

## Введение

Современный этап развития гражданской авиации характеризуется широким внедрением автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД), использованием последних достижений вычислительной техники, более современными радиоэлектронными средствами управления воздушным движением, навигации, посадки и связи, совершенствованием методов и средств технической эксплуатации авиационной техники.

В условиях высокой интенсивности и плотности воздушного движения особую остроту приобретает проблема обеспечения безопасности полетов и максимальной эффективности использования авиационной техники.

Среди радиотехнических средств обеспечения полетов особое место занимают радиолокационные станции (РЛС), поскольку являются основными источниками динамичной информации о воздушной обстановке для диспетчеров службы движения.

Первичные радиолокаторы (ПРЛ) объединяются в следующие группы:

- трассовые обзорные радиолокаторы ОРЛ-Т (вариант А), с максимальной дальностью действия до 400 км;
- трассовые обзорные радиолокаторы ОРЛ-Т (вариант Б), с максимальной дальностью действия до 250 км;
- аэродромные обзорные радиолокаторы ОРЛ-А (варианты В1, В2 и В3), соответственно с максимальной дальностью действия 160, 100 и 46 км;
- посадочные РЛ (ПРЛ);
- радиолокаторы обзора летного поля (РЛОЛП);
- метеорологические РЛ (МРЛ);
- комбинированные обзорно-посадочные радиолокаторы.

Вторичные радиолокаторы (ВРЛ) по принципу построения разделяются на автономные и встроенные. По характеру взаимодействия с бортовыми ответчиками ВРЛ разделяются на РЛ с общим и дискретно-адресным запросом; по системе кодирования - на удовлетворяющие нормам России (режим УВД) и нормам ИКАО (режим RBS). Современные ВРЛ работают в совмещенном с первичными РЛС режиме.

Трассовые обзорные РЛ ОРЛ-Т предназначены для контроля и управления воздушным движением на трассах. ОРЛ-Т позволяют:

- обнаруживать и определять местоположение ВС;
- контролировать выдерживание экипажами ВС заданных коридоров и времени прохождения контрольных точек на трассе;
- предупреждать опасные сближения ВС;
- обнаруживать местоположение метеообразований, опасных для полетов;
- опознавать принадлежность ВС и получать дополнительные данные о них путем использования встроенных вторичных каналов.

ОРЛ-Т должны обеспечивать большую дальность действия при хорошей точности и высокой разрешающей способности.

Аэродромные обзорные радиолокаторы (ОРЛ-А) предназначены для контроля и управления воздушным движением в районе аэродрома, а также для вывода ВС в зону действия посадочного РЛ. ОРЛ-А должны иметь эффективные средства подавления сигналов, отраженных от местных предметов и гидрометеоров. ОРЛ-А должны обнаруживать и определять местоположение целей, находящихся на небольших высотах и на близком удалении от РЛ.

Посадочные РЛ предназначены для контроля с земли за выдерживанием ВС заданной линии курса, а также управления посадкой путем передачи экипажу команд управления.

Радиолокаторы обзора летного поля ОЛП предназначены для контроля и руководства движением ВС и спецавтотранспорта на поверхности аэродрома. К ним предъявляется требование обеспечения высокой разрешающей способности при изображении летного поля и находящихся на нем объектов при любых погодных условиях. Наилучшим образом этим требованиям удовлетворяют РЛ, работающие в миллиметровом диапазоне длин волн.

Метеорологические РЛ – МРЛ предназначены для обнаружения и определения местоположения очагов гроз и ливневых осадков, а также их скорости и направления перемещения. МРЛ оказывают помощь диспетчерам в обеспечении безопасности полетов в сложных метеорологических условиях. МРЛ применяют также для измерения параметров сдвига ветра в ветровых аномалиях по эффекту Доплера.

## 1. Тактико-технические характеристики РЛС ГА

### 1.1. Тактические характеристики РЛС

Все многообразие характеристик РЛС можно разделить на три группы: тактические, технические и эксплуатационные. В качестве исходных данных при расчете РЛ берутся их тактические показатели. К тактическим характеристикам, определяющим возможности использования РЛС как источника информации, относятся: назначение, зона обнаружения, время обзора зоны; число измеряемых координат и точность их определения; разрешающая способность; помехоустойчивость; объем и количество получаемой дополнительной информации; способ отображения информации.

**Зоной обнаружения РЛС** (рис.1.1) называют пространство, в пределах которого РЛС обнаруживает цели с определенными отражающими свойствами, с заданными вероятностями правильного обнаружения и ложной тревоги. Зону обнаружения представляют в виде сечений в вертикальной плоскости ( $D_v$ ) и в горизонтальной ( $D_r$ ):

$$D_{\text{max}} = R_{0\text{max}} F(\varphi, \theta)_{H=\text{const}},$$

$$D_{\Gamma} = R_{0\text{max}} F(\varphi, \theta)_{H=\text{const}},$$

где  $F(\varphi, \theta)$  - нормированная ДН антенны;  $\varphi$  - азимутальный угол;  $\theta$  - угол места;  $H$  - высота расположения цели;  $R_{0\text{max}}$  - максимальная дальность действия РЛС.

