретностью 10 м в плоскости курса и 5 м в плоскости глиссады. Высота полета измеряется до подхода ВС к точке входа в глиссаду в пределах 0...790 м с дискретностью 10 м. Обработка информации в АБУ ведется в аналоговом виде, т. е. в форме напряжений и временных интервалов. Перед выдачей информации на табло она переводится в двоично-десятичный код.

В связи со значительными флюктуациями интенсивности отраженных сигналов измерения отклонений могут иметь большие разбросы, что создает неуверенность в показаниях ТКИ, в связи с этим от аппаратуры «Старт-П» отказались. Координатная и угловая информация от РЛС-П поступает также на фоторегистрирующее устройство, для которого используется темновой радиолокационный курсоглиссадный индикатор РЛС-П.

Пульты диспетчеров. На пультах размещается оборудование, необходимое для выполнения диспетчерами задач оперативного управления (рис. 13.2... 13.4). Пульт диспетчеров подхода (ПДП) имеет три секции: две секции для диспетчера РЛ-управления (СДУ), одна из которых запасная, и одна для диспетчера-оператора (СДО). На крайних стойках ПДП и на стойке ПДКП размещаются СПИ, создающие

Рис. 13.4. Пульт диспетчеров круга и посадки:

1— микрофоны; 2— командное табло; 3— информационное табло; 4— панель динамиков ГГС; 5— диспетчерские курсоглиссадные индикаторы; 6— панель управления отображением; 7—совмещенный план-индикатор; 8— датчик прямоугольных координат; 9— панель ввода данных; 10— панель управления фотодокументированием; 11— панель радио- и громкоговорящей связи; 12— разъемы микротелефонной гарнитуры и ножной тангенты; 13— панель управления ГГС



ТВ-изображения модели обстановки УВД. Изображение может быть секторным или круговым. СПИ сконструирован на базе двух ЭЛТ: телевизионной, обеспечивающей отображение КИ, и знакопечатающей, с помощью которой воспроизводятся знаки. Размер знаков 3 мм, максимальное число знаков на экране 700, а различных формуляров 63. ТВ-изображение может быть позитивным или негативным. Проектор знакопечати расположен по оси ЭЛТ, а ТВ-проектор наклонно. Справа и слева от прожекторов имеются два окна. Одно обеспечивает получение на экране картографической информации (КГИ). Она создается объективом, размещенным в окне, и устройством для сменных диапозитивов. Смена диапозитивов производится автоматически при переключении масштаба развертки, изменении курса посадки или смещении центра развертки. КГИ содержит информацию о входных и выходных коридорах, РН-точках, точках обязательных донесений, обозначениях дальних и ближних приводов, взлетных полосах, траекториях снижения и захода на посадку, запретных зонах и т. д. Второе окно служит для фотографирования экрана.

Для СПИ используется ЭЛТ с рабочим диаметром 400 мм, имеются 3 масштаба изображения: 200, 100, 50 км. На экран может быть вызвана координатная сетка (дальность — азимут). Число строк разложения 1125. Цвет экрана — зеленый, цвет КГИ — желтый. Информация, отображаемая на СПИ пульта круга и посадки, имеет такой же состав, что и на СПИ диспетчера подхода (ДП), масштаб изображения 100, 50, 25 км.

Для отображения плановой информации перед вводом ее диспетчером-оператором (ДО) в систему на средней стойке пульта ДСП размещается контрольное табло (рис. 13.5) на электронных лампах.

На пульте диспетчера посадки и круга рядом друг с другом расположены по два диспетчерских ТВ-индикатора посадки (ДТИ-КГ), один из которых резервный. На экранах ДТИ-КГ одновременно

НОМЕР КОРРИДОРА	ВРЕМЯ	АЭРОДРОМ ВЫЛЕТА	АЭРОДРОМ НАЗНАЧЕНИЯ	НОМЕР БОРТА	ВЫСОТА
2	07	ЛД	ГК	42475	057

Рис. 13.5. Информация на контрольном табло

воспроизводятся вверху глиссадное, внизу курсовое изображения. Развертка изображений прямоугольная, нелинейная по дальности (близкая к логарифмической), которая создается четырьмя участками дальности с различными масштабами. Изображение может быть позитивным или негативным.

Для отображения информации об условиях посадки на ПДПК выше ДТИ-КГ располагается плата отображения аппаратуры «Табло» (рис. 13.6). Знаки воспроизводятся электронными газонаполненными лампами. Изображение процесса посадки на экране ДТИ-КГ и плата аппаратуры «Табло» фотодокументируются разовыми снимками по команде диспетчера или автоматически.

Автоматически измеренная аппаратурой «Старт-П» высота и значения отклонений ВС от линий глиссады и курса, направления отклонений и некоторые другие данные отображаются на табло командной информации, которое располагается на стойке диспетчера-оператора.

На пультах диспетчеров подхода (ПДП) и круга и посадки (ПДКП) установлены панели ввода данных, датчики прямоугольных координат и другая аппаратура, обеспечивающая управление отображением информации и управление воздушным движением.

С пульта ДКП производится управление включением и режимом работы РЛС-П, светотехническими средствами, аппаратурой «Старт-П», устройствами фоторегистрации и др. Для этого имеются специальные панели с органами управления. Вначале работы на пульте устанавливается режим его функционирования (круг, посадка, резерв), при этом исключается возможность проведения некоторых операций, например в режиме посадки исключается возможность использования пульта ввода данных.

НОМЕР БОРТА	МК ПОСАДКИ	НИЖНЯЯ КРОМКА БАЛЛОВ	ОБЛАЧНОСТЬ	ОПАСНЫЕ МЕТЕОЯВЛЕНИЯ	МЕСЯЦ	ЧИСЛО
00000	000	00	0000	0	00	00
ДАВЛЕНИЕ Р мм рт. ст.	ЧАСЫ	СКОРОСТЬ U м/с	НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА ПОРЫВЫ м/с	0 ГРОЗА 1 ТУМАН 2 ДИМКА 3 МЕЛА 4 ДИМ 5 ЛЬДЬ, ВЕРЯ 6 ДОЖДЬ 7 МОРОСЬ 8 СНЕГ 9 МЕТЕЛЬ	ТЕКУЩЕЕ ЧАСЫ	ВРЕМЯ МИНУТЫ
000	00 00	00	00 000	0000	00	00
МОМЕНТ НАБЛЮДЕНИЯ		ВЕТЕР				

Рис. 13.6. Информационное табло

Информация, воспроизводимая на СПИ. На экране СПИ воспроизводится модель обстановки УВД с помощью координатной и буквенно-цифровой и картографической информации (рис. 13.7). БЦИ используется для отображения: формуляров сопровождения (ФС), формуляров ожидания (ФО), табличных формуляров (ТФ), таблицы системных данных (ТСД), микротабло (МТ).

Формуляр сопровождения (рис. 13.8) воспроизводит полетную информацию, получаемую по ответному каналу, и дополнительную, введенную диспетчерами подхода и круга с пульта управления или от ВК (например, снижение или набор высоты).

Сопровождение — это процесс слежения за траекториями ВС. Оно может быть автоматическим — по результатам обработки информации,

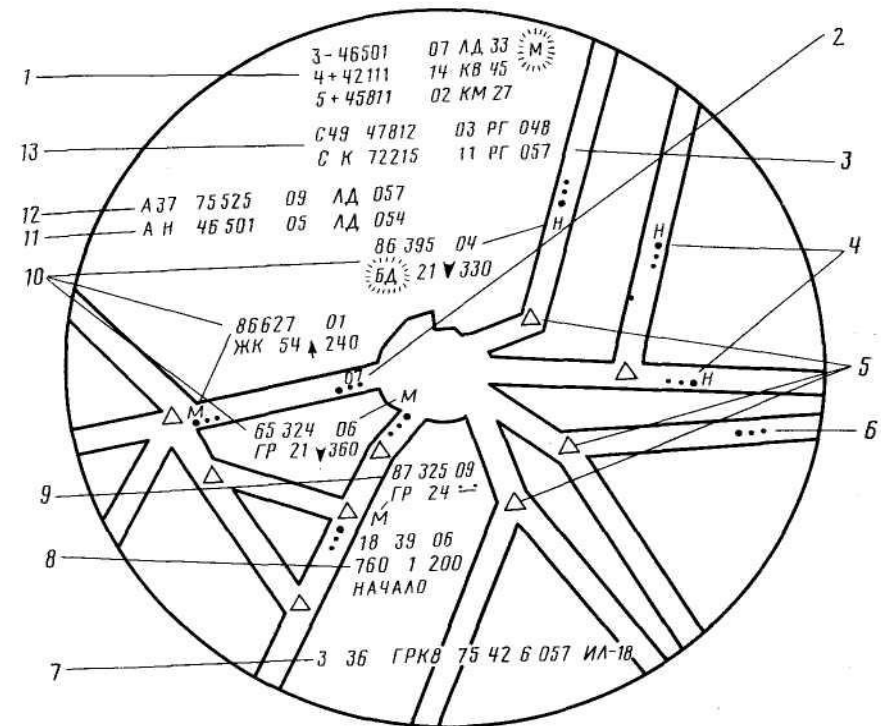


Рис. 13.7. Отображение модели обстановки УВД на СПИ:

1— табличный формуляр; 2— ФС переведен в табличный; 3— ФО вылетающего ВС, сопровождаемого диспетчером соседнего сектора; 4— ВС под управлением диспетчеров соседних секторов; 5— ОПСР коридора; 6— ВС вне зоны управления; 7— микротабло; 8— таблица системных данных; 9— ФС ВС, не оборудованного ответчиками; 10— ФС ВС, оборудованных ответчиками; //— ФО прилетающего ВС, сопровождаемого диспетчером соседнего сектора; 12— ФО прилетающего несопровожаемого ВС; 13— ФО вылетающего несопровожаемого ВС

КОД ОТВЕТЧИКА 42475 АД 54	НОМЕР ФОРМУЛЯРА 16	ПРИЗНАК ПЕРЕДАЧИ (Н)	КОД ОТВЕТЧИКА 42475 БД 54	ПРИЗНАК ОБРАЩЕНИЯ (+)	НОМЕР ФОРМУЛЯРА 16	ПРИЗНАК ПЕРЕДАЧИ (Н)
АЭРОПОРТ НАЗНАЧЕНИЯ ЗАДАННАЯ ВЫСОТА (ЭШЕЛОН) НАПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ ТЕКУЩАЯ ВЫСОТА	СИГНАЛ БЕДСТВИЯ ЗАДАННАЯ ВЫСОТА (ЭШЕЛОН)	КОД ОТВЕТЧИКА 42475 78 50	НОМЕР ФОРМУЛЯРА 12	КОД ОТВЕТЧИКА 42475 960	НОМЕР ФОРМУЛЯРА 12	ПРИЗНАК ОБРАЩЕНИЯ (+)
ВЫСОТА НА ТРАССЕ ОСТАТОК ГОРЮЧЕГО	ПУТЕВАЯ СКОРОСТЬ	АЭРОПОРТ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫСОТА ЗАДАННАЯ	АЭРОПОРТ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫСОТА ЗАДАННАЯ	АЭРОПОРТ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫСОТА ЗАДАННАЯ	АЭРОПОРТ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫСОТА ЗАДАННАЯ	АЭРОПОРТ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫСОТА ЗАДАННАЯ

Рис. 13.8. Формуляры сопровождения

Отметки от ВС отображаются различного вида символами, форма которых зависит от вида средства обнаружения ВС. За символом видны два следа (меньшей яркости) точек от отметок за два предыдущих обзора. Отметки и ФС соединены вектором-указателем. Рядом с отметкой ВС отображается индекс сектора подхода *M* или *H* (признак руководства). При согласовании между диспетчерами передачи управления ВС в смежный сектор признак передачи *M* или *H* начинает мигать.

В особых случаях первые два знакоместа второй строки в ФС отводятся признакам: РС — потеря радиосвязи, БД — авария на борту, НЭ — нападение на экипаж. На этих же местах могут быть буквы КС в случае, если код ответчика не назначен. Буквой А во второй строке или ее отсутствием на первом знакоместе отображается факт измерения на борту ВС баровысотомером высоты соответственно от уровня давления аэродрома или стандартного (760 мм). Если ВС летит на высоте ниже эшелона перехода, а на баровысотомере не установлено давление аэродрома, то ЭВМ системы пересчитывает поступившее значение высоты, измеренное относительно 760 мм, и на ФС отображаются высота относительно аэродрома и буква А, т.е. можно зафиксировать ошибку экипажа. В ЭВМ поступившая высота сравнивается со значением заданной и при их различии на 150 м в ФС вводятся символы снижения или набора высоты.

Дополнительная информация (признак передачи управления, аэродром назначения, символ направления изменения высоты) отображается в ФС ВС, управляемых данным диспетчером. Состав информации в ФС может быть сокращен до БН (позывного), признака руководства (символа сектора управления или до машинного формуляра). ФС от ВС, находящихся в смежных секторах управления, отображаются только индексом сектора, в котором находятся

поступающей в систему от РЛК, и полуавтоматическим — по данным, вводимым диспетчером. Результат сопровождения отображается на экране в виде формуляра сопровождения (ФС), который перемещается вместе с отметкой и вектором упреждения движения ВС. В системе возможно сопровождение как оборудованных ответчиками ВС (активных), так и не оборудованных ответчиками (пассивных). ФС «пассивных» ВС отличается тем, что на знакоместах текущей высоты в ФС отображается сочетание точек и тире.

ВЫЛЕТ	Несопровождаемые Л 49 42475 (+)16 МК 078 Аэропорт вылета Время вылета Код ответчика Признак обращения Номер формуляра Аэропорт назначения Эшелон на трассе Разреженный
	Сопровождаемые Л К 42475 (+)16 МК 015 Аэропорт вылета Признак руководства Код ответчика Признак обращения Номер формуляра Аэропорт назначения Высота заданная
ПРИЛЕТ	Несопровождаемые 49 42475 (+)16 АД 051 Время прибытия Код ответчика Признак обращения Номер формуляра Аэропорт назначения Эшелон ввода
	Сопровождаемые Н 42475 (+)16 АД 027 Признак руководства Код ответчика Признак обращения Номер формуляра Аэропорт назначения Высота заданная

Рис. 13.9. Формуляры ожидания

эти ВС. Изменения в ФС происходят в некотором интервале, устанавливаемом оператором, от границ секторов в плане и по высоте (450 и 150 м). При обращении диспетчера к ФС в нем отображается мигающий знак «+». В случае наложения двух ФС один из них автоматически смещается в другое возможное место его воспроизведения у отметки.

Формуляры ожидания (рис. 13.9) содержат информацию о вылетающих и прилетающих ВС. ФО вылета (прилета) располагаются у коридоров вылета или в другом месте экрана СПИ в виде списка (таблицы), упорядоченного по времени взлета или прилета. Местоположение ФО диспетчер может изменять.

ФО воспроизводятся за 5 мин до планируемого времени взлета или пролета РНТ входного коридора на СПИ тех диспетчеров, через пространство управления которых ВС будет лететь. ФО перестает

отображаться на экране СПИ того сектора, в котором происходит управление. На остальных СПИ в ФО вместо времени взлета отображается индекс сектора, где находятся данные ВС. Диспетчер может менять время в ФО. Формуляр сбрасывается через 20 мин после обозначенного времени, если ВС не было взято на сопровождение.

Табличные формуляры (ТФ) служат для осуществления процесса передачи управления из сектора в сектор (рис. 13.10). В них отображаются полетная информация, а также индекс (номер) коридора входа (выхода), номер ФС, аэропорт назначения или признак особого случая, заданный эшелон, символ изменения высоты и индекс диспетчера. ТФ располагаются в определенных местах СПИ, которые диспетчер может менять. Таблица упорядочена по номерам коридоров и по времени.

ТФ	<p>1+ 42475 (+) 12 ЛД 18 ↑ Н</p> <p>Код ОТВЕТЧИКА</p> <p>НОМЕР КОРИДОРА " + " НАЛИЧИЕ ОТВЕТЧИКА " - " ОТСУТСТВИЕ</p> <p>ПРИЗНАК ОБРАЩЕНИЯ НОМЕР ФОРМУЛЯРА</p> <p>АЭРОПОРТ НАЗНАЧЕНИЯ</p> <p>ВЫСОТА ЗАДАННАЯ</p> <p>НАПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ</p> <p>ПРИЗНАК ПЕРЕДАЧИ</p>					
ТСД	<p>ВРЕМЯ</p> <p>ЧАСЫ МИНУТЫ СЕКУНДЫ</p> <p>18 21 49</p> <p>759 1200</p> <p>АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА АЭРОДРОМЕ</p> <p>ЭШЕЛОН ПЕРЕДАЧИ</p> <p>Сигнал об ошибке в пульт. операц.</p> <p>ОШБ</p>			<p>ВРЕМЯ</p> <p>ЧАСЫ МИНУТЫ СЕКУНДЫ</p> <p>13 21 52</p> <p>759 1200</p> <p>НАЧАЛО</p> <p>Сигнал о возможности начать пульт. операц.</p>		
МТ	<p>4 58 ЛД84 42475 057 ТУ04</p> <p>НОМЕР КОРИДОРА</p> <p>ВРЕМЯ ВХОДА, МИН</p> <p>АЭРОПОРТ ВЫЛЕТА</p> <p>АЭРОПОРТ НАЗНАЧЕНИЯ</p> <p>Код ОТВЕТЧИКА</p> <p>ВЫСОТА НА ТРАССЕ</p> <p>Позывной</p> <p>Тип ВС</p>					

Рис. 13.10. Табличные формуляры, таблицы системных данных, микротабло

Таблица системных данных (ТСД) (рис. 13.10) содержит справочные сведения (время до секунд, давление на аэродроме, эшелон передачи управления), служебные сигналы (возможность начала пульт. операции или о допущенной ошибке).

Микротабло предназначено для контроля содержания информации, вводимой диспетчером в ФС перед вводом ее в ЭВМ, и, кроме того, обеспечивает исправление допущенных при вводе ошибок, а также служит для вызова дополнительной информации, не отображаемой в ФС, ФО и ТФ. Место отображения диспетчер может изменять.

Оборудование, обеспечивающее функционирование системы. Для технического обслуживания системы имеются встроенные приборы контроля работы наиболее важных видов аппаратуры. За техническим состоянием системы можно следить по мнемосхеме, размещенной на пульте технического управления и контроля. С пульта производятся включение, выключение и переключение на резервный режим работы. Схема мнемоиндикатора показывает также связь между устройствами системы и позволяет изменять ее конфигурацию.

Комплексы управления и их контроля, электроснабжения и питания предназначены для дистанционного и местного управления аппаратурой, расположенной на радиолокационной позиции и на КДП, для передачи информации о параметрах различных устройств и сигнализации их состояния, осуществления автоматического и ручного резервирования каналов передачи, подключения источников и потребителей информации к магистралям, генерации контрольных сигналов точек, линий, формуляров и проведения проверок аппаратуры системы.

Комплекс электроснабжения и питания принимает и распределяет электроэнергию по потребителям, автоматически резервирует входные фидеры, защищает и коммутирует цепи распределения электроэнергии, осуществляет контроль и сигнализацию о состоянии электроснабжения.

13.2. Аэродромная и аэроузловая автоматизированная система УВД «Спектр»

Система АСУВД «Спектр» предназначена для УВД в районе аэродрома или аэроузла размерами соответственно до 300x300 км и до 400x400 км. Система создана по комплексному принципу построения, по которому состав комплекса зависит от конкретного района использования.