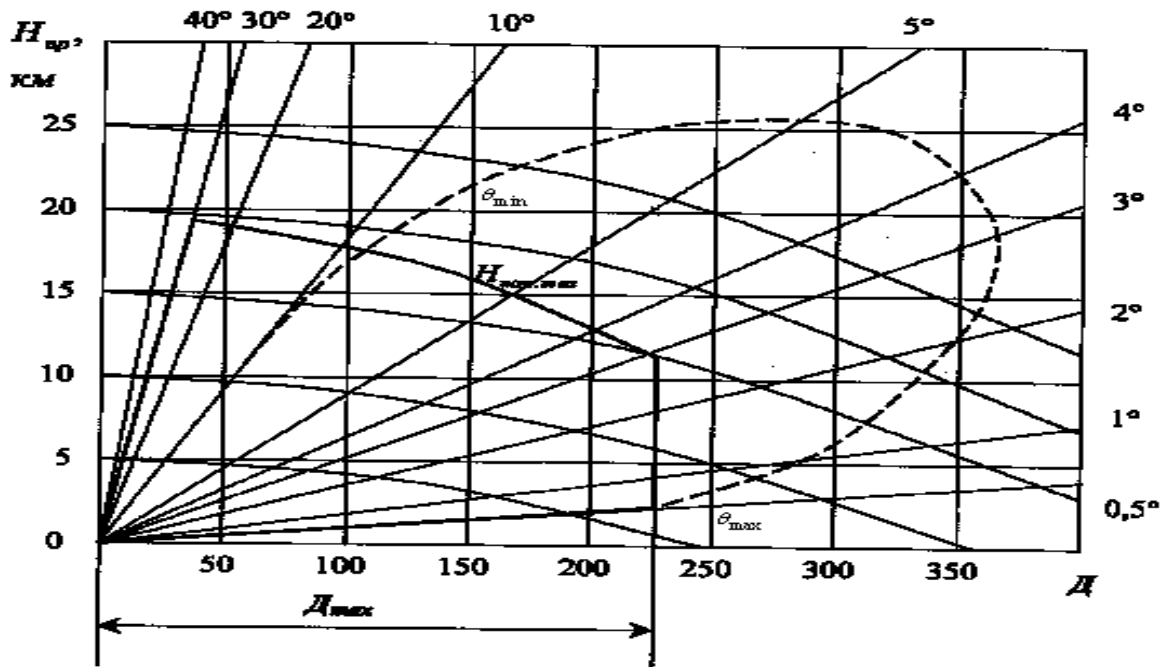


Рис. 1.1. Зона обнаружения РЛС

В качестве примера приведено вертикальное сечение зоны обнаружения РЛС кругового обзора, которая строится в координатах «наклонная дальность» - «приведенная высота».

**Период обзора пространства** зависит от многих факторов, в том числе от ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) РЛС  $|\varphi_a|$ , сектора обзора  $|\Delta\varphi|$ , числа импульсов  $n$ , отраженных от цели за время одного обзора, и максимальной дальности действия. Для РЛС кругового обзора он определяется следующим выражением:

$$T_{\text{обз}} = t_{\varphi} \frac{360}{\varphi_a}, \quad (1.1)$$

где  $t_{\varphi} = nT_n$  - время, необходимое для того, чтобы антенна повернулась на угол, равный ширине ДН антенны;  $T_n$  - период повторения импульсов;  $n$  - число импульсов в пачке отраженных сигналов.

**Разрешающая способность РЛС** по какому-либо параметру - минимальная разность этих параметров между двумя ВС с одинаковыми остальными координатами и отражающими свойствами, при которых возможно раздельное наблюдение каждого ВС.

Различают разрешающую способность по дальности и угловым координатам. Разрешающая способность по дальности определяется следующим выражением:

$$\delta_R = \frac{\sigma}{2} \frac{D_M d_n}{R_{инд}}, \quad (1.2)$$

где  $D_M$  - масштаб развертки индикатора кругового обзора (ИКО);  $d_n$  - диаметр светового пятна отметки;  $R_{инд}$  - радиус индикатора кругового обзора (ИКО).

Разрешающая способность РЛС по угловым координатам определяется следующим выражением:

$$\delta_\theta = 0,7\theta_{0,5} + \frac{360^\circ \alpha_n}{2\pi D_p}, \quad (1.3)$$

где  $\theta_{0,5}$  - ширина луча по уровню половинной мощности;  
 $D_p$  – расстояние в км от центра экрана до отметки цели.