В АСУВД «Спектр» осуществляется полный цикл управления воздушным движением от предварительного (суточного) планирования полетов до руления и старта. Система обеспечивает: сбор, хранение, обработку, рассылку и отображение информации о планах полетов; сбор, обработку и отображение координатной и полетной

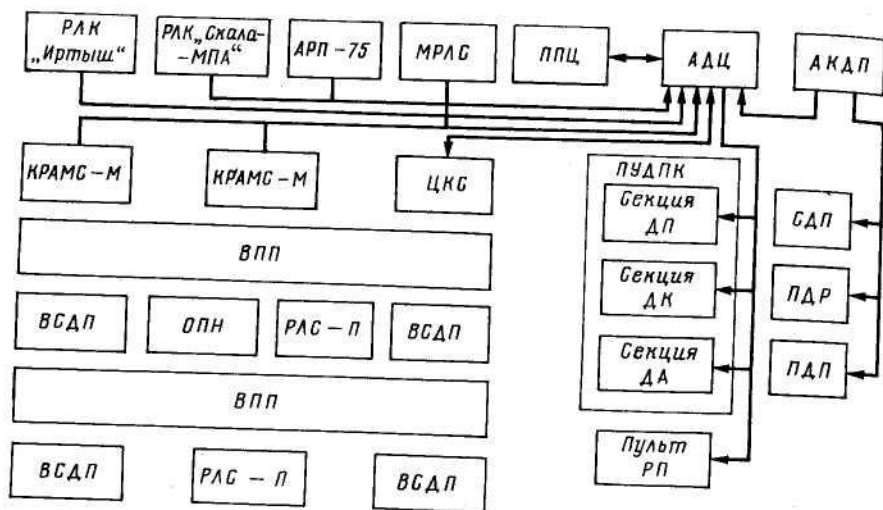


Рис. 13.11. Обобщенная структурная схема АСУВД «Спектр»:
 АКДП — аэродромный командно-диспетчерский пункт; ДП — диспетчер полетов; ДА — диспетчер-ассистент; ДК — диспетчер круга; РП — руководитель полетов; СДП — стартовый диспетчерский пункт; ДПР — диспетчерский пункт руления; ПДП — пульт диспетчера посадки; ВСДП — выносной диспетчерский пункт; ОПН — основной пункт наблюдения; ВПП — взлетно-посадочная полоса; ЦКС — центр коммутации сообщений

информации, поступающей от первичного и вторичного каналов ОРЛК; получение информации от АРП и отображение линии пеленга; обнаружение потенциально конфликтных ситуаций между ВС, а также ВС с наземными объектами и выдачу диспетчерам информации о них; автосопровождение до 50 ВС при аэродромном варианте системы и до 100 ВС при аэроузловом; взаимодействие центра управления АДЦ с АКДП (посадки, руления, старта), а также со всеми метеопунктами; взаимодействие с трассовой АСУВД; упорядочение потоков ВС, заходящих на посадку; управление заходом на посадку и радиолокационный контроль посадки. Схема размещения основных частей АСУВД «Спектр» приведена на рис. 13.11.

АСУВД имеет несколько подсистем:

«Спектр-АДЦ» — аппаратура аэродромного диспетчерского центра, обеспечивающая УВД в секторах подхода и круга;

«Спектр-П» — аппаратура диспетчерских пунктов, обеспечивающая полеты ВС в зоне захода на посадку и движения ВС в зоне посадки;

«Спектр-АКДП» — аппаратура, обеспечивающая УВД ВС в границах зон ответственности руководителя полетов аэродрома и диспетчеров руления и старта.

Основным источником РЛИ для АСУВД «Спектр» является ОРЛК-А «Скала МПА». Однако могут быть использованы РЛС

старых типов, такие, как П-35м и П-37 совместно с ВРЛС «Корень-АС, а также РЛС «Иртыш». Часть системы, обслуживающая посадку («Спектр-П»), получает РЛИ от РЛС-П типа РП-3Г или РП-4Г. ОРЛК-А «Скала-МПА» сопрягается с АСУВД с помощью АПОИ «Обзор-С». Другие РЛС используют для этого АПОИ «Вуокса». От них в систему поступает координатная и полетная информация, причем координатная информация передается как в цифровом, так и в аналоговом виде. От РЛС поступает также и угловая информация о текущем положении антенны. В системе фиксируется время обнаружения целей. Пеленгационная информация идет в систему от автоматических восьмиканальных доплеровских радиопеленгаторов типа АРП-75. Аналоговая информация с АРП преобразуется в цифровые коды с помощью устройств сопряжения.

Метеорологическая информация получается от аппаратуры метеообеспечения аэропортов типа «Метеоячейка-С2», в которую входят: две комплексные автоматические радиотехнические метеорологические станции (КРАМС), метеоприставка к РЛК «Скала-МПА» и авиационные метеорологические гражданские станции (АМСГ). Метеоинформация поступает также и от центра коммутации сообщений (ЦКС) (например, погоды на запасном аэродроме и аэродроме посадки). Информация о планах полетов передается в систему через ЦКС и от АКДП аэродромов системы «Спектр». Для обеспечения связи в АСУВД имеются оконечные устройства радиосвязи и приемопередающий центр (ППЦ). Имеются также устройства приема и передачи телеграмм и сообщений, содержащих метеоинформацию, информацию о планах полетов и сообщения по УВД.

Комплекс голосовой связи имеет на пультах диспетчеров оконечные устройства радио- и наземной диспетчерской связи и обеспечивает связь «земля — борт», а также внутренние и внешние наземные связи.

«Спектр-АДЦ». Аппаратура АДЦ размещается в центре УВД. В АДЦ принимается информация от РЛК, АРП, метеостанций, приемопередающего радицентра (ППЦ), от центра коммутации сообщений, от смежных служб и систем УВД. Эта информация хранится, обрабатывается и отображается на диспетчерских рабочих местах, а также рассылается в виде сообщений на выносные КДП и во взаимодействующие службы и системы УВД. В состав аппаратуры диспетчерского центра (АДЦ) входят следующие комплексы аппаратуры и устройства (рис. 13.12):

модемы аппаратуры передачи данных (АПД) для приема координатной и полетной информации, а также модемы АПД, принимающие плановую информацию;

устройства сопряжения с аналоговыми источниками информации;

комплекс аппаратуры обработки плановой координатной и полетной информации и выработки команд управления комплексом (КАОИУ);

комплекс аппаратуры отображения информации (КАОИ);
 комплекс аппаратуры документирования (КАД) «Память-С2»;
 комплекс аппаратуры голосовой связи (КГС);
 комплекс технических средств контроля (КТСК);
 комплекс средств электроснабжения и питания (КСЭП);
 аппаратура системы единого времени (АСЭВ).

Основным звеном КАОУИ является двухмашинный вычислительный комплекс (ВК) на базе ЭВМ «Наири-4с». В первом вычислительном звене производится обработка планов полетов, а во втором — обработка радиолокационной информации, сопоставление (контроль) плановой и текущей, полученной по результатам измерений, информации; обработка данных, поступающих с пультов диспетчеров и от взаимодействующих служб УВД; решение задач автосопровождения ВС; прогнозирование их координат; обнаружение конфликтных ситуаций; формирование информационных формуляров,

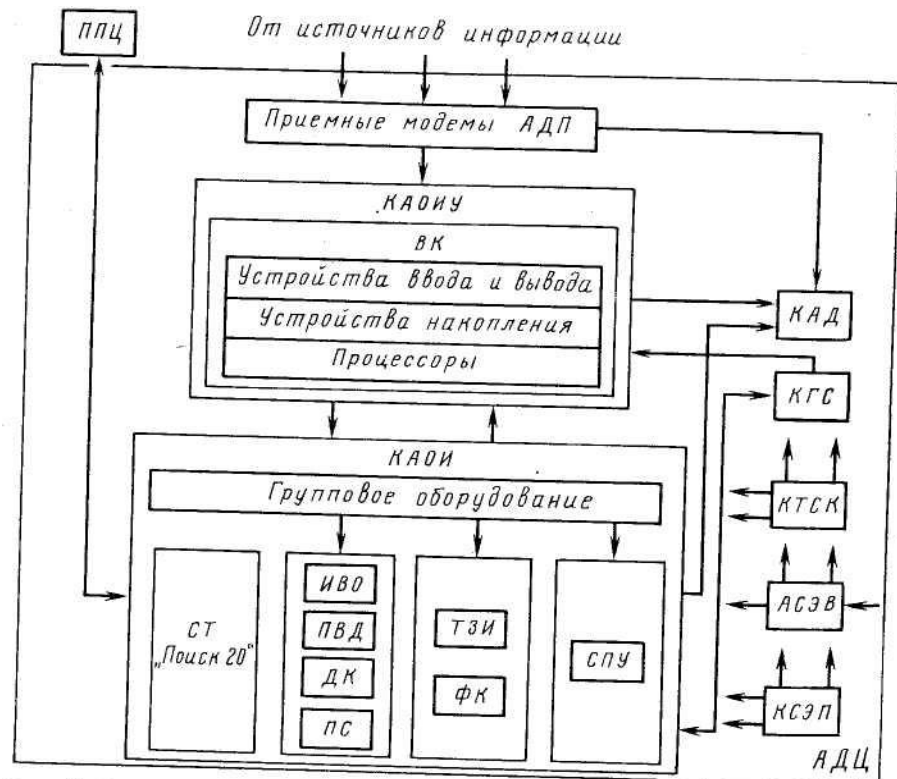


Рис. 13.12. Структурная схема аппаратуры системы «Спектр» в аэродромном диспетчерском центре

списков, табло; распределение информации по секторам управления и в смежные службы и системы УВД; передача управления в смежные секторы и др.

Система обеспечивает работу диспетчерских рабочих мест различного назначения: руководителя полетов (РП), диспетчеров подхода (ДП), диспетчера круга (ДК), диспетчеров процедурного контроля, ассистентов-диспетчеров (ДА), диспетчеров руления (ДР), старта (СД) и посадки (ДП).

Рабочие места диспетчеров каждого из секторов УВД расположены у пультов управления диспетчеров подхода и круга (ПУДПК).

Каждый сектор подхода обслуживается диспетчерами радиолокационного управления, процедурного контроля и ассистентом. Сектор круга обслуживают два диспетчера: круга и ассистент. Все диспетчеры имеют секционированные пульты управления. Пульты секторов подхода имеют по три секции, а круга — две секции. Пульт управления РП расположен отдельно.

В КАОИ для отображения информации используются индикаторы воздушной обстановки (ИВО), таблично-знаковые индикаторы (ТЗИ), стрипопечатающие устройства (СПУ) и панели стрипов, а также диапозитивные светотабло «Поиск-20». ИВО предназначены для воспроизведения модели обстановки УВД (ВО и условий УВД). Ими оборудованы рабочие места РП и диспетчеров, контролирующих ВД. В АСУВД «Спектр» применяются два вида индикаторов ИВО-3 и ИВО-1: ИВО-3 — на рабочих местах диспетчеров АДЦ, ИВО-1 — на РМ диспетчеров АКДП. На этих индикаторах может отображаться одна и та же информация. Индикаторы отличаются друг от друга только размерами, ИВО-3 имеет диаметр 60 см, а ИВО-1 — 45 см. Цвет фона изображения голубой. Блок ЭЛТ индикатора ИВО-1 диспетчеров АКДП размещен на поворотной панели.

На пульте диспетчера расположены платы (ФК) с клавиатурой функциональной и для набора БЦИ, датчик прямоугольных координат (ДК) и органы управления изображением, оконечными устройствами связи.

Вид и содержание информации, отображаемой на ИВО. Аппаратурные модули обоих типов ИВО, которые называют также координатно-знаковыми индикаторами (КЗИ), обеспечивают отображение на их экранах координатной, знаковой и графической информации, поступающей от РЛС, АРП и от ВК. Система имеет три режима отображения:

I (основной) — совмещенный, с разделением времени, возможно совместное отображение синтетической и аналоговой информации;

II (дополнительный), при котором вся информация отображается синтетическим методом;

III (резервный) — радиолокационный с отображением аналоговой информации от РЛК и АРП. При этом возможно отображение сетки меток дальности и азимута.

При отказе ВК резервный метод работы осуществляется аппаратурой шкафа радиолокационного шунта (ШРШ). При этом возможны: автоматическое сопровождение до 50 ВС, оборудованных ответчиками; ввод и отображение на ИВО и ТЗИ информации об элементах планов полетов; прием и отображение на ТЗИ метеоинформации о фактической погоде в районе ВПП; отображение на ИВО цифровой пеленгационной информации.

Модель обстановки УВД на экране ИВО отображается с помощью следующих видов информации: картографической, координатной и знаковой, таблично-знаковой, сигналов бедствия и опознавания, границ зон, ограничения полетов, метеорологической и др. В состав картографической информации входят: границы коридоров, границы секторов управления, обозначения приводных радиостанций; взлетно-посадочные полосы с продолжением оси действующей ВПП; схема маршрутов взлета и захода на посадку; препятствия и высоты; обозначения пунктов обязательных донесений, маршруты полетов в зоне ожидания; границы временных и постоянных зон ограничений воздушного пространства; вспомогательные линии для управления ВС в маневровой зоне, линий границ коридоров и секторов, треки по плану, границы зон ограничения полетов, траектории перемещения радиозондов, границы препятствий, ВПП, продолжение ее оси и др.

Метеоинформация включает зоны опасных метеоявлений с направлением и скоростью перемещения, а также метеоформуляр (фактическая погода). Таблично-знаковая информация на ИВО отображается в виде списков: входа, зоны ожидания, потерь, вылета и табло системных данных.

Знаки и векторы воспроизводятся функционально-векторным методом по сигналам «Синтетика-Х» и «Синтетика-У», вырабатываемым в вычислительном комплексе. По этим сигналам формируются напряжения для синтетической знаковой и векторной информации в необходимых местах на КЗИ. Эти напряжения поступают на входы координатных усилителей горизонтального и вертикального отклонений луча ЭЛТ во время его обратного хода. При прямом ходе происходит запоминание кодов ЦБИ и векторов. Алфавит отображаемой информации имеет 123 знака. В него входят арабские цифры, буквы русского и латинского алфавитов и специальные знаки. Непрерывность наличия изображения на ЭЛТ обеспечена регенерацией информации с частотой 50 или 25 Гц в зависимости от объема отображаемой информации. Частота регенерации может плавно изменяться. Время отображения одного знака 10 мкс. Всего на экране может быть отображено до 1300 различных знаков. Знаки по выбору диспетчера могут иметь три размера от 3 до 6 мм.

Линии и векторы могут быть сплошными, штриховыми, штрих-пунктирными. Знаки и штриховые линии имеют две градации яркости и могут мигать. Имеется раздельная регулировка яркости изображения: карты, формуляров, таблиц, координатных меток, векторов и общего изображения. Центр изображения может быть смещен, а масштаб плавно изменен с помощью специального кнопочного устройства.

Информация, которая может быть отображена на экране ИВО, показана на рис. 13.13. Подробно содержание формуляров, отображенных на экране, рассмотрено далее. Координатная информация отображается отметками различной формы в зависимости от источника и вида информации, использованной для отображения координат. Рядом с отметкой имеется знак кода диспетчеров (секторов), под управлением которых находятся ВС, а также вектор, соединяющий отметку и формуляр сопровождения. Кроме отметки ВС, показаны следы положения ВС в предыдущих обзорах. Возможно отображение линии определения азимута и дальности между двумя точками, ломаных линий маршрута движения ВС (треки полета по плану) с указанием времени и высоты пролета пунктов.

Формуляр сопровождения (ФС) — трехстрочный, порядок расположения информации в ФС следующий (рис. 13.14): поле 1: опознавательная информация — радиотелефонный позывной (бортовой, регистрационный) номер борта или номер рейса для иностранного ВС; поле 2: массовая категория ВС (Х, М, Л — тяжелый, средний, легкий); поле 3: текущая высота полета. При нахождении ВС ниже высоты пересчета (эшелон перехода 150 м), принятая от ответчика высота («стандартная») пересчитывается для диспетчера круга в высоту относительно уровня ВПП, при этом на первом месте отображается буква А; поле 4: высвечивается символ направления изменения высоты (набора, снижения); поле 5: заданный эшелон полета; поле 6: рассчитанная в ВК путевая скорость ВС; поле 7: эшелон на трассе (впереди символ Х) или эшелон передачи управления (впереди символ С или буквы кода аэродрома назначения). Кроме этого, по запросу диспетчера во всех ФС управляемых им ВС в третьей строке могут отображаться: остаток топлива в процентах или в минутах полета, азимут и расстояние до ВС от определенной контрольной точки (впереди каждой из двух трехзнаковых групп цифр отображаются буквы А и Д).

Предусмотрена также возможность отображения в будущем в 1 и 2 полях ФС восьмизначного адресного позывного.

При сообщении об опасной высоте, точнее о тенденции к снижению высоты ниже минимального уровня безопасной высоты около отметки цели появляется буква В или в ФС на 2...7 знакоместе вводятся слово «Высота» и мигающий режим их отображения.

Конфликтная ситуация, определенная в ВК по различным алгоритмам, отмечается буквой К, располагающейся около отметки цели или введением слова «Конфликт» на 2...7 знакоместах ФС и мигающего

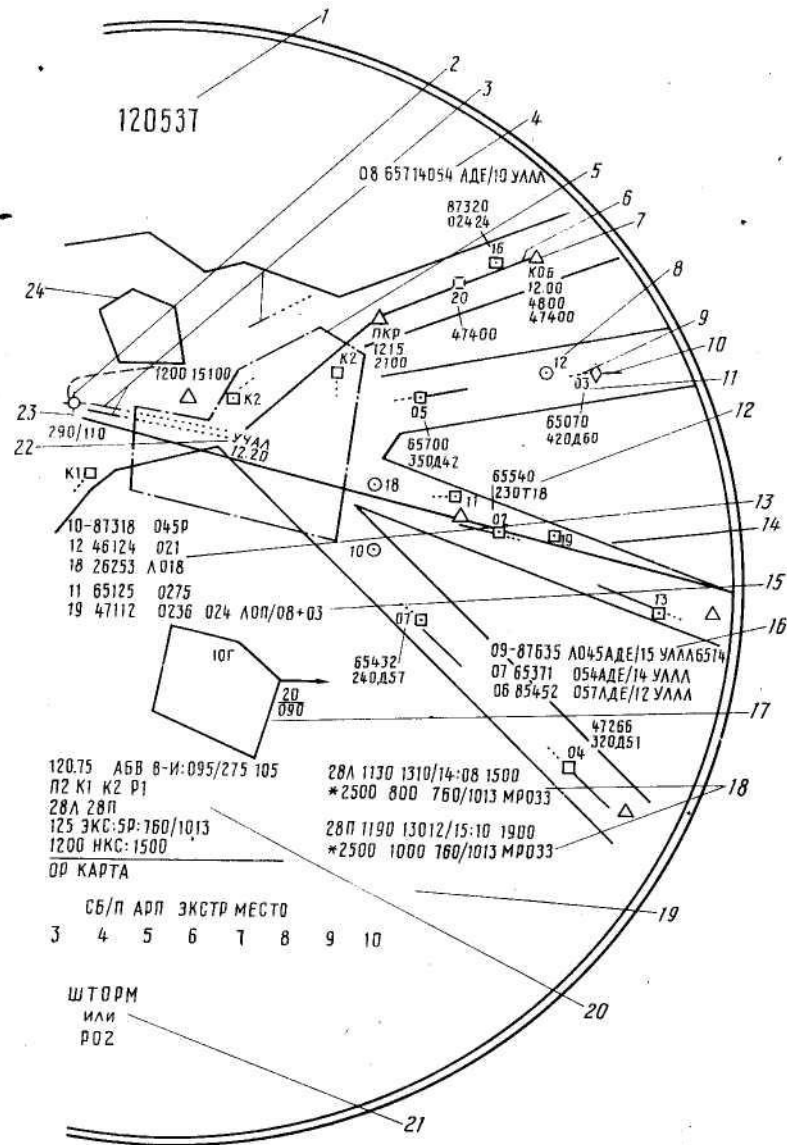


Рис. 13.13. Информация, отображаемая на экране ИВО системы «Спектр»: 1— системное время; 2— отметка радиозонда, его траектория и формуляр; 3— взлетно-посадочные полосы и проекции траекторий захода на посадку; 4— формуляр списка входа (прилета); 5— граница сектора круга; 6— маршрут по плану; 7— отдельная приводная радиостанция (ОПРС) в пункте Кобоны, полет в 12.00 на высоте 4800 м, БН 47400; 8— отметки ВС, потерявшего АС и переведенного в список потерь, ВС ранее сопровождалось каналом 2; 9— след движения ВС; 10— вектор управления; 11— номер канала автосопровождения; 12— формуляр сопровождения ВС по данным ВРЛС; 13— список потерь; 14— границы коридоров; 15— список формуляров зоны ожидания; 16— список формуляров входа (прилетов); 17— зона опасных метеоявлений; 18— метеоформуляры по двум ВПП; 19— функции активизации и номера их клавиш; 20— таблица системных данных; 21— штормовое предупреждение или запуск радиозонда и его номер; 22— код аэропорта и время подлета к полосе; 23— пеленг и оценка прямого (обратного) пеленга; 24— граница зоны опасных метеоявлений

Кроме ФС, на экране ИВО отображаются следующие списки и табл.

Список входа представляет собой перечень ВС с активизированными планами полетов, которые через 7 мин войдут в зону управления диспетчера данного сектора. Строки списка упорядочены по мере возрастания времени входа. Информация создается на основе активизированных планов "полетов, т. е. введенных из памяти ВК или диспетчером. Место расположения на экране выбирается диспетчером.

В списке входа имеются формуляры вылета и прилета. Приведем примеры этих формуляров и их содержание. Так как они имеют до 32 знакомест, то здесь строку пришлось разделить на две части.

Формуляр вылета в списке входа

```

2 8 8 6 4 3 1 X Л Р 0 6
У П Р Р С 0 9 0 6 4 1 0

```

Здесь 28— идентификатор строки; пропуск — признак отсутствия ответчика; 86431— бортовой номер; X— массовая категория; Л/06— аэропорт вылета и время вылета; УППР — аэропорт назначения; С090— высота на трассе в сотнях метров; 6410— код ответчика.

Формуляр прилета в списке входа

```

0 7 — 9 1 6 3 5 Л 0 4 5
Л Д Е / 3 8 У Л Л Л 6 5 1 4

```

Здесь 07—идентификатор строки; пропуск — признак отсутствия ответчика; 91635— бортовой номер; Л — весовая категория; 045— высота входа; ЛДЕ — точка входа; /— раздел; 38— время входа; УЛЛЛ — аэропорт назначения; 6514— код ответчика.

7		2
3	4	5
6		7

Рис. 13.14. Форма формуляра сопровождения отметки ВС в АСУВД «Спектр»

режима. Нарушение норм эшелонирования отмечается буквой Н около отметки и мигающим режимом. Сообщения об опасной высоте, конфликтной ситуации и нарушении эшелонирования вводятся в отображение автоматически.

Список зоны ожидания — перечень ВС, находящихся в зоне ожидания (направленных туда диспетчером). Строки списка располагаются в порядке возрастания значений заданных высот снизу вверх. Если информация о заданной высоте отсутствует, то эта строка располагается в нижней части списка в порядке времени поступления. В строке формуляра ожидания (ФО) 33 знакоместа.

Формуляр ожидания

```

0 7   8 6 3 1 8   X   0 2 7 5
2 7   Л 0 П / 1 0 + 0 8   Б Д

```

Здесь 07— идентификатор строки; пропуск — признак отсутствия ответчика; 86318— бортовой номер (позывной); X — массовая категория; 0275— высота текущая, десятки метров; 27— высота заданная, сотни метров; ЛОП — точка выхода из зоны ожидания; /— раздел; (+)— признак необходимости передачи задержки на ВС; 08— задержка в зоне ожидания, мин, БД — сигнал бедствия.

Список потерь — это перечень ВС, радиолокационная информация о которых не поступила в течение трех обзоров РЛС или поступает нерегулярно. При возобновлении поступления информации сопровождение активного ВС восстанавливается автоматически, и соответствующая строка в списке стирается. В случае пассивного ВС, т. е. неактивизированным планом ввод в сопровождение производится вручную. Информация в списке потерь сохраняется в течение 10 мин, после чего стирается. Вводом в строку буквы «З» диспетчер запрещает автоматический перевод информации строки в формуляр сопровождения. Одновременно эта буква запрещает автоматическое стирание записи. Вводом буквы Р запрещается автоматическое стирание строки. Оно может быть выполнено с помощью ручной операции.

Список упорядочен по высотам снизу вверх.

Формуляр потерь в списке потерь

```

1 0   8 6 3 1 8   X   0 4 5   Р   П 1

```

Здесь 10— идентификатор строки; пропуск — признак отсутствия ответчика; 86318— бортовой номер (позывной); X— массовая категория; 045— заданная высота полета в сотнях метров; Р— признак запрета автосброса; П1— признак сектора при передаче управления.

Список вылета — это перечень ВС, ожидаемых диспетчером для приема на управление и совершающих вылет в географических границах сектора. Содержание формуляров аналогично предыдущим: идентификатор строк, признак отсутствия ответчика, позывной; массовая категория; аэропорт вылета; аэропорт назначения; высота на трассе; код ответчика.

Статическое табло системных данных (ТСД) предоставляет диспетчеру сведения о ранее выполненных ими действиях и их результатах. Так, например, ТСД может иметь следующий вид:

```

АРП = 12075   В И   095 = 275 105
БП = П2
ВПП = 28Л   28П 05
МСШ = 125   ЭКС = 3   Р = 760/1083
ЭП = 1200 НСК = 1500
ЕТД   УУЛЛЛ   ФОРМАТ

```

На табло показаны: выбранные диспетчером АРП и их рабочие частоты; выбранный диспетчером сектор для быстрого просмотра (БП); рабочие курсы (магнитные) правой и левой ВПП; масштаб информации (МСШ) на ИВО; выбранное диспетчером время в минутах для вектора экстраполяции (ЭКС) места ВС; атмосферное давление (*p*) на уровне ВПП (мм рт. ст./гПа); эшелон (ЭШ) перехода, м; высота сектора курса (НСК), м; ЕТД — расчетное время вылета; УУЛЛЛ — набранный диспетчером аргумент; ФОРМАТ — сообщение системы об ошибке в аргументе функции.

Зона опасных метеоявлений (ОМЯ) с формуляром, отображаемым по вызову диспетчера, содержит: тип ОМЯ, максимальную и минимальную высоты, км; скорость перемещения, км/ч; направление перемещения. Всего ОМЯ не более четырех, их границы обозначены сплошными линиями многоугольника.

Метеоформуляр

```

2 8 Л   11 8 3 0   1 3 0 1 0 / 1 4 : 0 8   1500
2 5   0 0   8 0 0 . 7 6 0 / 1 0 1 3   М Р033

```

Здесь 28Л — наименование и рабочий курс ВПП; 1830— время наблюдения; 130— направление ветра; 10— средняя скорость; /— знак раздела; 14— максимальная скорость, м/с; (:)— раздел; 08— боковая составляющая ветра (м/с); 1500— видимость, м; 2500— видимость огней высокой интенсивности, м; 760/1013— давление на уровне ВПП, мм рт. ст./гПа; МР — состояние ВПП; 033— коэффициент сцепления на ВПП.

Запретные зоны — это зоны воздушного пространства, запрещенные для полетов на все или ограниченное время. На ПВО границы этих зон приведены в плане, а внутри зон имеются формуляры ограничений:

ПЗ Р01
1200/1300
120/150

Здесь ПЗ— символы обозначения зоны; Р01— номер зоны; 1200/1300— время действия; 120/150— нижний и верхний эшелоны, сотни м.

Для представления текущей плановой и справочной информации о прилете и вылете ВС, их движении по аэродрому и нахождении на стоянках широко используются таблично-знаковые индикаторы и стрипопечатающие устройства. В системе «Спектр» используются ТЗИ типа РИН612. Они располагаются на рабочих местах руководителя полетов и диспетчеров. В системах АСУВД их

много. Так, например, в АДП а/п Пулково один ТЗИ имеется на РМ руководителя полетов, 11 на РМ диспетчеров (кроме РМ диспетчера посадки), 4—на РМ диспетчеров старта и руления 2— в зале технического контроля.

В ЗИ РИН-612 применяется телевизионный метод отображения информации. Цвет свечения экрана зеленый, его размеры 210x150 мм. На экране может размещаться до 25 строк по 80 знаков в каждой.

Блоки индикации и управления ТЗИ обеспечивают прием информации, ее обработку и преобразование в ТВ-видеосигнал, т. е. формирование сигналов изображения в виде информационных цифровых кодов, которые подаются на знакогенераторы ТЗИ, где вырабатываются сигналы подсвета, выдаваемые на ЭЛТ в момент нахождения луча трубки на том месте кадра, на котором должен быть воспроизведен элемент знака. Информация может быть форматная (табличная) или неформатная (текстовая). Так, например, на ТЗИ диспетчера процедурного контроля сектора подхода (рис. 13.15) воспроизводится следующая информация.

В первой строке каждого ТЗИ обозначаются код сектора и информация о наличии штормового оповещения. Здесь же — информация о выбранной странице списка, т. е. к чему относится содержание

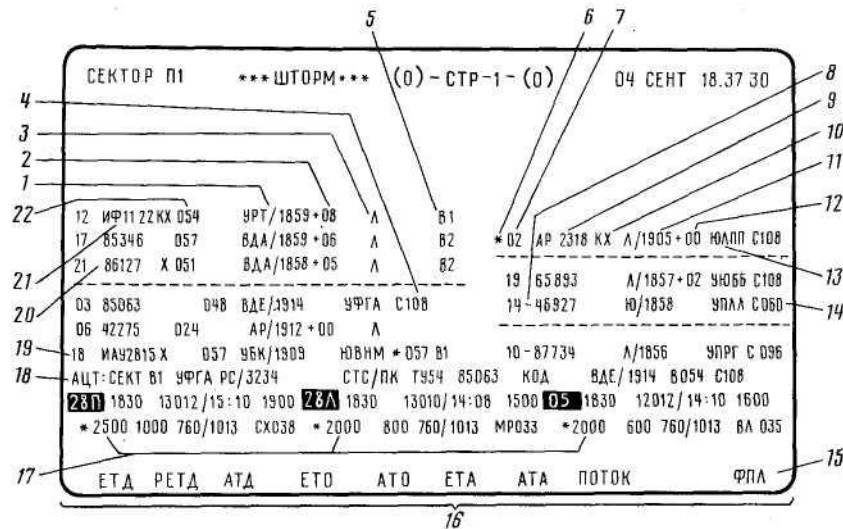


Рис. 13.15. Информация, отображаемая на ТЗИ:

1— пункт и время входа; 2, 12— рекомендация о задержке; 3, 13— аэродром назначения; 4, 14— запрошенный эшелон по плану полета; 5— код сектора смежного РЦ, передающего или принимающего ВС на управление; 6— признак запуска двигателя; 7— идентификатор; 8, 20— признаки пассивного ВС; 9— позывной ВС; 10— знак массы ВС; 11— аэродром и время вылета; 15— строка контроля выполняемой пультвой операции; 16— активизированные функции (подфункции); 17— метеоинформация для ВПП; 18— сообщение АЦТ; 19— идентификатор; 20— признак пассивного ВС; 21— позывной и массовая категория; 22— заданная высота

отображаемой информации, число ВС в списках вылета и прилета, ограничений полетов. На 2...19 строках сообщаются списки прилета (левая часть кадра) и списки вылета (правая часть) о ВС, находящихся в секторе под управлением диспетчера.

Информация о вылете вводится в ВК в виде плана полета. Если план был введен заранее, то он активизируется, т. е. выводится из памяти и начинает обрабатываться. Если плана вылета в памяти нет, то он вводится в обработку диспетчером. За 30 мин до взлета данные плана высвечиваются на одной из строк списка вылета. Эти данные в списке называются микропланом. Одновременно они печатаются стрипопечатающим устройством на ленте и выдаются в виде ее отрезка на лоток этого устройства для использования процедурным диспетчером.

Список вылета разделен на три поля. В первом (сверху) поле приводятся сведения о ВС, которым будет разрешено запускать двигателя, во втором — о ВС, начавших движение, а в третьем — информация о взлетевших ВС. Список вылета может иметь следующую информацию: знак о разрешении запуска двигателя, признак отсутствия ответчика, позывной ВС, аэродром вылета, время пролета рубежа, рекомендации о задержке и др. Строки в этих списках идут снизу вверх в порядке возрастания времени вылета или входа (выхода) в сектор с учетом рекомендованного времени задержки.

Список вылетов (микропланы) печатается в ТЗИ строка за строкой в соответствии с очередностью вылета. Нижние строки несут информацию о ВС, вылетающих раньше. Такие же списки и в том же порядке очередности отображения по времени имеются и на экранах диспетчерских ИВО тех секторов, в которых будет производиться вылет ВС.

Рассмотрим одну из строк списка вылета, приведенную на ТЗИ:

19 65893 Л/1857 УКББ С 106

Здесь 19— идентификатор строки, т. е. номер, присвоенный ВС, план полета которого обрабатывается в ВК; 65893— бортовой номер или код ответчика (код опознавания); Л/1857— ВС вылетает из Санкт-Петербурга в 18 ч 57 мин; УКББ — сокращенное название аэродрома посадки, где У — принадлежность ВС к странам, входившим ранее в СССР; К — Киевское управление (объединение) гражданской авиации; ББ — аэропорт Борисполь; С106— предписанная высота (эшелон) полета, сотни м.

При запуске двигателя диспетчер руления (ДР) вводит символ перед идентификатором строки вылета, принадлежащей этому ВС. Перед выдачей разрешения на выруливание ДР вводит уточненное время вылета, и строка списка перемещается с первого поля на второе. Когда ВС взлетает, вводится фактическое время вылета и строка этого ВС перемещается в третье поле списка вылета. Такие перемещения происходят во всех списках вылетов, отображаемых

на ТЗИ диспетчеров ДПР, ПДП, ДПК, ДПП. Если фактическое время взлета отличается от расчетного более чем на 5 мин, то для процедурного диспетчера печатается новый стрип с новыми расчетными временами полета пунктов обязательных донесений (ПОД).

Список прилета имеет два поля, разделенные штриховой линией. В верхнем поле приводится информация о ВС, которые еще находятся в воздухе, а в нижнем поле под этой линией дается информация о ВС, совершивших посадку.

В списках прилета каждого сектора управления содержится полетная информация о прилетающих ВС, метеорологическая, а также об ограничениях воздушного пространства. Полетная информация включает: признак ответчика (позывной ВС), массовую категорию ВС, заданную высоту полета, пункт и время входа в сектор, рекомендации о задержке, аэропорт назначения, запрошенный эшелон или высота передачи УВД между РЦ и аэроузлом, код смежного сектора РЦ, передающего или принимающего УВД и др. Для отображения списков прилета в первом поле в нужное время происходит активизация плана полета для некоторого ВС или ручной ввод его в ВК. За 7 мин до расчетного времени входа в зону сектора управления план полета для этого ВС высвечивается строкой на ТЗИ. Строки планов прилета отображаются над ПОД входа в порядке очередности прилета снизу вверх, причем в нижней строке первого поля расположен план прилета ВС, прибывающего раньше. Приведем примерное содержание одной из строк списка прилета:

17 85346 057 ВДА/1859 + 06 Л:

17— идентификатор строки, т. е. номер, присвоенный в ВК плану полета ВС при его активизации; 85346— номер борта или код ответчика; 057— эшелон входа в зону ответственности (управления); ВДА—шифр ПОД входа; 1859 + 06—время полета ПОД входа с опозданием на 6 мин; Л—аэропорт посадки (Ленинград). После посадки ВС строка его плана полета переходит с первого на второе поле. Они, например, могут иметь следующий вид:

1) 03 85063 048 ВДЕ/1914 УФГА С106
2) 18ИАУ2815 X 057 УБК 1909 ЮВНИ 057В1

1-й микроплан: 03— идентификатор строки; 85063— номер борта; 048—эшелон входа в зону; ВДЕ/1914—сокращенное название ПОД входа и время входа 19 ч 14 мин; УФГАС106 — аэропорт вылета и эшелон полета по трассе. 2-й микроплан: 18ИАУ — название рейса иностранного ВС или авиакомпании; 2815 X—код ответчика (2815) и массовая категория ВС; ЮВНИ— сокращенное название иностранного аэропорта вылета; 057— заданная высота полета; В1—сектор, который осуществлял УВД.

Одновременно с отображением списка прилета на ТЗИ пультов диспетчеров процедурного контроля печатаются списки тех секторов, через воздушное пространство которых будет проходить полет ВС. В следующих строках под списками прилета и вылета располагается дополнительная информация, необходимая для работы диспетчера, например ограничения при полетах в секторе, на трассе или дополнительная информация о некоторых ВС. Так, для ВС совершающих литерный полет, т. е. полет, требующий повышенного внимания со стороны службы движения, микроплан для такого рейса имеет вид

СТС ПК Ту154 85063 ВДЕ/1914 В054 С106

Здесь СТС — сокращенное обозначение литерного рейса; ПК — подконтрольный рейс; Ту 154 — тип ВС; БН — бортовой номер; ВДЕ — сокращенное обозначение ПОД входа; время входа —19 ч 14 мин; В054 — вход в зону на высоте 5400 м; С106— предписанный эшелон полета. Термин «подконтрольный рейс» означает особое внимание к этому рейсу. Степень контроля обозначается символами ПК, А, К, ОК в случаях перевозки государственно ответственных лиц и другими символами при перевозке различных специальных грузов.

На ТЗИ могут отображаться сведения аэронавигационной информации, обозначенные символами АЦТ. В нее входит информация о введении или изменении ограничений на полеты в определенных зонах по трассам и по коридорам, о видах введенных режимов полетов и т. д. Например:

АЦТ: СектВ1 УФГА РС/3234

Здесь АЦТ — условное наименование вида информации, а остальные символы говорят о том, что в секторе В аэропорта с сокращенным названием УФГА действует режим полетов № 3234.

Кроме того, на ТЗИ в его нижней части высвечиваются данные о фактической погоде на аэродроме и состоянии ВПП. Так, на рассмотренном изображении приведена информация для трёх ВПП: левой и правой с курсом 80° и третьей с курсом 50°.

Метеоданные для ВПП приведены в двух строках:

28 П 1830 1 3 0 1 2 1 5 : 1 0 1 9 0 0
2500 1 0 0 0 7 6 0 1 0 1 3 С X 0 3 8

Здесь дана информация для ВПП, обозначаемой 28 П, на время 18 ч 30 мин; направление ветра 130°; среднее значение ветра 12 м/с; порывы ветра до 15 м/с; боковая составляющая 10 м/с; видимость на ВПП 1900 м; видимость огней высокой интенсивности 2500 м; нижняя граница облаков 1000 м, давление на ВПП 760 мм рт. ст. или 1013 гПа; СХ — символы, обозначающие состояние полосы по наличию метеосадков; коэффициент сцепления полосы 0,38.

Вторая снизу строка на ТЗИ (незаполненная) предназначена для обозначения результатов контроля выполняемых пультowych операций.

В последней строке показаны сокращенные названия функций, которыми пользовался диспетчер. Воспроизводимые функции соответствуют клавишам пульта ввода данных диспетчера. Обозначения ЕТД, РЭТД и другие высвечиваются на ТЗИ после нажатия соответствующих клавиш. Наименования функций приведены буквами русского алфавита в виде аббревиатур словосочетаний на английском языке. Сокращенные названия функций имеют следующие значения: ЕТД — расчетное время вылета; РЕТД — уточненное расчетное время вылета; АТД — вводится фактическое время вылета; ЕТО — расчетное пролетное время ПОД; ЕТА — расчетное время прибытия; АТА — фактическое время прибытия; ПОТОК — регулирование потоков ВС; ФПЛ — активизация плана полета, который находится в памяти ВК.

На ТЗИ диспетчера процедурного контроля сектора круга дается информация, аналогичная указанной для диспетчера подхода, а также номер ВПП посадки, метеоинформация от КРАМС и метеобюро. Состав информации в списке изменяется при передаче управления диспетчеру подхода.

На ТЗИ диспетчеров руления, старта и посадки АКДП список прилета содержит: информацию о номере стоянки, наименовании ВПП посадки, расчетное и фактическое время посадки, минимум командира ВС, а также информацию о ВС, не совершивших посадку, для которых не введено время посадки. В списке вылета имеются также номер стоянки, наименование ВПП взлета, рекомендации о времени задержек, позывные ВС, а перед вылетом и номер рейсов.

На ТЗИ диспетчера АДП и СДП по всем ВС, которыми они управляют, содержится следующая информация, отображаемая последовательно в строках: слева о прилетающих ВС, справа — о вылетающих. Для прилетающего ВС группы символов имеют следующие значения: 04—идентификатор; ЛФК 2864—позывной и код ответчика иностранного ВС; X — массовая категория; 28П/1859—курс посадки 280° ВПП правая, время посадки 18 ч 59 мин; 03—номер стоянки; СП 50—рейс ВС или минимум командира, например ему разрешена посадка при использовании курсоглиссадной системы СП-50; для вылетающего ВС: 19—идентификатор; АР 231 18 КХ — код ответчика, позывной, весовая категория; 09—номер стоянки; *—запуск двигателя; 28П/1858-4-01—курс и ВПП взлета (280°, правая), время взлета и задержки; С-442/1—номер рейса для международных ВС, код ответчика, рейс выполняется в первый день недели; УУЕЕ—условное обозначение аэродрома назначения (здесь а/п Шереметьево); 096—предписанный эшелон полета.

Для диспетчеров ПДП на ТЗИ в левой части строки отображается информация о прилетающих ВС, на правой строке о вылетающих.

Так, например, в некотором частном случае в строке ТЗИ могут быть отображены такие сообщения:

прилет: 26—идентификатор; 2411/2—рейс 2411 за второе число; УМРЛ—шифр названия аэропорта; ТУ-54 А—тип ВС; ПК—обозначение литерного рейса; 0955—время посадки;

вылет: 37—идентификатор; 2511/Д2—рейс 2511 за второй день недели; тип ВС — ТУ 34 А; ПИ — обозначение подконтрольного рейса; 65911—позывной; 15—номер стоянки; УУЕЕ — аэродром назначения.