**Помехоустойчивость** – это свойство РЛС сохранять тактические показатели при воздействии помех.

**Объем и качество получаемой информации** – это характеристики, относящиеся к ВРЛ. Объем информации характеризуют числом бит, приходящемся на одно сообщение, а качество – вероятностью ошибки приема одного бита или всего сообщения в целом.

**Эксплуатационные характеристики** включают в себя показатели надежности, контроле- и ремонтпригодности.

Под надежностью РЛ понимают свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных тактических показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, обслуживания, хранения и транспортирования. Показателями надежности, определяющими качество функционирования РЛС, являются коэффициенты готовности, оперативной готовности и технического использования. Трудоемкость технического обслуживания и ремонта характеризуют средняя и удельная суммарные трудоемкости, а стоимость – средняя и удельная суммарные стоимости. Показателями ремонтпригодности являются вероятность восстановления РЛС в данное время и среднее время восстановления. Из показателей долговечности в ГА используется назначенный ресурс.

Характеристики РЛС должны сохраняться в заданных климатических условиях, к которым относятся: рабочий диапазон температур и влажности.

## 1.2. Технические характеристики радиолокационных систем ГА

Технические характеристики РЛС обеспечивают получение заданных тактических и эксплуатационных характеристик. Основными техническими характеристиками являются: длина волны излучаемых колебаний; форма излучаемого сигнала; длительность и частота повторения импульсов; средняя и

импульсная мощность излучения; форма и ширина ДН антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости; метод обзора зоны; эффективная площадь и коэффициент усиления антенны; чувствительность приёмного устройства; ширина полосы пропускания приёмника; коэффициент шума приёмника; габаритные размеры и масса РЛС.

Методика выбора и расчет технических характеристик приведены в методических указаниях по выполнению курсового проекта.

### 1.3. Нормы ИКАО на тактико-технические характеристики РЛС

#### 1.3.1. Нормы ИКАО для аэродромных РЛ

Аэродромный радиолокатор SRE, входящий вместе с посадочным радиолокатором PAR в радиолокационную систему управления посадкой по командам с земли GCA, должен удовлетворять следующим нормам, рекомендованным ИКАО.

Аэродромный РЛ должен обнаруживать ВС с ЭПР не менее  $15 \text{ м}^2$ , находящиеся в зоне прямой видимости (из точки расположения антенны) в пределах пространства, охватывающего вращением на  $360^\circ$  вокруг вертикальной оси плоской фигуры рис. 1.2 (на рис.1.2 сплошная линия). В то же время ИКАО рекомендует увеличить зону обнаружения до размеров, указанных на этом рисунке штриховой линией.

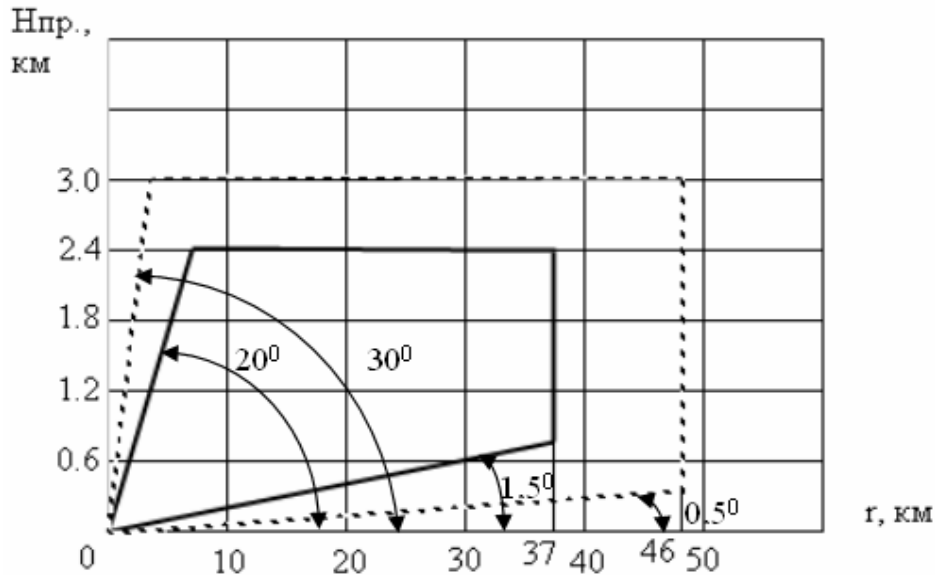


Рис. 1.2. Зона обзора аэродромной РЛС

Погрешность в определении положения отметки цели по азимуту не должна быть больше  $\pm 2^\circ$ .

Погрешность индикации дальности не должна превышать 3% от действительного расстояния до цели или 150 м в зависимости от того, какая из этих величин больше.