Стрипы. На пульте диспетчера процедурного контроля секторов подхода и круга располагаются малогабаритное электромеханическое стрипопечатающее устройство типа МПУ5-1 и магазин стрипов. Стрипы представляют собой бумажные бланки, печатаемые на ленте шириной 25 мм. На бланке в установленной очередности выдачи информации через каждые 7 мин диспетчеру представляются в одной или нескольких колонках до пяти строк в каждой плановая и текущая информация о ВС, дополнительные расчетные данные от ЭВМ, имитируется временное расположение ВС на отдельных участках маршрута, в зоне ожидания, над аэродромом. В стрип диспетчером вносятся данные о фактическом выполнении плана полетов. Предполагается, что в случае отказа в поступлении информации по данным стрипов имеется возможность осуществления непосредственного УВД.

На стрипе отображается микроплан полета ВС. Работает со стрипами диспетчер процедурного контроля. На его рабочем месте имеется доска для установки стриподержателей трех видов, отличающихся цветом. В первый из них устанавливается стрип о вылетающем ВС, во второй — о прилетающем, а в третий — о прилетевшем. Доска имеет колонки, каждая из них соответствует определенному ПОД. Переставляя стриподержатели со стрипами и используя указанную в них информацию, можно отображать воздушную обстановку и осуществлять УВД. После того как стрип отпечатан, его устанавливают в стриподержатель и вставляют в соответствующую колонку ПОД, после пролета которого ВС выйдет в зону управления. При входе ВС в зону диспетчер записывает на стрипе фактическое время и место входа. Запись должна вестись чернилами, так как стрипы являются документами объективного контроля. Рассмотрим информацию, содержащуюся в нескольких вариантах стрипов.

<i>Стрип вылета I</i>				
26091	В	УЛЛЛ	ЛГВ	ЛГР
		2005	19	2029
91579				УЛЛЛ-УЛВВ
Ан-26/м				Т
05		ЛГР1А		0,5 × 070 П1

Здесь 26091—бортовой номер; 91579—рейс; Ан-26/м—тип ВС и его массовая категория; 05—идентификатор строки (присвоен плану ВС в ВК); В—стрип вылета ВС; УЛЛЛ—аэропорт вылета, где У—означает принадлежность ВС к странам бывшего СССР; Л—Ленинградский зональный центр; ЛЛ—присвоенное Пулковскому аэропорту наименование; 2005—время вылета; ЛГР1А—коридор следования после взлета; ЛГВ—коридор дальнейшего следования; 19—расчетное время прилета в минутах (часы обозначаются лишь при их смене); ЛГР—пункт обязательных донесений при выходе из зоны управления; 2029—планируемое время пролета над ПОД; УЛЛЛ—обозначение аэропорта вылета; УЛВВ—аэропорт посадки; Т—топливное число в процентах запаса топлива от полной загрузки или в виде оставшегося времени полета в минутах; 05x70—минимум командира (05—по нижней кромке облаков и 070—по видимости (700 м)).

<i>Стрип вылета 2</i>				
42033	В	УЛЛЛ	ЛУД	МБД
		1110	1125	
33	---	---	---	УЛЛЛ-УУ00
ЯК42/М				К0730
16		ЛУД1А ННН	С0810	П1

Этот стрип отличается по содержанию предпоследней колонки. Здесь К0730—крейсерская скорость полета 730 км/ч; С0810—предписанный эшелон полета 08100 м по стандартному давлению 760 мм рт. ст. (С); ННН—стрип повторный, так как для этого ВС в план были введены некоторые уточнения или изменено время более чем на 5 мин.

<i>Стрип прилета</i>						
85823	П	ФХД	054	РКС	ДК	2011
		1933		47	59	— 2018
ТУ54/Б		---	---	-----	-----	УЖЛЛ-УДДД
850				УДФФ	ДР	
12		ФХД30Л	ННН			П1

Символ П обозначает, что это стрип прилета. Записи в колонках и строках по расположению и смыслу аналогичны рассмотренным в предыдущих стрипах вылета. Здесь также расписаны маршрут полета по ПОД и расчетное время их пролета. Дадим пояснение к некоторым ранее не рассматривавшимся записям символов: 054—высота входа в зону подхода; РКС и ДК—следующие ПОД; 47 и 59—расчет времени пролета этих ПОД; 2011—расчетное время входа в круг; 2018—расчетное время посадки; УДФФ—обозначение запасных аэродромов; ДР—режим захода на посадку, в данном случае посадка по курсоглиссадной системе в директорном режиме; П1—обозначает, что рейс подконтрольный, в данном случае с иностранной делегацией на борту (И); П1—номер сектора подхода.

На ТЗИ диспетчера процедурного контроля и сектора круга дается информация, аналогичная указанной для диспетчера подхода, а также номер ВПП посадки, метеоинформация от КРАМС и метеобюро. Состав информации в списке изменяется при передаче управления диспетчеру подхода.

Руководитель полета может вызвать на ТЗИ своего рабочего места практически любую информацию, которая отображается на ТЗИ диспетчеров. Например, это могут быть предварительные, текущие или стандартные планы полетов (ППЛ, ФПЛ, РТЛ). В ППЛ содержатся маршрут, время вылета, аэропорт посадки, запасные аэродромы, наличие оборудования. В ФПЛ, кроме информации текущего плана полетов, указываются количество топлива, минимум командира ВС, ФИО членов экипажа. В РПЛ содержится информация стандартного плана: список по аэродрому, т. е. информация о прилетах и вылетах по аэродрому за указанный интервал времени (списки прилетов и вылетов по указанному сектору), таблица ограничений воздушного пространства, информация о нагрузке на сектор, таблица стоянок аэродрома.

На ТЗИ диспетчера АКДП вместо списков прилета и вылета может отображаться информация распределения ВС по стоянкам на перроне. Для этого в группе функциональных клавиш запроса активизируется функция «перрон». В списке отображаются номера стоянок, а в случае нахождения на ней ВС, то и позывной ВС. Перед вылетом вводится для отображения номер рейса, а при разрешении буксировки—на поле номера стоянки отображается знак «крест».

Диапозитивное справочное табло «Поиск-20» предназначено для отображения справочной информации, схем, карт, таблиц, инструкций, которые могут на некоторое время оказаться необходимыми диспетчеру в процессе работы. Информация нанесена на 20 диапозитивов и с помощью проекционного устройства отображается на его матовом экране, расположенном на пульте диспетчера над ИБО. Диапозитивы в кадровое окно устанавливаются по команде с панели управления. Содержание информации может быть, например, следующим: основные данные ВС, таблица восходов и заходов солнца, таблица минимально допустимых интервалов, запасные аэродромы, порядок действий диспетчеров в особых случаях при грозе, отказе бортовых РТС, потере радиосвязи, срочной или вынужденной посадке ВС и др.

Аппаратура непосредственного управления системы «Спектр-АДЦ». В ее состав входят: пульт руководителя полетов; пульта диспетчеров подхода и круга, состоящие из двух секций: РЛ управления и процедурного управления; пульта диспетчеров ассистентов.

Пульт руководителя полетов расположен между двумя рядами диспетчерских пультов. Он включает (рис. 13.16) следующие устройства для выполнения им необходимых функций при УВД: устройство громкоговорящей радиосвязи 10; таблично-знаковый индикатор РИН-612 2;

индикаторное устройство ИВО-1 3; панель управления отображением 4; панель управления ИВО 5; панель включения аппаратуры 6; блок буквенно-цифровой и функциональной клавиатуры и эшелонатор 7; панель выбора РЛИ 5; датчик прямоугольных координат 4; панель ввода данных и управления ТЗИ 3; панель ключей управления диспетчерским переговорным устройством «Орех-2»; панель радиосвязи 1; панели управления телефонами 13; панели управления прослушиванием 14, 15.

На секциях пульта подхода и круга (рис. 13.17) расположена следующая аппаратура: секция радиолокационного управления (рис. 13.17, I): диапозитивное светотабло «Поиск-20» 12; индикаторное устройство ИВО-1/7; панель управления индикатором 10; панель выбора радиолокатора 9; датчик координат 8; клавиатура эшелонатора 7; буквенно-цифровая и функциональная клавиатура 6; панель управления передатчиком 5; панель ключей диспетчерской громкоговорящей связи ДПУ «Орех» 4; панель управления отображением 3; блоки динамиков и управления радиосвязи 2, 1; секция диспетчера процедурного контроля (рис. 13.17, II): динамики и органы управления комплектом устройств радиосвязи КУРС 13, 14, 15, 16; световые индикаторы 25; лоток стрипопечатающего устройства 24; магазины стрипов 17, 18; панель управления телефонными каналами 19; панель управления передатчиками 20;

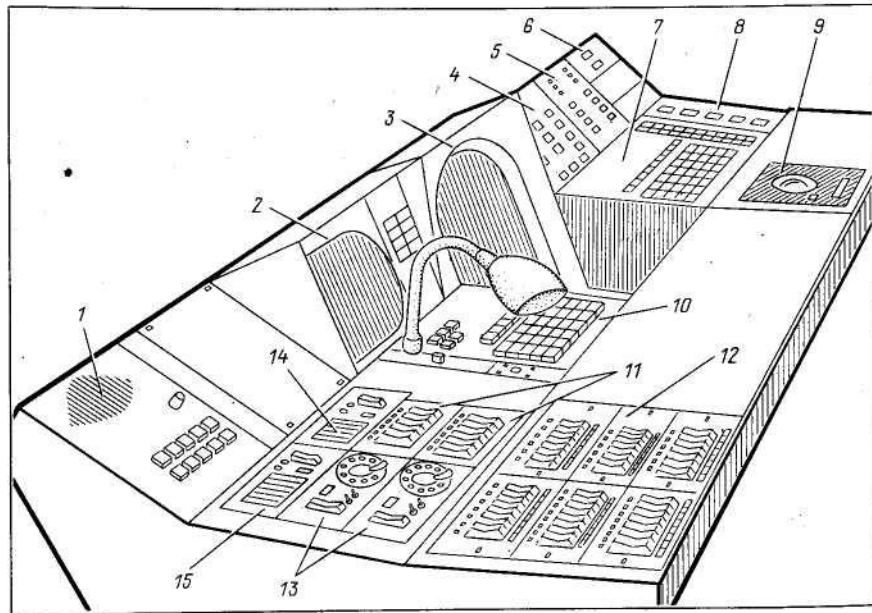


Рис. 13.16. Пульт руководителя полетов

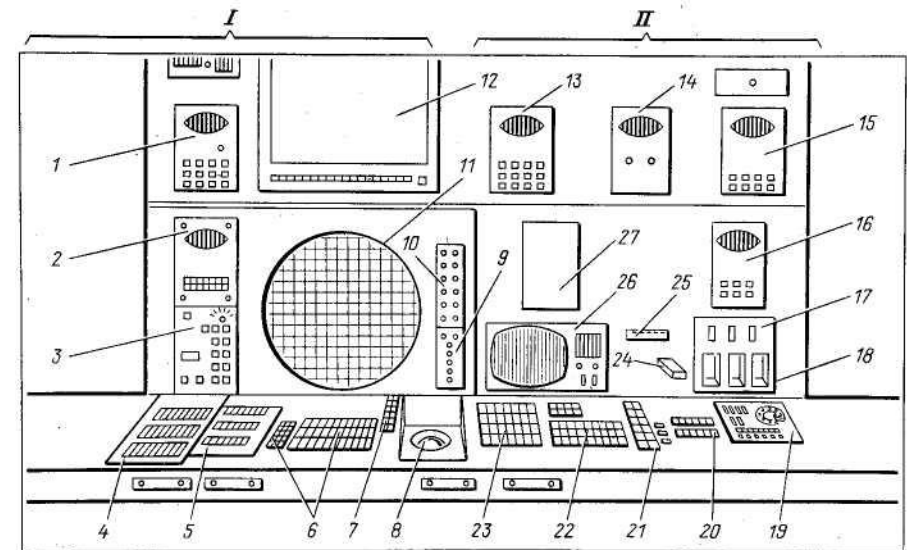


Рис. 13.17. Пульт диспетчеров подхода и круга (I) с секцией диспетчера процедурного контроля (II)

клавиши эшелонатора 21; панели ввода данных и редактирования 21, 22; панель управления громкоговорящей связью ДПУ «Орех» 23; шкафчик 27; таблично-знаковый индикатор 26.

На пульте диспетчера ассистента расположены: панель управления громкоговорящей связью ДПУ «Орех»; пульт подготовки данных для ввода информации в вычислительный комплекс и на экран ТЗИ; ТЗИ РИН 612; панель управления телефонными каналами связи; ключ выбора режима работы ТЗИ (автоматический или ручной); клавиатура редактирования текста на экране, а вверху пульта имеется также справочное диапозитивное светотабло СТ «Поиск-20».

Аппаратура документирования и воспроизведения информации. Для оценки правильности функционирования системы, проведения тренировок диспетчерского персонала и обеспечения разбора конфликтных и аварийных ситуаций объективными данными имеется комплекс аппаратуры документирования и воспроизведения информации КАД «Память-С2». КАД обеспечивает возможность круглосуточной регистрации на магнитный носитель (ленту) информации от двух РЛК, 64 каналов речевого обмена (радио, телефонной и громкоговорящей связи), а также времени (месяц, день, Часы, минуты, десятки секунд), сигналы о котором поступают от ВК. Одновременно с регистрацией возможно воспроизведение на резервном пульте с ИВО двух каналов радиолокационной информации

и двух речевых с получением сведений о времени поступления ее на ВК.

Состав комплекса КАД следующий: шкаф формирования сигналов записи и воспроизведения, кросс-стойка распределения каналов и 6... 10 стоек аппаратуры магнитной записи (в зависимости от вида аппаратуры). Используемые в комплексе АМЗ П-500 и АМЗ 223 представляют собой десятидорожечные магнитофоны, предназначенные для записи (в течение 300 ч) и воспроизведения узкополосных сигналов на ленту шириной 12,7 мм, толщиной 55 мкм. Информация хранится 3 сут, что обеспечивается наличием запаса кассет с пленкой.

Подсистема «Спектр-П» — это комплекс аппаратуры, обеспечивающий полеты ВС в зоне захода на посадку и в зоне посадки (рис. 13.18). Все его устройства размещены на пунктах диспетчеров посадки (ПДП-1 и ПДП-2), каждый из них имеет: стойку управления отображением посадки (СУО-П), телевизионный индикатор ТИ-45 для курсоглиссадного отображения процесса посадки, фоторегистрирующее устройство (ФРУ) с телевизионным индикатором, панель управления фоторегистрацией (ПУФ-П). Работая РЛС-П подключается к аппаратуре пунктов коробкой распределительной (КР). Аппаратура посадки обеспечивает преобразование получаемых от посадочных РЛС видеосигналов и сигналов круговой развертки в телевизионное строчно-кадровое глиссадное и курсовое изображения. Между глиссадным изображением, которое находится вверху на экране ТИ-45, и курсовым, изображенным ниже, располагается текстовая информация (до 5 строк по 48 знаков). В ней содержатся следующие сообщения: бортовой номер ВС, ближайшего к точке посадки; дата и время суток (число, месяц, часы, минуты и секунды); метеоусловия в зоне захода на посадку и непосредственно на взлетно-посадочной полосе.

Подсистема «Спектр-АКДП» расположена в выносном аэродромном командно-диспетчерском пункте, который предназначен для обеспечения воздушного движения в границах зон ответственности диспетчеров руления, старта и посадки. Управление воздушным движением производится с рабочих мест РП аэродрома (РПА) и вышеуказанных диспетчеров. Подсистема «Спектр-АКДП» (рис. 13.19) представляет собой комплексы аппаратуры диспетчерских пунктов руководителя полетов аэродрома (ПРПА), старта (СДП) и руления (ДПР).

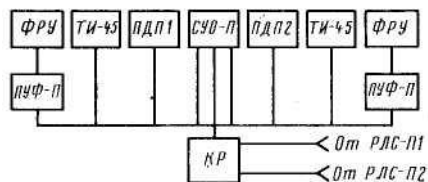


Рис. 13.18. Структурная схема подсистемы «Спектр-П»

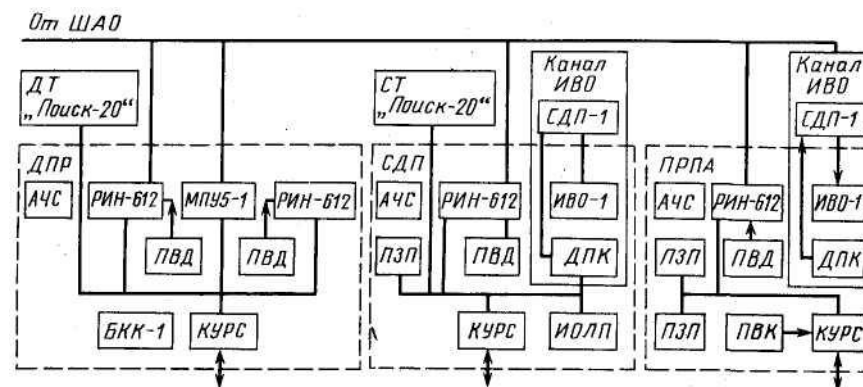


Рис. 13.19. Структурная схема подсистемы «Спектр-АКДП»

В аппаратуру ПРПА входят: индикатор ИВО-1 с обслуживающим его дисплейным процессором СДП-1 и датчиком прямоугольных координат (ДПК); таблично-знаковый индикатор РИН-612 с пультом ввода данных (ПВД); две панели занятости полосы (ПЗП); комплект устройств связи «Курс» с блоком коммутации каналов (БКОП-01). СДП имеет аппаратуру, аналогичную расположенной на ПРПА. Кроме того, на СДП имеется диапозитивное табло «Поиск-20» и в будущем должен быть расположен индикатор обзора летного поля (ИОЛП).

ДПР имеет два ТЗИ РИН-612 с пультами ввода данных, стрипопечатающее устройство МПУ5-1, табло «Поиск-20», а также устройства, обеспечивающие связь («Курс» и БКП01).

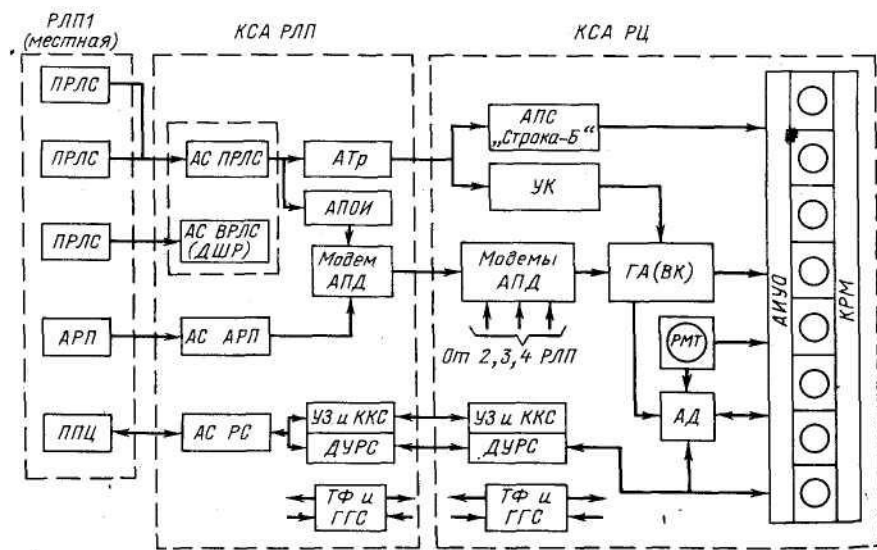
13.3. Районная автоматизированная система УВД «Трасса»

АСУВД «Трасса» предназначена для автоматизации процессов сбора, обработки и передачи информации о ВС с местной и удаленных радиолокационных позиций, объединения получаемой от них информации и создания на этой базе модели обстановки УВД на ИВО рабочих мест диспетчеров. Первая АСУВД «Трасса» сдана в эксплуатацию в 1985 г. в Симферопольском РЦ и обеспечивает УВД в воздушном пространстве над Крымом, южной частью Украины, а также над Черным морем левее меридиана Керченского пролива. Система создана для оснащения РЦ ЕСУВД в районах со средней ИВД, в которых под управлением одновременно находится не более 100 ВС и, начиная с высот 4000...5000 м, имеется сплошное радиолокационное поле наблюдения, созданное ПРЛС и ВРЛС, не решающих задачи автоматического обнаружения и измерения координат.