Разрешающая способность по дальности должна быть не хуже 1% расстояния от антенны РЛ до цели, либо 230 м в зависимости от того, какая из этих величин больше.

Разрешающая способность станции по азимуту должна быть не хуже  $4^{\circ}$ .

Информация о дальности и азимуте любого ВС, находящегося в пределах зоны обнаружения радиолокатора, должна возобновляться не реже, чем каждые 4 с.

### *1.3.2. Нормы ИКАО для посадочных РЛ*

ИКАО установила нормы и рекомендации относительно выбора тактических параметров посадочных радиолокаторов (PAR – precision approach radar). Предполагается, что эти РЛ могут вместе с аэродромными радиолокаторами SRE (surveillance radar equipment) входить в состав системы управления посадкой по командам с земли GCA (ground command approach) или использоваться автономно.

В соответствии с нормами посадочный РЛ должен быть способен обнаруживать и указывать местоположение ВС с эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР)  $15 \text{ м}^2$  или более, которое находится в пространстве, ограниченном сектором по азимуту в  $20^{\circ}$  и по углу места в  $7^{\circ}$  на расстоянии не менее 17 км от антенны радиолокатора.

Допустимая погрешность в определении отклонения ВС от линии курса должна быть либо 0,6% расстояния от антенны посадочного РЛ до цели плюс 10% отклонения его от линии курса, либо 9 м в зависимости от того, какая из этих величин больше.

По углу места максимально допустимая погрешность в определении отклонения ВС от заданной траектории посадки в вертикальной плоскости не должна превосходить 0,4% расстояния от антенны РЛ до цели плюс 10% фактического линейного отклонения по вертикали от траектории посадки либо 6 м в зависимости от того, какая из этих величин больше.

Максимальная погрешность в определении дальности не должна превышать 30 м плюс 3% расстояния от расчетной точки приземления до цели.

Согласно нормам ИКАО разрешающая способность по азимуту должна быть не хуже  $1,2^{\circ}$ , по углу места –  $0,6^{\circ}$  и по дальности – 120 м.

### *1.3.3. Нормы ИКАО для ВРЛ*

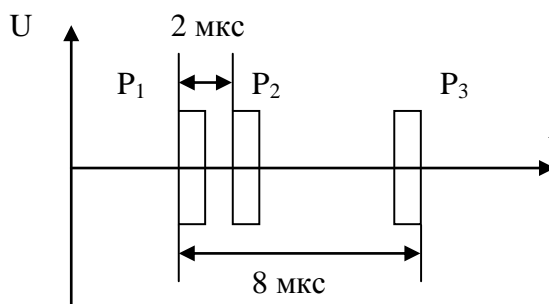
ИКАО установила нормы и выработала ряд рекомендаций на тактические и некоторые технические характеристики вторичных радиолокаторов SSR (secondary surveillance radar).

Для радиолокационных систем с активным ответом устанавливается зона обнаружения, определяемая следующими параметрами: максимальная дальность действия 370 км, минимальная дальность действия 1,85 км, максимальный угол места  $45^{\circ}$ , минимальный угол места  $0,5^{\circ}$ , максимальная

высота 30480 м. Зона должна быть обеспечена при любых метеорологических условиях и на всех азимутах.

Запросные сигналы должны посылаются на частотах  $(1030 \pm 0,2)$  МГц, ответные – на частоте  $(1090 \pm 3)$  МГц. Поляризация запросных и ответных сигналов должна быть вертикальной.

Сигнал запроса должен состоять из двух импульсов, обозначаемых  $P_1$  и  $P_3$  (рис. 1.3). Дополнительный импульс  $P_2$ , предназначенный для подавления сигналов, приходящих с направления боковых лепестков, передается через 2 мкс после  $P_1$ .



17; 21; 25

Рис. 1.3. Структура сигнала запроса при трехимпульсном подавлении

Интервал между импульсами  $P_1$  и  $P_3$  определяет код запроса. Могут использоваться четыре запросных кода: А, В, С и D с кодовыми интервалами 8, 17, 21 и 25 мкс соответственно.

Коды А и В предназначены для опознавания ВС. В ответ на запросы этими кодами бортовой ответчик должен сообщить на землю рейсовый номер ВС.

Запросный код С используется для получения данных о высоте, на которой находится ВС. При запросе этим кодом ответчик передает на землю показания барометрического высотомера, отрегулированного на стандартное давление 760 мм рт. ст. ( $1,013 \cdot 10^5$  Па).

Код D зарезервирован для использования в перспективных системах УВД.

Нормы ИКАО предполагают применение двухимпульсных и трехимпульсных систем подавления сигналов боковых лепестков по запросу. При двухимпульсной системе подавления, когда используется сравнение амплитуд импульсов  $P_1$  и  $P_3$ , амплитуда  $P_1$  в антенне приемника бортового ответчика должна превышать амплитуду  $P_3$  по крайней мере на 11 дБ для всех азимутальных углов, кроме тех, которые охватываются основным лепестком антенны запросчика.

Для трехимпульсной системы подавления, когда используется сравнение амплитуд импульсов  $P_1$  и  $P_2$ , амплитуда импульса  $P_2$  в антенне приемника бортового ответчика должна быть равна или больше амплитуды импульса  $P_1$  для всех направлений, кроме направления главного лепестка запросной

антенны. Амплитуда этого же импульса должна иметь уровень на 9 дБ ниже амплитуды импульса  $P_1$  в пределах сектора запроса.

Максимальная частота запросов не должна быть больше 450 Гц.

Для предотвращения ненужных срабатываний ответчиков, находящихся вне установленной зоны управления, эффективная излучающая пиковая мощность импульсов запроса  $P_1$  и  $P_3$  (произведение импульсной мощности на коэффициент усиления антенны) не должна превышать 52,5 дБ по отношению к 1 Вт (180 кВт).

Нормы ИКАО устанавливают требования на структуру ответных кодов, объем и характер передаваемой информации.

Информацию, получаемую с помощью вторичных РЛС, можно условно разделить на две основные части: координатную и дополнительную.

Ответный сигнал состоит из двух крайних опорных импульсов  $F_1$  и  $F_2$  - координатных, временной интервал между которыми составляет  $(20,3 \pm 0,1)$  мкс (рис. 1.4).

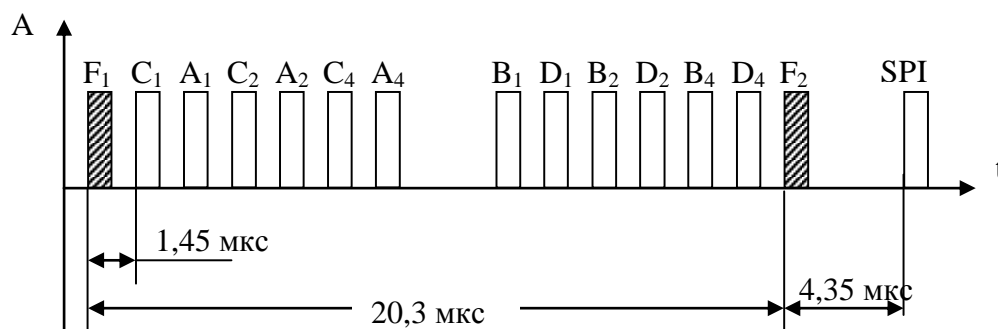


Рис. 1.4. Структура ответного кода

Между ними расположены 13 кодовых позиций, предназначенных для формирования информационных кодов. Все информационные позиции разбиты на группы А, В, С и D. Каждая из этих групп содержит по три позиции  $A_1, A_2, A_4$ ;  $B_1, B_2, B_4$  и т.д. При этом группа А передает тысячи, В – сотни, С – десятки, D – единицы номера рейса. Импульсы передаются только для символа “1” младшими разрядами вперед, при нулевом символе импульс отсутствует.

Максимальное число, которое может быть записано таким образом, будет 7777. Поскольку в каждой декаде для передачи десятичных чисел используется только три разряда, передача десятичных цифр 8 и 9 невозможна. Передача данных о высоте производится кодом Гиллхэма.

#### 1.4. Методы защиты приемного тракта РЛС от помех

Достоверность информации о ВС, получаемой в РЛС, можно повысить путем применения методов помехозащиты и обработки результатов измерений.



Методы защиты от помех зависят от вида этих помех. Различают помехи двух видов: шумы приемного устройства РЛС и помехи, создаваемые внешними источниками.

Внешние помехи делятся на активные и пассивные. К активным относятся сигналы, излучаемые соседними радиотехническими средствами, атмосферные и промышленные помехи, шумы космического пространства. Пассивные помехи – это сигналы, отраженные от подстилающей поверхности, местных предметов, метеообразований и спорадические помехи.

Защита от активных помех может быть организована с помощью следующих устройств: селекции сигналов, защиты приемников РЛС от перегрузок и компенсации радиопомех. Широкое распространение в современных РЛС получают устройства с адаптацией, которые изменяют параметры сигнала или характеристики РЛС таким образом, чтобы в условиях помех данного типа в максимальной степени снижался уровень ложных тревог РЛС.

#### 1.4.1. Селекция сигналов

Различают *первичную, вторичную и функциональную* селекцию. Существуют следующие виды первичной селекции: пространственная, поляризационная, частотно-фазовая, временная, амплитудная, структурная.

Пространственная селекция осуществляется антенной системой РЛС. Чем уже ДНА и меньше уровень боковых лепестков, тем сильнее подавление мешающих сигналов, выше уровень пространственной селекции.