В состав системы АСУВД (рис. 13.20) входят: комплексы средств автоматизации радиолокационных позиций (КСА РЛП) и комплекс средств автоматизации районного центра (КСА РЦ). Один из КСА РЛП расположен в районе РЦ и называется местным или центральным. Система АСУВД получает радиолокационную информацию с РЛП, на которых используются РЛС П-37, сопряженные с ВРЛ «Корень-АС», а также АРП 11 и АРП 75. Предусмотрена возможность работы с современными РЛК типа «Скала-МНР». Каждый КСА РЛП имеет в своем составе средства, обеспечивающие передачу РЛИ и РПИ, средства проводной и радиосвязи между различными секторами УВД, органами управления и экипажами ВС. От КСА РЛП информация передается в КСА РЦ, в котором происходит объединение и обработка всей РЛИ и РПИ и ее отображение на совмещенных ИВО коллективных рабочих мест диспетчеров (КРМ).

Основные эксплуатационно-технические характеристики АСУВД «Трасса» следующие: размеры обслуживаемого района 400...600 тыс. км²; 4 РЛП, с возможностью увеличения до 6, 8 секторов управления (возможно увеличение до 12), из них два сектора УВД вне трасс, 100 одновременно сопровождаемых ВС, в том числе 15 ВС по данным от ПРЛС, при этом их отметки имеют вектор экстраполированного положения, до 40 дистанционно управляемых радиостанций.

Первичная и межобзорная обработка информации от РЛС и АРП обеспечивает высокую вероятность обнаружения ВС и хорошую точность определения координат. Комплексы наблюдения и обработки обеспечивают вероятность правильного обнаружения 0,95 при пачке



из 12 импульсов и вероятности ложных тревог 10⁶. Средняя квадратическая погрешность измерения координат для РЛС П-37: 100 м по дальности, 10' по азимуту; для ВРЛС «Корень»: 200 м по дальности, 10' по азимуту. Разрешающая способность по дальности 600 м, по углу 7 угловых дискретов РЛС без учета ширины ДН антенны. Дискретность выдаваемой информации 100 м по дальности и 5,27' по углу. Работа системы гарантируется в течение 70 000 ч. Это значение расчетное. Нарботка на отказ у КСА РЦ 2300 ч, у КСА РЛП 7800 ч (по данным испытаний).

АСУВД «Трасса» имеет 100%-ное резервирование всех функциональных устройств КСА РЛП и КСА РЦ и обеспечена централизованным контролем их работы. Возможно увеличение функций системы путем расширения состава оборудования в связи с модульным построением. КСА РЛП размещается в помещении площадью 30 м² или в кузове-фургоне типа 936, а КСА РЦ в помещении площадью 50 м².

Комплексы средств автоматизации радиолокационных позиций (КСА РЛП). Они предназначены для сбора информации от вынесенных РЛС, ВРЛС и АРП обработки и преобразования этой информации, передачи ее по стандартным каналам тональной частоты в аппаратуру РЦ УВД; обеспечение радиосвязи с экипажами ВС, смежными РЦ и органами ЕС УВД через радиостанции и радиоприемники приемопередающих центров, расположенных вблизи РЛП.

При этом КСА РЛП выполняет следующие частные задачи: переключение сигналов двух РЛС на общую линию трансляции; сопряжение РЛС и ВРЛС по запуску и вращению антенн; трансляция радиолокационной информации (РЛИ) от РЛС и ВРЛС до аппаратуры первичной обработки (АПОИ) типа «Обзор П», расположенной на РЛП;

формирование в АПОИ сообщений о радиолокационной и пеленгационной информации и передача их с помощью аппаратуры передачи данных (АПД) по проводным линиям передачи сигналов тональной частоты;

бланкирование РЛИ в зонах, задаваемых с КСА РЦ (7 бланков) и с КСА РЦ (5 бланков);

трансляция радиообмена «земля — борт — земля» по радиорелейным или тропосферным линиям (от КСА РЦ); дистанционное управление радиостанциями (РС) с помощью аппаратуры ДУРС (до 10 РС на каждой РЛП) и коммутация сообщений;

служебная связь технического персонала КСА РЛП и РЦ по каналам АПД с перерывом передачи РЛ информации и по каналам передачи речевой связи (по телефонным (ТФ) линиям); громкоговорящая связь (ГГС) с персоналом, находящимся на РЛП. КСА РЛП состоит из следующих технических средств:

средств автоматизации, включающих аппаратуру первичной обработки информации (АПОИ) и аппаратуру сопряжения (АС) датчиков информации со средствами связи;

средств связи, к которым относится: аппаратура трансляции (АТр); аппаратура передачи данных (АПД); аппаратура дистанционного управления радиосвязью (ДУРС) с устройствами защиты и коммутации каналов связи (УЗ и ККС); аппаратура внешней и внутренней служебной связи: телефонной (ТФ) и громкоговорящей связи (ГГС). Кроме того, имеются средства электропитания и жизнеобеспечения. КСА РЛП имеют четыре модификации, предназначенные для различных условий эксплуатации.

Аппаратура сопряжения состоит из двух частей. Так, АС РЛС и АС ВРЛС типа «Истра» имеют передающие части, размещаемые около датчиков информации, и приемную часть (перед АПОИ). Эти части соединены кабельной линией и могут быть разнесены на расстояние до 5 км. От РЛС и ВРЛС на передающую часть АС поступают аналоговые сигналы (видеосигналы координатной и полетной информации, угловая информация в виде МАИ, импульсы запуска и др.). Здесь они преобразуются по форме для их трансляции по кабельной линии. В АС создаются сигналы синхронизации РЛС и ВРЛС по запуску станций и вращению антенн и производится переключение на резервную РЛС. В приемных частях АС сигналы корректируются по форме и подаются на АПОИ, а в АС ВРЛС производится также декодирование полетной информации. В АС АРП сигналы АРП преобразуются в последовательные двоичные коды пеленга и номера канала пеленгования.

В АПОИ производится обнаружение сигналов от РЛС, ВРЛС, АРП и очищение их от помех; отсеивание сигналов, приходящих из зон, для которых установлены бланки; межобзорная обработка сигналов; измерение координат и пеленга; привязка координатной и полетной информации; формирование для АПД сообщений с результатами обработки в виде двоичных кодограмм. АПОИ обеспечивает поступление на АСУВД не более 50 ложных обнаружений за один обзор при вероятности ложных тревог 10^{-6} .

Аппаратура ДУРС обеспечивает дистанционное управление включением каналов радиосвязи. Для передачи управляющих сигналов используются каналы радиообмена диспетчеров с экипажами. Эта аппаратура используется также для контроля радиообмена с экипажами ВС. Кроме того, с помощью аппаратуры ДУРС транслируется речевая информация между КСА РЛП и рабочим местом техника на КСА РЦ.

На КСА РЛП имеется аппаратура внутренней, телефонной и громкоговорящей связи типа «Орех». Кроме того, в состав средств автоматизации входит также аппаратура автоматического контроля работоспособности этих средств. Средства автоматизации созданы на базе цифровых вычислительных устройств — специальных вычислителей (СВ)

различного типа, решающих логические и вычислительные задачи.

Комплекс средств автоматизации районного центра (КСА РЦ). Предназначен для автоматического сбора, объединения и отображения информации, получаемой от нескольких КСА РЛП, и решает следующие задачи:

прием, обработку и объединение РЛИ и РПИ от разнесенных РЛП и распределение ее по аппаратуре рабочих мест диспетчеров секторов УВД;

совмещенное отображение координатной, знаковой и картографической информации, а также управление отображением;

ввод в автосопровождение (АС) и сопровождение ВС;

связь между КСА РЦ и КСА РЛП, смежными зонами УВД, смежными РЦ и экипажами ВС, а также взаимодействующими органами;

дистанционный контроль за работой всей системы;

документирование цифровой и речевой информации, циркулирующей в линиях передачи данных и связи.

КСА РЦ имеет следующие основные части: приемные модемы АПД и АТр информации от РЛС, ВРЛС и АРП, устройства компрессии (сжатия во времени) аналоговой информации от местной РЛП, аппаратуры преобразования РЛ сигналов (АПС) «Строка-Б», групповой аппаратуры, коллективных рабочих мест диспетчеров (КРМ), рабочего места техника (РМ 18М), средств ДУРС и устройства защиты и коммутации средств связи (УЗККС), средств телефонной и громкоговорящей связи, аппаратуры документирования речевой и цифровой информации.

Устройство компрессии (УК) служит для сжатия видеосигналов и угловой информации, получаемых от местной РЛС, для сокращения времени последующего ее отображения путем записи сигналов в реальном времени, а затем быстрого считывания. Коэффициент компрессии 2,5, длительность такта записи 2,66 мкс, такта считывания 1,067 мкс. Скомпрессированные сигналы выдаются пакетами за 12...16 периодов запуска РЛС с частотой 25 Гц. Аппаратура преобразования сигналов (АПС) «Строка-Б» обеспечивает переход от аналоговой радиолокационной информации, получаемой с местной РЛП, к телевизионной для обеспечения непрерывного наличия сигналов на экранах ИУ. Эта аппаратура является резервным средством отображения.

УЗ и ККС защищает каналы связи от внешних и внутренних помех — а также решает задачу коммутации каналов связи. УЗ и ККС и АСРС в КСА РЛП используются так же, как аппаратура канала передачи сигналов дистанционного управления РС и управления выходом на связь с экипажами ВС и техническим персоналом КСА РЦ и КСА РЛП.

Групповая аппаратура (ГА) представляет собой вычислительный комплекс (ВК) с распределенной по нескольким спецвычислителям обработкой данных (всего их с резервом 34 и 2 линии ЭВМ типа

1Б57м). В ГА производятся предварительная обработка данных и имитация сигналов ПРЛС и ВРЛС для контроля аппаратуры. Основными задачами, решаемыми в ГА, являются: анализ информации на принадлежность к заданной зоне наблюдения (объединение информации, получаемой с разнесенных по зоне УВД РЛ позиций); пересчет координат, полученных от РЛС на этих позициях в прямоугольную систему с началом координат в точке расположения местной ВРЛС; расчет упрежденного положения ВС, находящихся в автосопровождении; автоматический сброс сопровождения; расчет прямого и обратного пеленга между двумя точками; расчет временных маршрутов и режимных зон; расчет бланков для КСА РЛП; расчет времени пролета ППМ. Все расчеты производятся по указаниям с РМ техника.

В аппаратуре предварительной обработки так же, как и во всех других составных частях системы, например, в АПОИ, АС, АПД, КРМ, широко применяются СВ типа 119 Н, являющиеся устройствами программной обработки, и типа 125 Н, выполняющих функции сопряжения и обмена информацией. Например, в один комплект ГА входят 7 единиц 119 Н, 1 — 125Н и 3—126Н.

Функционирование ВК заключается в выполнении в определенной последовательности комплексных взаимосвязанных программ (КП) обработки информации, причем эти последовательности зависят от ситуаций, складывающихся при обработке данных. Всего таких КП семь, некоторые из них имеют еще подпрограммы. Большинство программ логические, но имеются и вычислительные программы. Часть программ связана с выполнением указаний, приходящих с РМ диспетчеров и техника.

Для контроля работы в аппаратуре имитируется до 25 подвижных отметок ВС от ВРЛС, до 15— от ПРЛС и, кроме того, 16 отметок от неподвижных ВС и 4 пеленга. Возможна проверка совместно с аппаратурой АПД. Результаты контроля отображаются на табло технического состояния системы на экране ИВО рабочего места техника.

Диспетчерские пульты управления (ДПУ) или коллективные рабочие места диспетчеров (КРМ). ДПУ имеют по три секции: диспетчера радиолокационного управления, диспетчера графического (процедурного) контроля и диспетчера-оператора. Назначение КРМ — создание на экране индикаторов моделей обстановки УВД в зонах ответственности РМ по секторам управления и обеспечение проведения операций УВД. Система имеет восемь КРМ.

На диспетчерских пультах радиолокационного управления, графического контроля и оператора размещены два ИВО: пульт ввода данных (ПВД — прибор Д301), датчики кодов прямоугольных координат (ДК — прибор 45Н), пульты аппаратуры ДУРС, пульты концентраторов диспетчерских каналов междугородной телефонной связи, пульты аппаратуры громкоговорящей и телефонной связи «Орех» и другие коммутационные элементы. Секция радиолокационного

контроля имеет ИВО с ЭЛТ «Монолит-2» с рабочим диаметром 480 мм и двухцветным (красным и зеленым) отображением информации при малом времени послесвечения. У второго ИВО — секции диспетчера графического контроля трубка имеет тот же диаметр, но черно-белый экран. На обоих ИВО могут отображаться одинаковые по содержанию изображения, поэтому черно-белый ИВО используется в качестве резервного. Его экран имеет длительное послесвечение, что обеспечивает наблюдение метеоявлений.

Масштабы ИВО: в синтетическом режиме 100, 200, 400 и 800 км, а в аналого-цифровом 100, 200 и 400 км. ЭЛТ имеет магнитное отклонение и электростатическую фокусировку разворачивающего луча. Так как в ИВО диспетчера радиолокационного управления используется ЭЛТ с малым временем послесвечения, то для создания непрерывно существующего изображения производится регенерация знаков. Работа каждого ИВО обеспечивается своей аппаратурой индивидуального отображения (АИУО). Она имеет возможность подключения к КРМ смежных секторов, т. е. получения на одном ИВО объединенной информации от двух-трех РЛП (двух-трех секторов УВД).

АИУО обеспечивает прием радиолокационной, пеленгационной и полетной информации от ГА, а также формирование заданной с пульта диспетчера картографической, векторной и знако-буквенной информации. Аппаратура формирует кодограммы, необходимые для ее отображения, регенерирует их с необходимой частотой и подает для отображения в режимах «С» и «АС».

Обработка информации в АИУО производится на СВ 119Н, 126Н и 309Н (рис. 13.21). Вычислитель 119Н по введенной в него комплексной программе работы организует отображение информации, управляет ее видом, местом отображения, содержанием, изменяет выполнение программы по указаниям диспетчеров, вводимым с помощью алфавитно-цифровой клавиатуры ПВД пульта Д301. В соответствии с указаниями, сформированными диспетчером, в аппаратуре пульта формируются кодограммы, используемые при решении расчетных задач и пересылаемые в аппаратуру обработки для редактирования отображаемой информации, и транслируются в аппаратуру документирования. Датчик координат 45Н обеспечивает формирование координат отметки маркера для отображения его на ИВО и

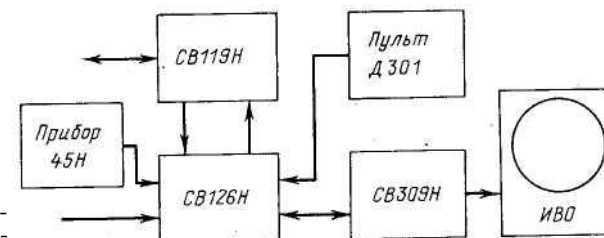


Рис. 13.21. Структурная схема спецвычислителя КСА РЦ

координат съема при совмещении маркера с координатными символами ВС на ИВО.

Вычислитель 126Н управляет обменом информации между другими вычислителями и ИВО. Вычислитель 309Н хранит информацию отображаемого кадра, регенерирует ее с заданной частотой и, кроме того, формирует сигналы для развертки луча ЭЛТ ИВО при обеспечении различных режимов отображения.

Рабочее место техника (РМТ). Предназначено для решения следующих задач: управления режимами работы КСА РЦ и конфигурацией групповой аппаратуры, установления вариантов объединения информации от различных РЛП, введения бланков запретов наблюдения в некоторых областях зоны обзора РЛС, управления документированием и т. д. С РМ-18М по указанию диспетчера возможно выполнение следующих операций: измерения азимута и дальности между двумя точками, ввода быстрого просмотра формуляров сопровождения отдельных ВС, находящихся под управлением диспетчеров смежных секторов, ввода индекса диспетчера, запроса карты, ввода масштаба, смещения центра изображения, запроса постоянного и ввода временного маршрута. Ввод в автосопровождение и передача управления ВС с пульта РМТ не производятся. РМТ обеспечивает также проведение функционального контроля технического состояния средств КСА РЦ, АПД и каналов связи. Результаты контроля отображаются на экране ИВО с помощью табло технического состояния аппаратуры по вводу техника. РМТ имеет ИВО, его работа обеспечивается теми же устройствами и приборами, что и КРМ. На ИВО РМ-18М может отображаться вся информация, обрабатываемая и документируемая в КСА РЦ.

Документирование информации. Циркулирующая по линиям АПД и каналам связи информация регистрируется на магнитной ленте магнитофонов АМЗ-23. Их три: два для записи, один для воспроизведения информации на индикаторах КРМ и РМТ. Разговорную информацию фиксируют и воспроизводят четыре магнитофона НР216 и НР116. Организация документирования и воспроизведения осуществляется по специальным программам с помощью приборов 119Н и 126Н по указаниям с пульта РМТ.

Отображение информации. Имеются три режима отображения информации на ИВО диспетчера радиолокационного управления. Основной режим — синтетический (С), при котором отображается информация после обработки в ВК с частотой регенерации 50 или 25 Гц (в зависимости от объема информации). В аналого-цифровом режиме (АЦ) информация от местной ПРЛС поступает поочередно - в аналоговом и цифровом виде. Кадр состоит из двух полукадров, отображающихся за 20 мкс каждый. Этот режим введен для отображения метеобстановки. В телевизионном (Т) режиме аналоговая координатная информация от местной РЛС поступает через аппаратуру «Строка-Б». Этот режим—резервный на случай выхода из строя аппаратуры обработки. Режимы «С» и «АЦ» вводятся с пульта, а режим

«Т» — неоперативно, т. е. устанавливается на аппаратуре заранее. В режиме «АЦ» кадр во времени делится на две части, в первой дается аналоговое изображение, во второй — синтетическое. На ИВО отображается координатная сетка. Допускается сдвиг центра изображения. В режиме «Т» изображение аналогично предусмотренному в аппаратуре «Строка-Б».

В режиме «С» развертка луча обеспечивает воспроизведение информации функциональным методом (знакопись) — один знак за 10 мкс, в режиме «АЦ» в первом полукадре развертка радиально-круговая (радиолокационная), в режиме «Т» строчная (телевизионная). На ИВО КРМ воспроизводится координатная, полетная, картографическая и диспетчерская справочная информация о процессе УВД. Координатная информация на ИВО отображается в виде различной формы символов. Форма символов зависит от вида средств наблюдения, от которых поступает информация, и от способа обработки. Всего может быть до 100 отметок автосопровождаемых ВС, из них 15 отметок по данным РЛС. Предыдущее движение отмечается двумя точками за отметкой ВС. Место ВС экстраполируется на время 1..6 мин и отображается векторами, которых может быть до 15. Отметки ВС сопровождаются формулярами (ФС). Линий пеленгов может быть до четырех. Вначале линии отображаются значения прямого и обратного пеленгов АРП — ВС. Картографическая информация обеспечивает обозначение границ района УВД, секторов, трасс маршрутов, запретных зон, зон опасных метеоявлений, пунктов обязательных донесений, радионавигационных точек и др. Возможно воспроизведение шести видов карт, до 60 постоянных и 15 временных маршрутов.

Полетная и справочная информация отображается в знаковой форме с помощью цифр, букв и символов. Различного вида информация отличается по цвету. Так, в режиме «С» в красном цвете отображается: картографическая информация, линия пеленга, вектор-измеритель расстояния между двумя точками; маршруты и формуляры их маркирования, а в зеленом цвете — остальная информация (отметки целей, формуляры и др.). В режиме «АЦ» в зеленом цвете отображается компрессированная аналоговая информация, а в красном цвете остальная.

Полетная и диспетчерская справочная информация отображается на ИВО в знаковой форме с помощью цифр, букв и символов в виде формуляров, списков и табло. Их наименования следующие: формуляры сопровождения отметок ВС (ФС), список входа (Сп Вх), список потерь (Сп П), системное табло (СТ), формуляры трасс (ФТ), значение текущего времени, кроме того, на рабочем месте техника отображается табло технического состояния системы.

Вид и содержание информации, отображаемой на ИВО. Формуляры сопровождения содержат полетную информацию о состоянии ВС и отображаются возле отметок ВС в одном из четырех мест

зоны отображения (объединения секторов); ЭКС 5— введенное время экстраполяции; 24— число занятых каналов обработки и редактирования комплекса программ. В третьей строке отображаются вводимые диспетчером функции. В данном случае это Сп Вх — список входа. Знак <— означает ввод функции; Ош — признак ошибки; Пр — признак превышения данных; НФ — признак невыполнения функции. В четвертой строке высвечены аргументы (данные) введенной функции Сп Вх.

Табло технического состояния отображается только на РМТ. Формуляр текущего времени идет на ИВО и вводится с РМТ. Сп Вх, Сп П и СТ могут отображаться в любом месте ИВО с помощью датчика координат.

Формуляры маршрутов (трасс) содержат следующую информацию: номер маршрута, позывной ВС, время начала и конца полета, высота в начале и в конце полета.