Для борьбы с пассивными помехами от метеообразований используют поляризационную селекцию. Для реализации метода подавления, основанного на поляризационной селекции, современные РЛС излучают колебания с круговой поляризацией. Капли дождя сохраняют круговую поляризацию, изменяя лишь направление вращения вектора её электрического поля на противоположное. Такой сигнал является ортогональным по отношению к излученному и существенно подавляется в антенно-волноводном тракте. Применение круговой поляризации в РЛС увеличивает отношение сигнал/помеха для слабого дождя на 25...30дБ.

Первичная частотно-фазовая селекция основывается на различии частотно-фазовых характеристик принимаемых сигналов и помех. При этом используются системы частотной и фазовой автоподстройки, позволяющие сузить полосу пропускания приемника, методы оптимальной фильтрации, осуществляющие селекцию на основе различия спектров сигнала и помехи.

К частотной селекции относятся методы, основанные на изменении несущей частоты и частоты следования зондирующих импульсов. Использование зондирования на двух частотах улучшает характеристики обнаружения и уменьшает ошибки измерения угловых координат благодаря усреднению значений ЭПР цели на разных несущих частотах. Изменение

периода следования зондирующих импульсов служит в основном для борьбы со «слепыми» скоростями в когерентно-импульсных РЛС.

Устройства временной селекции, осуществляющие сравнение импульсов по длительности, по частоте повторения и по времени их появления позволяют выделить сигналы на фоне импульсных помех.

Устройства с амплитудной селекцией предназначены для борьбы с хаотическими импульсными помехами. Амплитудную селекцию осуществляют методом накопления с помощью некогерентного (последетекторного) накопителя или с помощью систем ограничителей, селектирующих сигнал по его интенсивности на входе приемника.

Структурная селекция основывается на особенностях модуляции сигналов РЛС. Примером её реализации может служить метод сжатия в приемном устройстве импульсных сигналов с частотной модуляцией.

Вторичная селекция связана с контролем сопутствующих сигналов РЛС. Различают частотную, фазовую, временную, амплитудную и структурную вторичные селекции.

Функциональная селекция осуществляется на этапе третичной обработки информации в видеотракте РЛС.

#### *1.4.2. Защита приемников от перегрузок*

На входе приемника РЛС присутствуют сигналы и помехи с широким динамическим диапазоном (ШДД) изменения амплитуд порядка 100дБ. В то же время для нормальной работы линейной части приемника динамический диапазон не должен превышать 40дБ. Для согласования ШДД амплитуд входных колебаний с рабочим динамическим диапазоном реальных устройств производят сжатие динамического диапазона обрабатываемых колебаний.

Для защиты от перегрузок приемно-усилительных трактов и индикаторов РЛС используют три метода: регулировку усиления, формирование нелинейной амплитудной характеристикой (АХ) усилительного тракта, применение антенн с ДНА близкой к  $\cos^2\varphi$ .

Для борьбы с перегрузкой применяются следующие разновидности систем АРУ: временная (ВАРУ), быстродействующая автоматическая (БАРУ), мгновенная (МАРУ).

Система ВАРУ служит для защиты приемника от перегрузки отражениями от местных предметов и выравнивания яркости отметок от целей, находящихся на различном удалении от РЛС. Кроме того, ВАРУ является одним из основных средств борьбы с помехами типа «ангел», представляющих собой эхо – сигналы от птиц, перемещающихся со скоростью ветра, а также сигналы, обусловленные появлением зон аномального распространения электромагнитных колебаний.

Для стабилизации вероятности ложных тревог осуществляют регулировку усиления в зависимости от уровня шума (ШАРУ).

В РЛС третьего и четвертого поколения применяют устройства сжатия амплитуд входных сигналов, в основе которых лежит обработка отдельных амплитудно-дальностных ячеек, на которые разделена рабочая зона РЛС. Ячейки дальности и азимута, в которых присутствует помеховый сигнал, отраженный от местных предметов или метеообразований, исключается при дальнейшей обработке радиолокационной информации. Так, ослабляя сигнал, поступающий по основному лучу в комбинации с сигналом дополнительного приподнятого луча в РЛС с двулучевой ДНА, можно менять угол приема отраженного сигнала, исключая отражения от местных предметов. Такой способ адаптивного подавления помех позволяет уменьшить уровень мешающих сигналов на 25...30дБ.

### 1.4.3. Компенсация радиопомех

В импульсных РЛС применяются два основных метода компенсации помех: с помощью вспомогательных приемников и череспериодная компенсация в системе селекции движущихся целей.

Первый метод используется для компенсации помех, действующих по боковым лепесткам ДНА. По основному каналу (рис. 1.5) поступает смесь полезного сигнала с помехой. Вспомогательный канал служит для приема помехи. В результате последующей операции вычитания помехи из выходных колебаний основного канала на выход компенсатора проходят сигналы, отраженные от цели.