13.4. Районная автоматизированная система УВД «Стрела»

Назначение и технические характеристики. Система предназначена для УВД в обширных областях воздушного пространства с высокой ИВД и обеспечивает комплексную автоматизацию процессов планирования и непосредственного УВД. Система решает задачи:

- сбора и обработки информации для расчета предварительных и текущих планов полетов, рассылки их по секторам управления, системам и взаимодействующим службам;

- формирования и рассылки сводного суточного плана;

- сбора и обработки координатной, полетной, пеленгационной и метеорологической информации;

- получения и обработки радиопеленгационной информации;

- обмена радиолокационной и плановой информацией между взаимодействующими объектами;

- объединения информации от нескольких РЛК;

- радиолокационного и процедурного контроля и управления полетами ВС в секторах ответственности;

- автоматического и ручного ввода ВС в автосопровождение по данным первичных и вторичных каналов РЛК;

- расчета данных о движении ВС и представления их диспетчеру для решения задач УВД;

- обработки и рассылки метеоинформации;

- отображения текущей плановой информации, координатной о настоящем и экстраполированном положении ВС, полетной о состоянии ВС, картографической и об ограничениях воздушного пространства, метеорологической и справочной, необходимой диспетчеру в процессе работы;

- документирования информации.

РАСУВД «Стрела» является системой с высокой степенью автоматизации и большой надежностью функционирования. Автоматизация обеспечена применением: вычислительных комплексов, имеющих современные быстродействующие ЭВМ с комплексами программного обеспечения; автоматизированных систем передачи данных (АПД) наблюдения и связи между взаимодействующими объектами и экипажами ВС, а также высокоинформационных средств отображения. Надежность АСУВД обеспечена использованием современной элементной базы, резервированием практически всей аппаратуры, возможностью автоматического изменения связей внутри системы (реконфигурации) и особенно в вычислительном комплексе и его программном обеспечении, наличием автоматизированного функционального контроля, высокой ремонтоспособностью, обеспеченной модульным принципом построения системы. Коэффициент готовности у различной аппаратуры системы неодинаков. Наиболее высокий он у РЛС, меньше у средств АПД и связи, что потребовало введения их значительного резервирования. Начальная конфигурация РАСУВД «Стрела», порядок обмена информацией вычислительного комплекса с внешними устройствами и изменения конфигурации системы устанавливаются автоматически с помощью ее программных средств или по командам инженерного состава с пульта технического контроля в соответствии с результатом анализа технического состояния отдельных устройств системы.

Система «Стрела» взаимодействует путем обмена обработанной информацией с зональным центром ЕС УВД, районными и аэродромными АСУВД других зон, например, с такими, как «Теркас», «Трасса» и «Спектр». РАСУВД установлена в Ростовской зоне и объединила пять РЦ: Ростова-на-Дону, Краснодара, Адлера, Минеральных Вод и Махачкалы. Общая площадь зоны 440 000 км². Радиолокационные позиции установлены вблизи станций Брюховец-кая и Шелковская, городов Геленджик, Светлоград и Ростов-на-Дону.

Основные технические характеристики системы «Стрела»

Число радиолокационных позиций	5
Максимальная площадь зоны управления, км ²	600 000
Число секторов управления	до 25
Зона РЛ управления по высоте, м	3000...20 000
Зона процедурного управления по высоте, м	100...20 000
Число автосопровождаемых ВС	до 200
Число обрабатываемых планов:	
пассивных (суточных)	до 3000
активных (текущих)	до 300
стандартных	до 10 000

Устройство и функционирование. Система (рис. 13.24) включает комплекс аппаратуры автоматического управления (КААУ

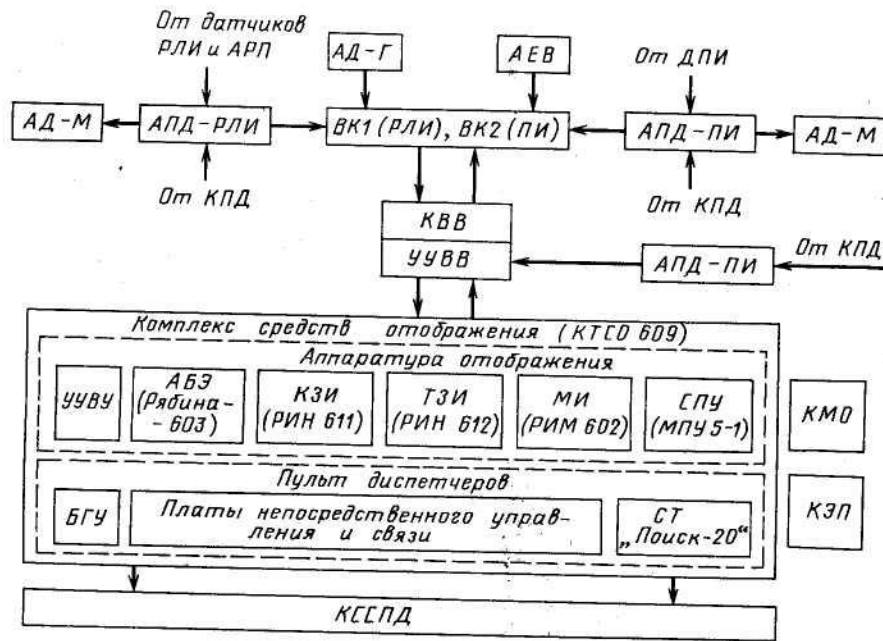


Рис. 13.24. Обобщенная структурная схема РАС УВД "Стрела"

«Снасть-РЦ») и комплекс средств связи и передачи данных (КССПД).

Работа АСУВД обеспечивается комплексом средств наблюдения. В зоне ее управления расположено пять радиолокационных позиций (РЛП), на каждой из которых размещаются: РЛК «Скала-М» (без резервирования антенн), АРП и приемопередающие центры для организации связи «Земля — борт — Земля» и с различными центрами УВД. На этих же позициях расположено пять МРЛС с аппаратурой «Циклон». Комплекс наблюдения имеет сплошное поле радиолокационного наблюдения, начиная с высоты 3000 м.

Комплекс аппаратуры автоматического управления (КАЛУ) предназначен для автоматизации процессов планирования управления воздушным движением и непосредственного управления им. КААУ «Снасть-РЦ» включает аппаратуру комплекса технических средств (АКТС) и программного обеспечения. В свою очередь, основными составляющими АКТС являются вычислительный многомашинный комплекс, комплексы средств связи и передачи данных, комплексы технических средств отображения. В состав КААУ также входят: аппаратура единого времени АЕВ, аппаратура технического контроля, аппаратура документирования на магнитной ленте АД-М, комплекс электропитания КЭП.

Вычислительный комплекс состоит из двух двухмашинных вычислителей ВК1 и ВК2, имеющих по две ЭВМ ЕС-1060, и средств их комплексирования. ВК1 предназначен для обработки РЛИ, а ВК2 — для обработки плановой информации (ПИ). ЭВМ ЕС-1060 предназначены для решения логических и вычислительных задач как автономно, так и в системах обработки информации, могут работать в диалоговом режиме. ВК имеет общее поле памяти и мультиплексные средства обработки информации (МСОИ), которые позволяют объединить ресурсы двух ЭВМ для решения общих задач. Связь между ЭВМ осуществляется на уровне процессоров при использовании одних и тех же накопителей. В случае выхода из строя ВК1 его задачи выполняет ВК2, прекращая обработку плановой информации. Для этого оба ВК подключены ко всем индикаторным устройствам комплекса средств отображения.

Связь ЭВМ с внешними устройствами (ВУ), например с различными индикаторами, производится через блоки группового управления (БГУ). В комплексе их 22. Связь БГУ с ЭВМ логическая и электрическая. БГУ обеспечивают обмен информацией между любым ВУ и одним из каналов ЭВМ, передают на ВУ команды и информационные массивы, используя при этом каналы ввод — вывод. Управление каналами осуществляет устройство управления каналами ввод — вывод (УКВВ).

Основные технические характеристики ВК: быстродействие при решении задач УВД $1,8 \cdot 10^6$ операций в секунду. Объем долговременной памяти до 24×10^6 Мбайт. Объем оперативной памяти до 8 Мбайт.

Вычислительный комплекс работает в реальном масштабе времени. Программное обеспечение всего КААУ «Снасть-РЦ» состоит из связанных между собой по иерархическому принципу модулей программ. С их помощью в ВК1 решаются следующие задачи: обмен с каналами передачи данных, обработка информации от РЛК, АРП и МРЛС, формирование и выдача информации на индикаторные устройства, документирование информации, организация тренировок, функциональный контроль, управление вычислительным процессом. ВК-2 выполняет следующие функции: обмен с каналами передачи данных, сбор и обработка плановой информации, обеспечение предварительного и текущего планирования ВД в секторах управления, формирование и выдача необходимой информации на таблично-знаковые индикаторы (ТЗИ) и устройства печати стрипов (УПС); обработка метеопрогнозов, документирование информации, организация тренировок, функциональный контроль, управление вычислительным процессом.

Комплекс технических средств отображения (КТСО-609) представляет собой комплект пультов и оборудования, обеспечивающих выполнение диспетчерским составом их функциональных обязанностей. Основное оборудование пультов — индикаторы различного назначения и вида: устройства, обеспечивающие

отображение на индикаторах необходимой информации, и устройства, обслуживающие процесс взаимодействия с ВК, диспетчерским составом, ВС и внешними абонентами. Имеется также оборудование для тренировок. КТСО работает в реальном масштабе времени. Индикацию различной информации в КТСО обеспечивают:

координатно-знаковые индикаторы (КЗИ) индивидуального пользования типа РИН-611 (в полностью развернутой системе их 58 ед.);

таблично-знаковые индикаторы типа ТЗИ РИН-612 (112 ед.);

стрипопечатающие устройства СПУ МПУ5-1 (32 ед.);

координатно-знаковый индикатор коллективного пользования (аппаратура большого экрана (АБЭ) «Рябина-603»); светотабло (СТ) «Поиск-20»;

индикаторы контроля технического состояния — мнемоиндикаторы типа (МИ) РИН-602.

Координатно-знаковые индикаторы предназначены для воспроизведения модели обстановки УВД отображаемой координатной, полетной, картографической, плановой и дополнительной для диспетчера информацией и могут давать черно-белое и цветное изображение. На КЗИ отображаются: границы секторов, отметки ВС, векторы, символы, линии полетов, формуляры сопровождений, список ожидания (входа), список потерь, разговорная книжка для воспроизведения вводимой информации при работе с ЭВМ в диалоговом режиме, зоны опасных метеообразований и др. В РАС «Стрела» имеется около 60 КЗИ. Управление работой всех ВУ осуществляет устройство управления.

КЗИ РИН-611 состоит из двух частей: аппаратуры отображения и аппаратуры управления отображением. Задачей аппаратуры управления является получение и хранение входных кодовых посылок об информации, подлежащей отображению и получаемой от ЭВМ, с пульта управления диспетчера и от датчика координат, а также выдача сигналов по управлению отображением этой информацией. Из блока управления информационные коды идут на генератор знаков, где вырабатываются знакоразвертывающие напряжения и напряжения подсвета знаков.

Аппаратура отображения размещается на диспетчерских пультах и состоит из ЭЛТ радиолокационного типа, аппаратуры управления ее лучом и плат управления с функциональной клавиатурой управления содержанием и объемом информации. Метод знако-воспроизведения на КЗИ РИН-611 — векторно-функциональный. Информация при черно-белом изображении отображается тремя различными массивами с отдельным регулированием яркости, а в случае цветной ЭЛТ массивы различают цветами (красный, желтый, зеленый).

Почти все рабочие места оборудованы ТЗИ. Они предназначены для организации диалоговой связи с ЭВМ. На ТЗИ воспроизводятся предварительные и зафиксированные планы полетов,

формализованные соотношения по УВД, списки по аэродрому и пунктов обязательных донесений, а также сведения о техническом состоянии аппаратуры. Число ТЗИ в системе до 120. Экран ТЗИ имеет размер по диагонали 310 мм, в его формате размещается 1920 символа (24 строки по 80 символов). Связь с КЗИ и ТЗИ с ЭВМ, как и всех других внешних устройств, осуществляется через блок группового управления, обеспечивающий обмен информацией через каналы ввода — вывода (КВВ) с помощью устройства управления ВУ.

Стрипопечатающие устройства (СПУ) типа МПУ5-1 располагаются на ряде диспетчерских рабочих мест. Всего их в системе около 30. Эти устройства так же, как и в других ранее описанных системах, предназначены для фиксации на стрипах текущей информации по УВД. В первоначальном рабочем варианте системы они не задействованы.

Диапозитивное светотабло (СТ «Поиск-20») предназначено для отображения статической справочной информации (карт, схем, таблиц, инструкций и т. д.). Изображение черно-белое (светлые линии и надписи на черном фоне или наоборот). Устройство проекционного типа имеет 20 диапозитивов и узел их автоматического выбора и установки в кадровое окно. Экран работает на просвет. Блок управления в виде 20-кнопочного переключателя расположен на панели СТ. Размер экрана 375x550 мм, слайда 23,5x31,2 мм. Возможно применение светофильтров. Аппаратура СТ имеется на рабочих местах диспетчеров радиолокационного и процедурного контроля и инженера-синоптика.

Пульты диспетчеров используются для ввода в систему команд диспетчеров. В КААУ имеются 11 типов пультов диспетчеров и 7 типов рабочих мест. Для УВД по трассам используется 31 пульт: пульт руководителя полетов (1), пульта группы организации потоков (3 и 1 резервный), пульта группы УВД (18 и 3 резервных), пульта тренировки диспетчеров УВД (3), пульт синоптика (1), пульт инструкторов-пилотов (1).

Большинство пультов групповые. Так, пульт РП имеет три рабочих места: РП, ассистента, старшего диспетчера. Пульта группы УВД также имеют по три рабочих места: диспетчера РЛ-контроля и диспетчера процедурного контроля, который одновременно выполняет обязанности диспетчера-ассистента. Число рабочих мест группы организации потоков равно числу направлений полетов. Практически на всех рабочих местах имеются КЗИ и ТЗИ, а на пультах, связанных с непосредственным УВД, СТ «Поиск-20». Секции пультов РП и диспетчеров непосредственного УВД имеют следующее оборудование: блоки функциональной, буквенной и цифровой клавиатуры, панели телефонной громкоговорящей связи и панели связи с экипажами. Секции старшего диспетчера, диспетчеров организации потоков и ассистентов, кроме панелей различного вида связей, имеют также блоки управления ТЗИ. Диспетчеры

процедурного контроля снабжены также панелями стрипов. Общее число стрипопечатающих устройств в системе 35.

Комплекс метеорологического обеспечения (КМО) состоит из станций аэрологического зондирования, станций штормового кольца, авиаметеорологических станций и центров, метеорадиолокаторов с аппаратурой «Циклон». Источником метеоинформации является также и РЛК «Скала-М», у которого имеется метеоприставка для определения границ метеобразований. Источники метеоинформации выдают информации о ветре и температуре в различных зонах ВП, о характере и границах метеобразований, оповещения и предупреждения о возникновении опасных метеоявлений, данные о погоде на аэродромах и в аэропортах (фактической и прогнозируемой метеобстановке). Метеоинформация обрабатывается в ВК по специальной программе.

Аппаратура контроля технического состояния имеет пять рабочих мест. В нее входят пульты управления с различного типа индикаторами, такими, как КЗИ, ТЗИ и МНИ (мнемоиндикатор) РИМ-602. На МНИ информация о состоянии устройств отображается цветными фигурами и символами различной формы (иероглифами). Одно рабочее место служит для контроля состояния средств наблюдения. Еще три рабочих места служат для контроля комплекса аппаратуры автоматического управления, аппаратуры комплекса технических средств обработки информации и комплекса технических средств отображения. Пульт проверки аппаратуры связи оборудован только ТЗИ.

Аппаратура единого времени вырабатывает сигналы астрономического времени, которые поступают на рабочие места диспетчеров, а также сигналы в виде кода времени и синхрочастот для вычислительного комплекса.

В комплекс документирования включены два модуля аппаратуры документирования на магнитной ленте (АД-М) типа 53Ш6, которые ведут непрерывную регистрацию всей входной информации, указаний, вводимых диспетчерами, информации, отображаемой на КЗИ и ТЗИ, всех внутренних и внешних переговоров, а также печатание итоговых отчетно-статистических документов.

Комплекс электропитания (КЭП) в системе называется гарантированным, т. е. он должен обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии во всех возможных случаях эксплуатации.

Аппаратура большого экрана (АБЭ) проекционного индикаторного устройства «Рябина-603» предназначена для представления руководителям многоцветного изображения общей обстановки УВД в значительной по размерам зоне ответственности и размещается в отдельном от диспетчерского зала помещении. Динамическая обстановка УВД отображается на фоне статической карты. Устройство представляет собой многопроекторную проекционную систему, изображение которой создается оптическим проектированием с диапозитива, информация на котором наносится по команде оператора.

Объем и содержание информации устанавливается пользователем. Цветность достигается проектированием диапозитивов с комплекта проекционных устройств, имеющего несколько проекторов со светофильтрами. Всего имеются три проектора, которые работают одновременно. С одного проецируется карта, со второго — знаки и линии, а на третьем в это время наносится новая информация. Благодаря этому динамическое изменение обстановки на экране имеет малое запаздывание.

Диапозитив представляет собой пленку с кадрами 50x50 мм, имеющую алюминированное покрытие толщиной 20...60 мкм. Знаки и линии на диапозитив наносится с помощью пишущего приспособления, оставляющего след на пленке и называемого телекарандашом (ТК). Последний представляет собой проволочную петлю, которая в нагретом состоянии снимает пленку с диапозитива, оставляя след. Передвижение «пера» происходит в результате поступления на следящую систему пишущего механизма напряжений с устройства преобразования кодовой информации о знаках и линиях в аналоговые напряжения. Эти напряжения управляют передвижением пера по двум осям и лентопротяжным механизмом, перемещающим пленку вдоль кадрового окна. Прижатие ТК к пленке для снятия покрытия производится электромагнитом, на который с генератора подается сигнал подсвета одновременно с приходом кода положения карандаша. Экран работает на просвет, т. е. проектор расположен позади экрана.

Выбором воспроизводимой информации управляет оператор с помощью пульта, на котором также совершаются операции управления всеми устройствами и их контролем. Связь с ЭВМ совершается через групповое устройство сопряжения.

Основные характеристики АБЭ «Рябина-603» следующие: размер экрана 2x2 м; угол обзора $\pm 60^\circ$; число цветов: статической информации 1; динамической информации 2; высота знака 1 % от стороны экрана; толщина знака 2...3 мм; объем вводимой информации 2048 знаков; алфавит знаков 127; число знаков в формуляре 1...16; количество сменных диапозитивов 15 шт.; расстояние наблюдения 1...6 м; увеличение размера знака для выделения информации 30...40%.

Комплекс средств связи и передачи данных обеспечивает передачу дискретной информации (радиолокационной и плановой), радиотелефонную служебную и диспетчерскую связь центра управления с наземными объектами системы, ВС и взаимодействующими периферийными объектами (зональным центром, аэродромами, аэропортами, ведомственными пунктами, соседними РЦ, метеорологическим бюро и центром). К средствам КССПД относятся: комплекс аппаратуры передачи данных, в который входят АПД КQ57С и КО58С, а также «Аккорд-СС-ПД»; комплекс аппаратуры речевой связи (КАРС); аппаратура приемопередающего радицентра и

стандартные телефонные каналы связи. В задачу каналов КАПД входит проведение обмена между взаимодействующими объектами ВК и РЦ. Приемопередающий центр обеспечивает двустороннюю связь центра управления с экипажами ВС в метровом и дециметровом диапазонах радиоволн и в КВ диапазоне, используемом для резервного канала связи. Количество радиостанций, подключаемых на одно рабочее место диспетчера, 8 или 16. Для диспетчерской речевой связи используют КАРС, в который входят автоматическая станция диспетчерской связи АСДС-512 и квазиэлектронная телефонная станция АТСКЭ-1024. Дистанционное управление ППЦ с рабочих мест центра управления обеспечивается с помощью АСДС-512. Эта же станция обслуживает громкоговорящую и внутрителефонную связь между операторами центра и внешними абонентами. Число внешних и внутренних абонентов 128, 256 или 512. На каждом рабочем месте диспетчера может быть осуществлена телефонная или громкоговорящая оперативная связь с 32 или 40 абонентами, а циркулярная громкоговорящая связь может быть проведена с 30 абонентами. Важным средством связи являются специальные автоматизированные абонентские пункты СААП «Октава-2» и «Октава-3», обеспечивающие автоматизированное взаимодействие центра управления с неавтоматизированными объектами, удаленными до 100 км (ЗЦ, РЦ, аэродромы, аэропорты, объекты метеослужбы и др.).