$U_c + U_p$

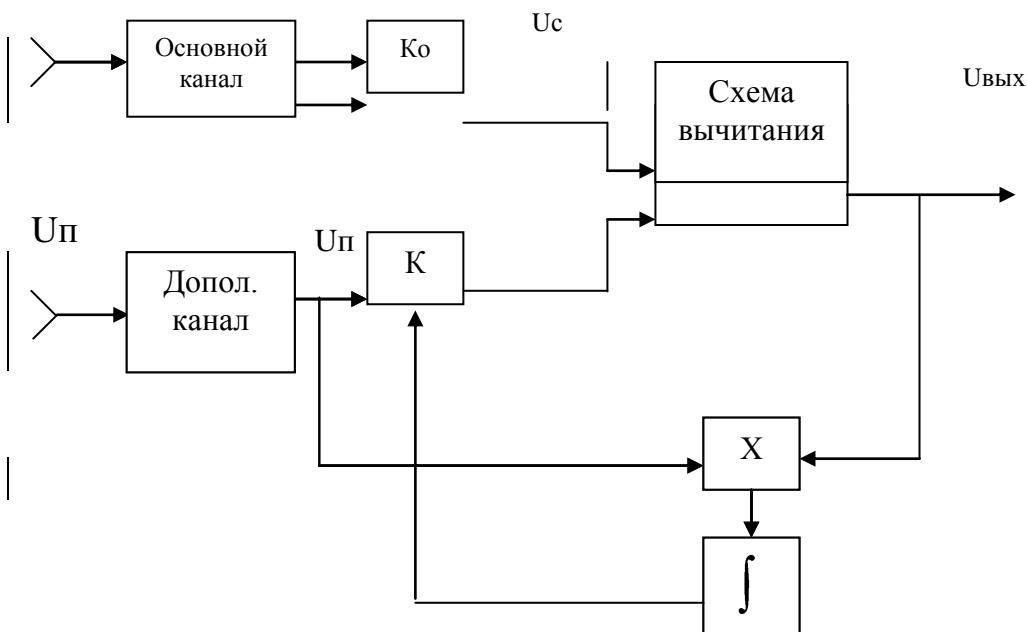


Рис.1.5. Структурная схема корреляционного автокомпенсатора

Основным средством борьбы с помехами от подстилающей поверхности и местных предметов является система селекции движущихся целей. В основе

работы устройств СДЦ лежит эффект смещения несущей частоты сигнала, отраженного от движущегося объекта (эффект Доплера). При этом на практике используется метод фиксации изменения череспериодного вычитания импульсов с неизменной фазой. Сравнение фазовых соотношений зондирующего и отраженного сигналов осуществляется, как правило, на промежуточной частоте. При этом структурная схема системы СДЦ включает фазовый детектор и устройство череспериодной компенсации (ЧПК).

В радиолокаторах, используемых в АС УВД, опорное колебание фазового детектора ( $U_{оп}$ ) и зондирующий высокочастотный сигнал обладают истинной внутренней когерентностью, которая позволяет получить высокую степень компенсации пассивных помех.

Работа передающего (ПРД) и приемного (ПРМ) трактов в истинно когерентных радиолокаторах (рис. 1.6) обеспечивается едиными высокостабильными генераторами - задающим (ЗГ) и опорным (ОГ).