«Октава-2» предназначена для приема РЛ-информации из центра управления, контроля и анализа воздушной обстановки. Информация, отображаемая на КЗИ СААП, идентична формируемой в центре управления. Канал связи в «Октаве-2» — телефонный, некомутированный с симплексным, синхронным режимом обмена. Скорость передачи 1200...2400 бит/с. «Октава-3» принимает и передает формализованные сообщения по УВД в процессе предварительного и текущего планирования и используется для передачи метеоданных. Способ передачи — телеграфный. В составе аппаратуры имеется ТЗИ, на котором отображается информация, идентичная формируемой в ЭВМ центра управления.

14.1. Основные требования к системе

В настоящее время организация систематических полетов ВС в ряде районов нашей страны (в северных районах Сибири, Северного Ледовитого океана, в некоторых районах Дальнего Востока, гористых пространствах Сибири и Средней Азии) сдерживается отсутствием развитой структуры средств РТО полетов. Имеется также необходимость увеличения количества некоторых видов РТО и на территориях, воздушное пространство над которыми освоено для полетов. Так, сплошным радиолокационным полем, созданным ПРЛС на высоте 3000 м и выше, перекрыто около 95 % воздушного пространства страны, полем ВРЛС — только немногим больше 15 %. В настоящее время имеется немногим более 200 РЛП (по две трассовых ПРЛС на каждой) и на них около 50 автономных или встроенных ВРЛС. Аэродромные центры обеспечены диспетчерскими обзорными РЛС, имеющими вторичные каналы. Таких ДРЛС около 250. Следует признать, что число ВРЛС чрезвычайно мало, так как при высокой ИВД только при наличии полетной информации о состоянии ВС, получаемой по вторичному каналу, возможно организовать высокоэффективное УВД. Если задачу решать известными путями, используя традиционные средства, то потребуются привлечение громадных материальных и кадровых ресурсов не только для создания, установки и эксплуатации средств РТО, но и на освоение необжитых мест, в которых необходимо разместить эти средства.

В ряде стран с высокоразвитой ГА, включая нашу страну, проведены глубокие исследования о возможных путях решения этой задачи в обширных океанических и материковых районах. В ИКАО был создан специальный комитет ФАНС для оценки новых концепций и техники (включая спутниковые системы) и подготовки рекомендаций по развитию аэронавигации в международной ГА на 25 лет. Результаты решений, полученные в разных странах и в ФАНС как на базе обобщений, так и самостоятельных исследований, совпали. Было получено, что по экономическим критериям создание спутниковых систем УВД более выгодно, чем обеспечение всех необходимых для полетов районов традиционными средствами.

Определение ФАНС по этому вопросу было следующим: «принцип спутниковой технологии является единственным имеющимся в настоящее время решением, которое позволит преодолеть недостатки существующих систем связи, навигации и наблюдения (СНН), удовлетворить потребности в воздушных перевозках и в большей степени отвечать требованиям пользователей». Так как зона действия спутниковых систем (СС) будет глобальной, охватывающей ряд регионов, расположенных не в одном государстве, то необходима взаимоувязка проблем планирования развертывания СС на всемирной основе, для чего при ИКАО создан специальный комитет. При этом подразумевалось обязательное обеспечение совместимости СС в случае создания системы разными странами, совместимости в смысле возможности их использования всеми потребителями без ограничений, влияющих на эффективность УВД. Для этого, как минимум, должны быть предусмотрены использование одинаковых диапазонов радиоволн, общность структуры кодов сообщений и универсальность приемной самолетной аппаратуры.

Спутниковая система значительно повышает гибкость, эффективность и безопасность организации и управления ВД. Так, например, можно повысить экономичность полетов путем изменения в процессе полета эшелонирования по высоте для увеличения времени полетов на выгодных по расходу топлива высотах. Увеличение эффективности проявится и в повышении точности определения параметров движения ВС, что, в свою очередь, приведет к повышению пропускной способности критических точек ВП и позволит улучшить его организацию. Так, например, будет возможно уменьшить все четыре нормы эшелонирования без изменения уровня безопасности полетов.

Сокращение минимумов эшелонирования обеспечивается за счет улучшения точности навигационной системы, применения прогрессивных методов обработки информации и ее индикации для УВД. Так, например, эшелонирование по высоте может контролироваться по измеряемой в СС геоцентрической (от центра Земли) высоте, а точность ее измерения будет улучшена за счет комплексной обработки измерений высоты, проводимых СС и барометрической системой. Применение СС может обеспечить связь между диспетчерскими пунктами и экипажами ВС, находящимися в любой точке ВП страны, т. е. обеспечить наблюдение за ними и УВД. Это, в свою очередь, позволит объединить ряд РЦ (например, в соотношении 100:10), что значительно упростит организацию УВД.

Для обеспечения указанных высоких качеств ССУВД должна отвечать следующим требованиям:

- иметь глобальную зону действия от малых высот до 21 000 м над большинством районов мира;

- обеспечивать работу при различной плотности ВД, с различного типа ВС и бортовым оборудованием различной сложности, не требуя излишнего увеличения оборудования на земле и в космосе;

- обеспечивать навигацию ВС и неточный заход на посадку, т. е. с погрешностями, позволяющими последующее проведение точного захода на посадку и посадку с системой MLS, а в последующем обеспечения точного захода на посадку без системы MLS ($СКП \leq 75 \text{ м}$);

- обеспечивать обмен не только цифровыми внутрисистемными данными, но и речевой, в том числе социальной связью;

- иметь свойство целостности, т. е. способность быстро обнаруживать и сообщать о неисправности системы потребителю.

Целостность — это такая работа системы, когда ее характеристики не выходят за установленные пределы. Целостность ССУВД определяется двумя параметрами: точностью измерения координат и временем от начала использования информации до получения сообщения об этом. Эта информация включается в навигационное сообщение для потребителя.

В связи с очень большими экономическими затратами на со-» здание ССУВД, глобальными возможностями ее использования, всеобщей заинтересованности в их наличии, а также потому, что фактически уже многие страны и частные компании занимаются разработками СС в целом и их частей, в настоящее время они должны создаваться на базе международного сотрудничества с обеспечением их эволюционного развития, совместимости СС, создаваемых в разных государствах, а также совместимости их с известными традиционными средствами связи, навигации и УВД.

14.2. Общие принципы создания и использования спутниковых систем УВД

ИСЗ движутся по известным законам на стабильных орбитах, что обеспечивает возможность прогнозирования их положения на орбите с высокой точностью. Для этого наземные станции слежения измеряют координаты и скорости движения ИСЗ, предвычисляют (прогнозируют) координаты ИСЗ на определенные моменты времени и периодически или по запросу передают их на ИСЗ для хранения. Эти координаты называются эфемеридами. При наличии в зоне видимости ВС трех-четырёх ИСЗ по ним, как по радионавигационным точкам, используя тот или иной навигационный параметр, могут быть определены параметры движения ВС (координаты и вектор скорости). Навигационный сигнал со спутника содержит: время системы, координаты ИСЗ относительно Земли и слово, характеризующее исправность системы путем указания символа качества. Координаты ВС относительно ИСЗ могут быть определены известными методами: дальномерным, разностно-дальномерным и псевдо-дальномерным, когда навигационным параметром является время запаздывания сигнала, или радиально-скоростным; в этом случае навигационным параметром будет доплеровская частота. Так как

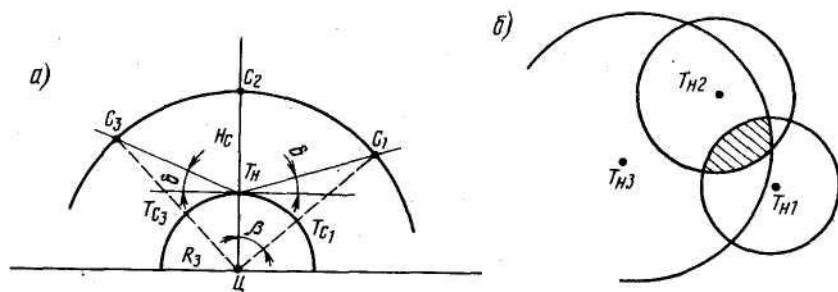


Рис. 14.1. Зоны видимости:
а—наземного наблюдателя; б—трех спутников с Земли одновременно

эфемериды всех ИСЗ относительно Земли известны на момент измерений и известно также место ВС относительно ИСЗ, то на базе этой информации на ВС может быть вычислено его место относительно Земли и вектор скорости, которые будут использованы для навигации ВС и переданы на КДП для применения в процессе УВД.

Одним из основных достоинств СС является возможность осуществления наблюдения в очень большом (по сравнению с РЛС) воздушном пространстве. Так, зона видимости с ИСЗ не ограничена по минимальной высоте поля наблюдения, может иметь радиус в несколько тысяч километров. Это объясняется значительной высотой обращения ИСЗ вокруг Земли (600...36 000 км), а также возможностью использовать для обмена информацией ретрансляционные ИСЗ. Большие зоны обслуживания, обеспечиваемые СС, позволяют объединить смежные центры УВД, что приведет к упрощению ее организации. Навигационные измерения в СС могут проводиться только при наличии прямой видимости объектов СС и ВС. Это обусловило применение для связи метровых, дециметровых и сантиметровых волн. Устойчивая радиосвязь в этих диапазонах может быть только при расположении ИСЗ над горизонтом при угле места, превышающем некоторый угол δ (рис. 14.1, а).

Зоной видимости спутника наземным наблюдателем будет пространство внутри сферического конуса, вершиной которого является точка наблюдения T_n , образующей — линия $T_n C_1$ под углом δ к горизонту, а ось — вертикаль $T_n C_2$. При высоте ИСЗ над землей H_c диаметр основания сферического конуса есть дуга $C_1 C_2 C_3$. Центральной проекцией этой дуги на земную поверхность будет дуга $T_{c3} T_n T_{c1}$, являющаяся диаметром зоны видимости наземного наблюдателя, ее радиус $r = R_3 \beta$. Размеры зоны видимости из наземного пункта (точки наблюдателя) зависят от высоты полета ИСЗ и значения угла δ . Так, 2410 и 7937 км соответственно, а ширина полосы наблюдения на земной поверхности вдвое больше. Для ВС зона видимости определяется таким же образом. Так как ВС находится над землей, то можно считать, что $\delta = 0$.

Таким образом, зона видимости ИСЗ совокупность точек приземного пространства или земной поверхности, из которых ИСЗ, расположенный на определенной высоте, виден под углом больше, чем δ .

Для определения местоположения ВС требуется наблюдать одновременно несколько ИСЗ, т. е. у них должна быть общая зона видимости. Так, например, для трех ИСЗ этой зоной будет общая площадь, полученная в результате пересечения трех зон видимости, имеющих центры T_{n1} , T_{n2} и T_{n3} (рис. 14.1, б). Радиус зоны видимости ИСЗ зависит от высоты его обращения. Высота ИСЗ выбирается исходя из требования обеспечения необходимой ширины полосы обзора. На решение о высоте полета влияет ряд причин технического и экономического плана.

Орбиты ИСЗ неподвижны относительно звезд и могут быть эллиптическими, круговыми, стационарными и полярными. При эллиптической орбите центр Земли находится в одном из фокусов эллипса. Скорость ИСЗ максимальна в точке орбиты, наиболее близкой к Земле, — перигее, и минимальна в наиболее удаленной точке — апогее, т. е. условия наблюдения ИСЗ во времени изменяются. На круговой орбите скорость ИСЗ постоянна. Эта орбита обеспечивает одинаковые условия наблюдения ИСЗ из всех точек зоны его видимости. Скорость по мере увеличения высоты будет падать (при $H_c = 300$ км $V_{исз} = 8$ км/с). При круговой орбите и высоте 35 810 км, при одинаковом с Землей направлении вращения и угле наклона плоскости орбиты к плоскости экватора $i = 0$ (орбита над экватором) скорость относительно Земли будет нулевой, т. е. зона видимости неизменна. Эти ИСЗ и орбита называются стационарными. ИСЗ, имеющие период обращения, равный звездным суткам, называются суточными, или синхронными, в отличие от несинхронных, имеющих иные периоды обращения.

Стационарные ИСЗ относятся к высотным спутникам, различают еще средне- и низковысотные ИСЗ. Высота орбиты средневысотных ИСЗ 2000...20 000 км, а низковысотных 600...2000 км. При меньших высотах начинает сказываться влияние атмосферы. Низковысотные ИСЗ имеют малое время наблюдения (10...15 мин), поэтому эти орбиты используются мало, так как даже при большом числе ИСЗ на орбите определение места будет дискретным и в случае малого числа одновременно наблюдаемых спутников местонахождение наблюдателя надо будет определять по одним и тем же спутникам, наблюдаемым через некоторые промежутки времени. Средневысотных спутников для определения места потребуется меньше, чем низковысотных, но больше, чем суточных. Экономически и технически их проще вывести на орбиту, поэтому этот вид ИСЗ и использован в известных навигационных СС «Глонасс» и «Навстар».

На рис. 14.2 приведена возможная глобальная зона видимости, обеспечиваемая некоторой СС, состоящей из шести стационарных

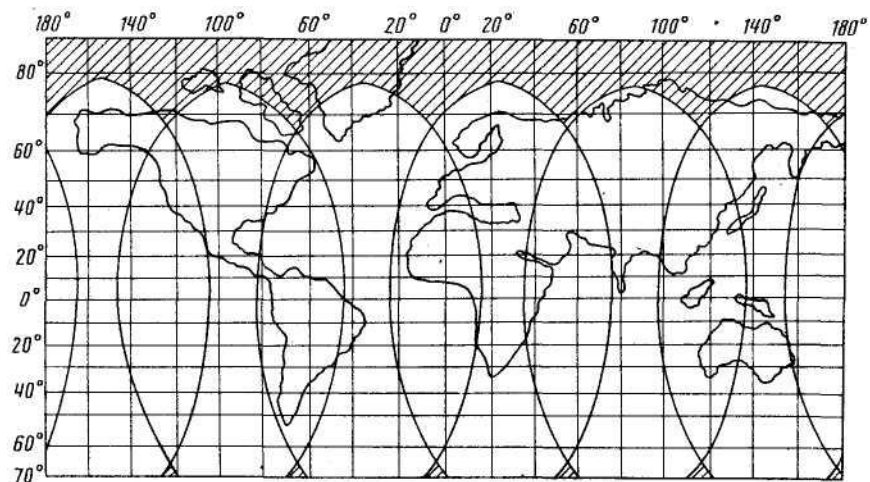


Рис. 14.2. Зоны, обслуживаемые стационарной спутниковой системой из шести спутников (незаштрихованные области)

спутников, равномерно расположенных на орбите. Заштрихованные области соответствуют необслуживаемым системой приполярным областям. Для их освещения используются ИСЗ с полярными орбитами, плоскости которых проходят через полюсы Земли и имеют угол наклонения (к экватору) $i = 90^\circ$. Средневысотные ИСЗ имеют зону видимости много меньше, чем стационарные, поэтому для обеспечения глобального осмотра земной поверхности потребуется несколько орбит, на которых размещается по несколько ИСЗ.

В ССУВД ближайшего будущего задачи навигации ВС и наблюдения за ними будут решаться с помощью вводящихся в эксплуатацию навигационных СС, поэтому рассмотрим некоторые вопросы, относящиеся к ним.

При полном развертывании СС типа «Глонасс» и «Навстар» они будут иметь три-четыре орбиты по 6 ИСЗ при синхронном, т. е. постоянном относительном положении их на орбите ($i = 55^\circ$, $H = 20\ 183$ км). Система обеспечивает постоянную видимость даже на экваторе трех-четырех ИСЗ. Эти системы обеспечивают малые погрешности измерений (так, СКП дальности около 10 м, а скорости 0,05 м/с). Вариант с более простой бортовой аппаратурой имеет СКП по дальности 100...500 м. Эфемеридная информация об ИСЗ (три координаты, скорость и время) в системе получается с помощью наземных командно-измерительных станций (КИС) на базе дальномерного запросного способа измерений. Прогнозируемая к определенным моментам времени эфемеридная информация передается по радиоканалам на ИСЗ, где хранится и по мере необходимости выдается.

Для определения места ВС относительно ИСЗ применяется псевдодальномерный метод, а его радиальной скорости — доплеровский. Дальномерный способ не используется в основном из-за сложности бортовой аппаратуры, а разностно-дальномерный — по причине его невысокой точности. Кроме того, для работы необходимо наблюдать на один спутник больше, так как для получения одной поверхности следует располагать двумя радионавигационными точками. При дальномерном способе одновременно измеряются дальности и скорости полета ВС относительно трех или более ИСЗ. Определяют три поверхности положения и три компоненты вектора скорости. Псевдодальномерный (pseudos, греч. — ложь) — это беззапросный дальномерный способ, при котором из-за значительной разницы в шкалах времени ВС и ИСЗ необходимо учитывать поправку в дальности $\Delta r = V_p \Delta t_{\text{ч}}$, где V_p — радиальная скорость сближения ИСЗ и ВС, а $\Delta t_{\text{ч}}$ — расхождение их часов, т. е. в этом случае, кроме параметров движения ВС, необходимо определять поправку часов и вводить ее в систему. Если принять, что $\Delta t_{\text{ч}} = 1$ с, а $V_{\text{исз}} = 8$ км/с, то при погрешности определения дальности 10... 100 м допустимая относительная погрешность определения времени $10^{-2} \dots 10^{-3}$. Создание высокоточных часов является очень сложной задачей, так как требует наличия на ВС и ИСЗ высокостабильных генераторов колебаний. Поэтому хранение точного времени решается путем периодической корректировки часов ВС по наземным высокоточным часам через ИСЗ. При этом необходимо иметь точное время, затрачиваемое на прохождение сигналов коррекции и учитывать его. Для этого нужно знать расстояние от хранителя времени до потребителя — ВС. При псевдодальномерном методе оно точно неизвестно, поэтому вначале точное время устанавливается на ИСЗ, на которых имеются точные атомные часы, т. е. производится согласование бортовых часов ИСЗ с так называемым системным временем. Таким образом, измеренные на ВС псевдодальности будут отличаться от истинных дальностей только на величину, зависящую от ухода часов ВС от системного времени, которое можно считать одинаковым для всех ИСЗ. Это расхождение измеряется путем введения в уравнения разностей между численными и измеренными координатами (которые не сходятся в одной точке пересечения) поправок, подбираемых так, чтобы поверхности, исчисляемые по разностным уравнениям, сошлись в одной точке. Эти поправки и есть погрешности измерения дальностей с обратным знаком. Обработывая этот результат, можно получить поправку к часам ВС.

14.3. Структуры перспективных систем УВД с использованием спутников

Любая система, обеспечивающая УВД, состоит из трех подсистем: связи, навигации и наблюдения. Подсистема связи обеспечивает связь между системой и ВС и между внутренними структурами

системы. Подсистемы навигации и наблюдения обеспечивают получение на борту ВС их местоположения или навигационных параметров, необходимых для определения параметров движения ВС, т. е. их трехмерных координат в системе, связанной с Землей, и скорости движения ВС в любой момент времени. Эта подсистема используется также совместно с наземной частью системы для организации связи ВС — ИСЗ — Земля, поэтому спутниковую систему УВД (ССУВД) в документах ИКАО называют спутниковой системой связи, навигации и наблюдения (СССНН). Слово наблюдение в наименовании СС означает, что в ее наземной части имеется информация о параметрах движения ВС. Внедрение в эксплуатацию этой системы потребует значительных экономических и материальных затрат и длительного времени. Так, по выводам ФАНС-4 и оценкам наших специалистов задача полного развертывания космической и наземной частей системы может быть решена не ранее 2015 г. При этом до окончательного внедрения СС для наблюдения и УВД будут использованы как спутниковые, так и традиционные средства связи, навигации и наблюдения. Поэтому, рассматривая перспективы развития СС, необходимо одновременно показать роль и место традиционных средств при их совместном с СС использовании.

Одна из важнейших задач, решаемых в системах УВД,— наблюдение за воздушной обстановкой. В настоящее время рассматриваются две принципиально разные системы: ССУВД с автоматическим зависимым наблюдением (АЗН, а в ИКАО — ADS) и ССУВД с автономным независимым наблюдением (АНН или CIS).

В СС, использующей подсистему АЗН, наблюдение за ВС, определение координат и вектора скорости ВС производится на борту ВС по навигационным параметрам, получаемым от спутниковой навигационной подсистемы. В качестве традиционных средств в СУВД будут использованы известные виды Наземного и бортового оборудования, применяемые для определения параметров движения ВС (радионавигационные системы дальней и ближней навигации, инерционные системы, VOR, DME и др.). Конкретные виды оборудования могут быть различными для различных типов ВС и разных сроков внедрения СС.

В СС, использующей АНН, параметры движения (координат и скорости) ВС определяются в наземных центрах УВД по ретранслированным на них от ВС через ИСЗ навигационным сигналам или их параметрам, которые были приняты и измерены бортовой аппаратурой ВС.

Традиционными средствами, которые могут решать задачу автономного независимого наблюдения, могут быть РЛС. Ко времени широкого внедрения СС для обеспечения УВД, РЛС будут применяться, как правило, лишь для оперативного обеспечения метеоинформацией. Основными средствами наблюдения за ВО будут моноимпульсные ВРЛС, работающие в дискретно-адресном режиме (ДАС) или, по терминологии ИКАО, в режиме S. Эти ВРЛС могут

обеспечить необходимую высокую точность координат и оперативность их определения.

Первой по срокам внедрения и основной для УВД на маршрутах с низкой и средней ИВД (присущей наибольшей части ВП нашей страны) будет ССУВД на базе принципов АЗН. В укрупненные центры УВД информация о местоположении ВС в глобальном масштабе будет поступать от ВС по линиям передачи данных через спутники-ретрансляторы. Этот вариант ССУВД планируется использовать для навигации как тяжелых, так и легких В. Однако их бортовое навигационное оборудование отличается точностью, т. е. на легких оно будет упрощенным, меньших габаритных размеров и массы. Это же относится и к связной аппаратуре.

Для обеспечения УВД на маршрутах с высокой ИВД рекомендуется использовать ССУВД на принципах АНН, возможный режим АЗН может быть резервным. УВД при очень высокой ИВД, которое может быть в аэродромных зонах, должно быть построено на принципах автономного наблюдения за ВС, осуществляемого с помощью ДАС ВРЛС. Следует указать также, что к ССУВД предъявляется требование обеспечения неточного захода на посадку (средняя квадратическая погрешность около 150 м). Это требование считается выполнимым.

14.4. Обобщенная структура перспективной спутниковой системы УВД

Общая структура ССУВД (рис. 14.3), использующих как принципы АЗН, так и АНН, практически одинакова, разница в основном лишь в назначении и числе линий передачи информации в системе.

Оборудование любой СС состоит из четырех крупных частей: созвездия ИСЗ с бортовой аппаратурой спутников, бортовой спутниковой аппаратуры на ВС, наземного оборудования (станции слежения за ИСЗ и определения параметров их движения и центры УВД), а также линии передачи данных и связи между различными частями системы. Кроме того, в состав системы входят традиционные средства (ТС) обеспечения навигации ВС как на борту ВС, так и на земле, используемые в качестве информационного резерва в переходный к ССУВД период.

Созвездия ИСЗ. В ближайшие два-три десятилетия из-за ограниченных технических возможностей по разрешенной массе на ИСЗ спутниковая система будет иметь два созвездия, одно из которых (ИСЗН) будет решать навигационные задачи и нести часть навигационной аппаратуры, а второе (ИСЗР) — задачи ретрансляции информации по линиям ВС — ИСЗН — ИСЗР — Земля с помощью линий связи и аппаратуры передачи данных. На ИСЗН располагается аппаратура приема хранения и передачи эфемеридной информации,

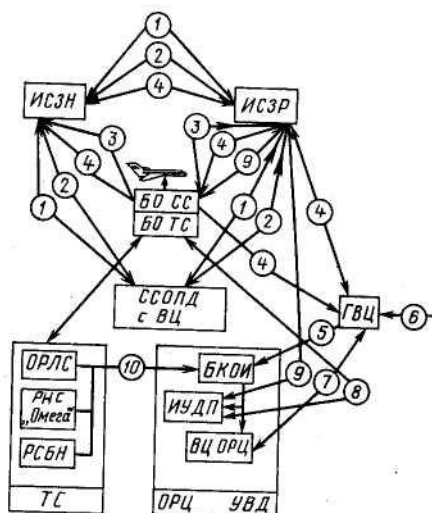


Рис. 14.3. Обобщенная структурная схема спутниковой системы УВД

генерации навигационных сигналов, хранения времени и другая аппаратура, необходимая для функционирования системы. Основной аппаратурой ИСЗР является аппаратура ретрансляции информации. Предполагается, что в будущем навигационная и ретрансляционная аппаратура будут располагаться на одном и том же ИСЗ, возможно также для целей наблюдения использовать радиолокационные методы, для чего на ИСЗ созвездия необходимо будет разместить РЛС.

Станции слежения и определения параметров движения спутников (ССОПД).

Они располагаются на земле, их несколько. Так, в известной системе спасения КОСПАС

—САРСАТ три станции, расположенные в районах Москвы, Архангельска и Владивостока, обеспечивают наблюдение за ИСЗ этой системы в пределах нашей страны. Назначением ССОПД являются поиск и слежение за ИСЗ обоих созвездий и определение параметров их движения и эфемерид в своих вычислительных центрах (ВЦ). По линиям связи 1 с ССОПД непосредственно на ИСЗ или через спутники ретрансляторы идут сигналы запуска, а с них ответы, по которым осуществляется слежение за всеми ИСЗ созвездия. После определения на ВЦ ССОПД предвычисленных координат ИСЗ они передаются на спутники по линиям 2. Точность определения эфемерид очень высокая, средняя квадратическая погрешность может быть не более 1 м. В принципе можно предположить, что эфемериды могут вычисляться с помощью астроориентиров на борту ИСЗ. Такая аппаратура уже проектировалась.

Спутниковое бортовое оборудование ВС. На ВС по данным, полученным от ИСЗН, производится поиск наиболее выгодных по относительному положению четырех ИСЗ, обеспечивающих высокую точность определения места ВС, а затем по линиям 3 с ВС производятся запрос и прием от ИСЗН (или только прием) информации. Поиск нужных ИСЗН осуществляется по данным о других ИСЗ, содержащихся в формате сигналов, принимаемых от первого вышедшего на связь ИСЗ. Вид бортового оборудования (БО) зависит от типа ССУВД: с АЗН или с АНН. В первом случае БО обеспечивает вычисление параметров движения ВС, их использование для коррекции счисленного МПС и передачу их значений на Землю в главный вычислительный центр (ГВЦ) непосредственно или через

ИСЗР по линиям 4. Кроме параметров ВС, в передаваемый сигнал включается дополнительная информация о состоянии ВС, например опознавательная и полетная, так как это принято в системах ВРЛС или в больших объемах.

Во втором случае БО принимает от ИСЗН и передает по линиям 4 на ГВЦ навигационные сигналы или обработанные навигационные параметры, необходимые для вычисления МПС в ГВЦ, принимает по той же линии вычисленные параметры движения ВС и использует их при самолетовождении.

Главный вычислительный центр, кроме приема данных от всех ВС о их местоположении или навигационных параметров, имеет еще несколько основных задач: на базе центрального расписания, заявок на полеты и другой информации, поступающей по линии 6 от всех объединенных районных центров и различных служб ГА, производит предварительное планирование полетов для всего обслуживаемого региона; получает и обрабатывает информацию, поступающую от ВС и ВЦ ОРЦ и на ее базе вносит коррективы в предварительные планы полетов; выдает информацию в вычислительный центр ОРЦ УВД по линии 7.

В объединенном районном центре производится в блоке аппаратуры комплексная обработка информации (БКОИ) о воздушной обстановке, полученной непосредственно от ВС и от ГВЦ по линии 5, а также по линии 10 от традиционных средств УВД. Полученная информация отображается на индикаторных устройствах диспетчерских пультов (ДП) ОРЦ по соответствующим секторам управления. Отображается информация как на настоящий момент, так и прогнозируемая в БКОИ, в том числе и о потенциальных конфликтных ситуациях. Связь с ВС, находящимися в видимости ОРЦ, идет по линии 8, а при ее отсутствии — по линии 9 через ИСЗР. Поступившие из ГВЦ по линии 7 предварительные планы полетов сравниваются с полученными на базе отработки данных от подсистемы наблюдения. Результаты сравнения в виде сигналов рассогласования поступают на ГВЦ по той же линии для корректировки результатов предварительного планирования.

Автоматизированные системы управления воздушным движением/Под ред. В. И. Савицкого. М.: Транспорт, 1986.

Бакулев П. А., Стенин В. М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986.

Грачев В. В., Кейн В. М. Радиотехнические средства управления воздушным движением. М.: Транспорт, 1975.

Канарейкин Д. Б., Павлов Н. Ф., Потехин В. А. Поляризация радиолокационных сигналов. М.: Советское радио, 1966.

Каценбоген М. С. Характеристики обнаружения. М.: Советское радио, 1965.

Методика установки и использования аппаратуры телевизионного отображения радиолокационной информации «Строка-Б». РИО МГА, 1974.

Методика установки и использования типовых универсальных пультов диспетчеров УВД «Пульт-2». РИО МГА, 1979.

Методика ввода в эксплуатацию и использования аппаратуры «Страница». М.: Воздушный транспорт, 1983.

Методика ввода в эксплуатацию и использования аппаратуры «Символ-Д». М.: Воздушный транспорт, 1985.

Методические указания для работы диспетчеров с оборудованием АСУВД «Трасса». М.: Воздушный транспорт, 1985.

Носов Ю. Р., Жилин В. А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью. М.: Советское радио, 1976.

Перевезенцев Л. Т., Зеленков А. В., Огарков В. Н. Радиолокационные системы аэропортов. М.: Транспорт, 1981.

Скольник М. Введение в технику радиолокационных систем. М.: Мир, 1965. Справочник диспетчера по АСУВД «Старт». М.: Воздушный транспорт, 1984.

Справочник по радиолокации/Под ред. М. Скольника. М.: Советское радио, 1979.

Теоретические основы радиолокации/Под ред. В. Е. Дулевича. М.: Советское радио, 1978.

Финкельштейн М. И. Основы радиолокации. М.: Советское радио, 1973.

Анализ спорных ситуаций 105

Антенна РЛС 70

— зеркальная 71

Аппаратура документированная 23

— первичной обработки информации 96

— передачи данных 23

— сигналов единого времени

— отображения информации:

«Знак» 248

«Символ-Д» 254

«Строка-2» 268

«Строка-Б» 244

«Строка-Б» — «Страница» 261

«Строка-Ц» 272

АСУВД:

автоматизированные 14

автоматические 16

аэродромные 12

космические 17

малой автоматизации 13

неавтоматизированные 13

процедурные 17

радиолокационные 17

районные 12

«Спектр» 309

«Старт» 297

«Стрела» 342

«Трасса» 331 Атмосферные

неоднородности 112

В

Вероятность обнаружения целей 93

Видеоусилитель 74

Время обновления

информации 34

Выходные устройства

36

Д

Дальность обнаружения целей 36

Детектор амплитудный 74

Диаграмма доплеровских биений 119

— направленности антенны 30

— обнаружения:

в вертикальной плоскости 59 —

горизонтальной плоскости 61

Длина волны 28

Документирование информации 338

Задержка импульсов 121

Защита запросного канала 199'

— ответного канала 201

— от помех 44

Зона видимости 354

— обзора 31, 36, 59

И

Индикаторы диспетчерские 21

— таблично-знаковые 293

Информация координатная 287

Измерение азимута целей 95

— дальности 94

Источники помех 44

К

Когерентность колебаний 28

Кодирование время-импульсное 189

— позиционное 190

Коды запросные 191

— ответные:

бортового номера ВС 193

высоты полета 196

опознания 196

текущей информации 194

Клистроны пролетные 68

Комплекс вычислительный 21

Коэффициент шума 35

Л

Линии передачи электромагнитной

энергии 70

М

Магнетроны 66
Метеообеспечение полетов 20
Метеоинформация 20
Метки азимута 80
— дальности 80
Методы защиты от помех 130
— измерения дальности 33
— наблюдения радиолокационные 25
— обнаружения целей и измерения координат 81
— отображения информации:
генерации знаков 241
знакопечати 239
растровый 240
Микротабло 309
Модуляторы 69
Мощность импульсных колебаний 29

Н

Надежность РЛС:
долговечность 45
коэффициент готовности 45
наработка на отказ 45
отказ 45
ремонтпригодность 45 среднее
время восстановления 45
эксплуатационные возможности 46

О

Обнаружение радиолокационных сигналов автоматическое 90 — траектории и новых целей 103
Оборудование:
групповое 273
канальное 276
рабочих мест 281
Обработка плановой информации 8
Объем разрешаемый 25
Ответчики самолетные радиолокационные 210
Отражатели уголкового 166
Отображение:
информации 338
линии курса 168
— глиссады 168

П

Передачики 66 — клистронные 66
Переключатель антенный 72
Период повторения импульсов 29
Планирование долговременное:

суточное 6
текущее 7
Площадь рассеивания эффективная 26
Погрешность измерений 41
Поляризатор 108 Поляризация 106
Помеха 128 Пульт управления 21
Пульсы диспетчеров 302, 336, 347

Радиоимпульсы 27
Радиолокация:
с активным ответом 24
— пассивным ответом 24
Радиоцентр приемопередающий 23
Регулировка усиления автоматическая 75
Решетка:
антенная 71
одномерная 71
синфазная 71
РЛС вторичные:
ДАС 217
«Корень-АС» 205
«Лист» 216
— метеорологические 225
— моноимпульсные 83
— обзорные аэродромные:
АОРЛ-85 («Экран-84») 159
«Дружба» («Онега-А») 161
«Иртыш» 154
---- трассовые:
П-35М и П-37 136 «Скала-М» и «Скала МПР» 140 «Утес» 134
«Утес-М» 135
— посадки:
РП-4Г 175
РП-5Г 180
— разрешающая способность:
по дальности 39
— углу 40

Сглаживание координат и скорости ВС 104
Селекция движущихся целей 113
----- цифровая 123
— сигналов 107
Сечение зоны обзора 59
Система УВД 11
Системы спутниковые 351
Скорость обзора по азимуту 34
— слепая 117

Список входа 340
Средства отображения информации 233
Стрипы 19, 325

Таблица системных данных 309
Табло системное 341
Точность измерения координат 41

Угол закрытия 62
Усилитель промежуточной частоты 74
Устройства:
автоматической подстройки частоты 74
индикаторные 77
пересчета высоты 292
поляризационные 111
радиоприемные 72
совмещенные индикаторные 242
Учет кривизны Земли 52 —
рефракции радиоволн 51

Формуляр:

маршрутов 342
ожидания 307
сопровождения 288, 305
табличный 308

Характеристики: обнаружения ВС
48 помехозащищенности РЛС 43

Ц

Цели радиолокационные 25

Частота повторения импульсов 29
Число импульсов в пачке 34
Чувствительность радиоприемного устройства 34

Энергетические потери 49

Предисловие	3	Глава 6. Защита первичных РЛС от воздействия помех.....	106
Глава 1. Общая структура автоматизированных систем управления воздушным движением.....	6	6.1. Защита РЛС от помех, создаваемых метеорологическими образованиями	106
1.1. Необходимость автоматизации процессов УВД	6	6.2. Защита от помех, создаваемых отображениями от Земли, и местных предметов, методами СДЦ.....	113
1.2. Классификация систем УВД	11	6.3. Электромагнитная совместимость РЭС	127
1.3. Обобщенная структура автоматизированной системы УВД	17	Глава 7. Обзорные трассовые радиолокационные станции и комплексы	132
Глава 2. Основы теории радиолокации	24	7.1. Общие сведения	132
2.1. Основные сведения	24	7.2. Трассовые РЛС типа П-35М и П-37.....	136
2.2. Технические параметры радиолокационных станций	27	7.3. Трассовые РЛК «Скала-М» и «Скала-МПР».....	140
2.3. Эксплуатационные характеристики радиолокационных станций	36	Глава 8. Аэродромные обзорные радиолокационные станции и комплексы	149
Глава 3. Расчет и построение зоны обзора первичной РЛС.....	47	8.1. Общие сведения	149
3.1. Учет случайных закономерностей процесса обнаружения и энергетических потерь в сигнале в уравнении радиолокации	47	8.2. Аэродромный РЛК «Иртыш».....	154
3.2. Методика расчета дальности действия РЛС с учетом рефракции радиоволн и кривизны Земли.....	51	8.3. Аэродромная обзорная РЛС АОРЛ-85 («Экран-85»)	159
3.3. Уменьшение дальности вследствие затухания радиоволн	53	8.4. Аэродромная РЛС «Дружба» («Онега-А»)	161
3.4. Влияние отражений радиоволн от Земли на зону обзора в вертикальной плоскости.....	54	Глава 9. Радиолокационные станции посадки	163
3.5. Методика расчета и построения диаграммы обнаружения в вертикальной плоскости с учетом отражений от Земли	57	9.1. Особенности использования и основные требования к РЛС-П	163
3.6. Методы построения зоны обнаружения целей	59	9.2. Закономерности отображения линий заданного положения.....	168
Глава 4. Принципы функционирования и устройство первичных радиолокационных станций с импульсной модуляцией.....	66	9.3. Принципы построения изображений на индикаторных устройствах РЛС-П	171
4.1. Передатчики, линии передачи и антенны	66	9.4. Погрешности оценки отклонений ВС от линии заданного положения	173
4.2. Радиоприемные устройства	72	9.5. Посадочные РЛС и их характеристики.....	175
4.3. Индикаторные устройства.....	77	Глава 10. Системы вторичной радиолокации	186
4.4. Моноимпульсная радиолокационная станция.....	81	10.1. Общие сведения	186
4.5. Трансляция радиолокационной информации и передача команд управления и сигналов между РЛС и КДП.....	85	10.2. Принципы кодирования.....	189
Глава 5. Методы и аппаратура первичной и вторичной обработки радиолокационной информации	88	10.3. Структура запросных кодов в режимах «УВД» и «RBS»	191
5.1. Автоматическое обнаружение сигналов	88	10.4. Структура ответных кодов в режиме «УВД».....	193
5.2. Первичная обработка радиолокационной информации	94	10.5. Структура ответных кодов в режиме «RBS».....	195
5.3. Аппаратура первичной обработки информации.....	96	10.6. Защита каналов запроса и ответа от воздействия ложных сигналов	198
5.4. Аппаратура передачи данных.....	100	10.7. Вторичная РЛС «Корень-АС»	205
5.5. Вторичная обработка радиолокационной информации	102	10.8. Самолетные радиолокационные ответчики	210
		10.9. Недостатки систем вторичной радиолокации	215
		10.10. Перспективы развития систем вторичной радиолокации	216
		Глава 11. Метеорологические радиолокационные станции	225
		11.1. Общие сведения	225
		11.2. Структура и функционирование МРЛС.....	227
		Глава 12. Аппаратура автоматического отображения моделей обстановки УВД	233
		12.1. Виды средств отображения информации	233
		12.2. Методы создания изображений на ЭЛТ	235
		12.3. Методы отображения знаковой информации на экранах ЭЛТ	239
		12.4. Совмещенное отображение информации	242
		12.5. Аппаратура отображения информации «Строка-Б»	244
		12.6. Аппаратура отображения информации «Знак».....	248
		12.7. Аппаратура отображения информации «Символ-Д».....	254
		12.8. Аппаратура отображения информации «Строка-Б» — «Страница»	261
		12.9. Аппаратура отображения информации «Строка-2»	268
		12.10. Аппаратура отображения информации «Строка-Ц»	272
		12.11. Устройство пересчета высоты «Высота»	292
		12.12. Таблично-знаковые индикаторы.....	293
		12.13. Аппаратура индикации метеорологической информации и диспетчерских данных «Табло»	295

Глава 13. Автоматизированные системы УВД.....	297
13.1. Аэродромная автоматизированная система УВД «Старт».....	297
13.2. Аэродромная и аэроузловая автоматизированная система УВД «Спектр».....	309
13.3. Районная автоматизированная система УВД «Грасса».....	331
13.4. Районная автоматизированная система УВД «Стрела»	342
Глава 14. Спутниковые системы УВД (ССУВД).....	351
14.1. Основные требования к системе.....	351
14.2. Общие принципы создания и использования спутниковых систем УВД.....	353
14.3. Структуры перспективных систем УВД с использованием спутников	357
14.4. Обобщенная структура перспективной спутниковой системы УВД	359
Список литературы.....	362
Предметный указатель	363

Учебник

Тучков Николай Тимофеевич

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ
СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

Предметный указатель составила **Л. В. Васильева**

Технические редакторы **Р. А. Иванова, Н. И. Горбачева**

Корректор-вычитчик **С. М. Лобова**

Корректор **Г. В. Платова**

ИБ № 4785

Сдано в набор 28.10.92. Подписано в печать 16.11.93. Формат 60 × 88¹/₁₆.
Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 22,54.
Усл. кр.-отт. 22,54. Уч.-изд. л. 25,44. Тираж 1500 экз. С 004. Заказ 1972.
Изд. № 1 — 1 — 1/7 № 6174
Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ»,
103064, Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 4 Министерства информации и печати РФ
129041, Москва, Б. Переяславская, 46