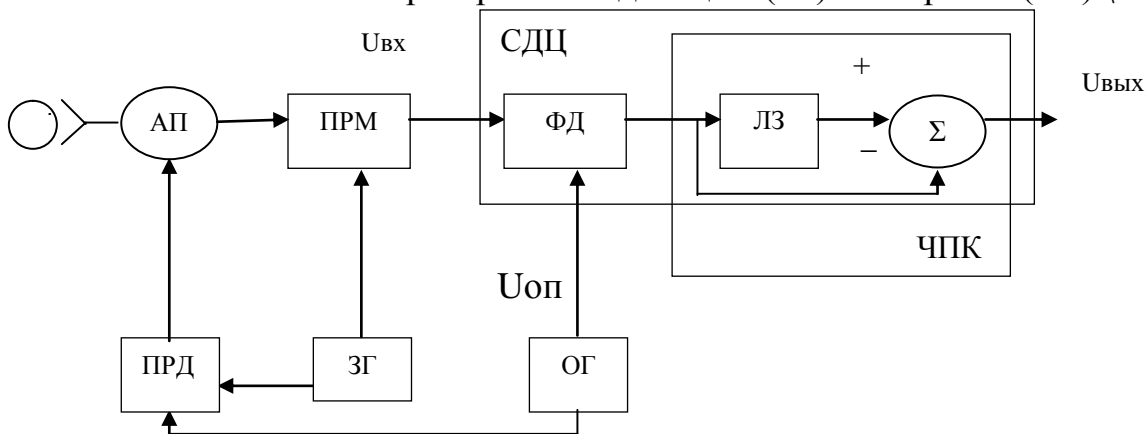


Рис. 1.6. Упрощенная схема СДЦ в структуре РЛС

Радиолокаторы, в которых фаза опорного колебания синхронизируется принимаемым сигналом, относятся к РЛС с внешней когерентностью. РЛС, в которой фаза опорного колебания синхронизируется начальной фазой высокочастотного заполнения зондирующего импульса, в каждом периоде повторения относятся к классу псевдокогерентных РЛС. Как правило, качественные показатели систем СДЦ в подобных РЛС ниже, чем у истинно когерентных РЛС.

Наиболее совершенными являются подавители на дискретных цифровых фильтрах. Если последовательность видеоимпульсов пропустить через устройство череспериодного вычитания, т.е. произвести вычитание каждого последующего импульса из предыдущего, то сигналы, отраженные от неподвижных целей, идентичные по структуре, взаимно скомпенсируются и не поступят на дальнейшую обработку. Система СДЦ (схема ЧПК) представляет собой режекторный- гребенчатый фильтр, частотная характеристика которого (рис. 1.7) имеет провалы в окрестностях частот, кратных частоте повторения импульсов.

Спектральные линии радиоимпульсов, отраженных от неподвижных предметов, совпадают с положением нулей АЧХ фильтра, и такой сигнал подавляется. Так как частотные интервалы между спектральными составляющими радиоимпульсов, отражаемых от движущихся объектов, имеют доплеровское смещение частоты  $2V_p/\lambda$ , где  $V_p$  – радиальная скорость движения цели, то такой сигнал ЧПК не подавляется.

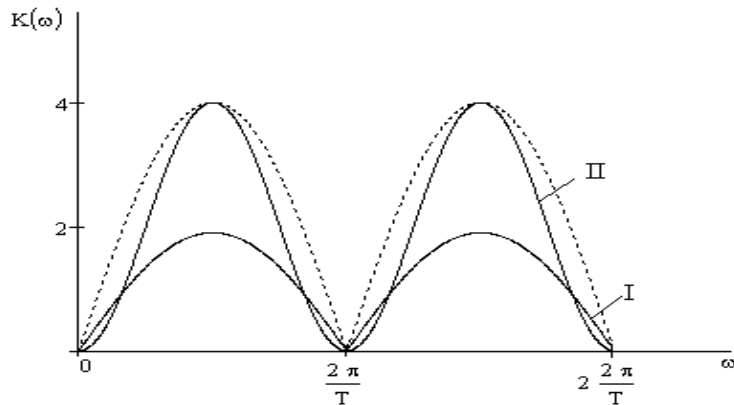


Рис. 1.7. Амплитудно-частотная характеристика системы ЧПК

При определенной радиальной скорости цели  $V_p = V_{сл}$  фаза высокочастотного отраженного сигнала за время  $T$  может измениться на  $360^\circ$ .

В этом случае сигнал будет подавлен аналогично сигналу от неподвижного объекта. Скорости  $V_{сл}$  носят название «слепых» скоростей и определяются как

$$V_{сл} = n\lambda / T_n,$$

где  $n$  – целое число.

Среди известных методов уменьшения числа «слепых» скоростей в пределах рабочего диапазона радиальных скоростей цели наибольшее распространение получил способ вобуляции частоты, то есть изменения периода повторения зондирующих импульсов. Далее рассмотрим принцип построения радиолокационных станций УВД, находящихся в настоящее время на эксплуатации.

## 2. Радиолокационные системы управления воздушным движением

### 2.1. Первичные трассовые РЛС



Главное требование, которое предъявляется к РЛС и РЛК – обеспечение стабильного уровня ложных тревог на выходе РЛС. Это требование выполняется благодаря адаптивным свойствам этих РЛС, в которых осуществляется анализ помеховой обстановки и автоматическое управление режимом работы РЛС.

Особенностями построения трассовых РЛС являются:

- применение цифровой системы СДЦ (коэффициент подавления помех от местных предметов до 40...45 дБ и коэффициент подпомеховой видимости до 28...32 дБ);
- применение переменного периода повторения зондирующего сигнала (вобуляция частоты) для борьбы с помехами от целей, удалённых от РЛС на расстояние, превышающее максимальную дальность действия РЛС, и для борьбы со «слепыми» скоростями;
- обеспечение линейной АХ приёмного тракта до входа системы СДЦ с динамическим диапазоном по входному сигналу до 90...110 дБ и динамическим диапазоном системы СДЦ до 40 дБ;
- применение автоматического управления положением нижней кромки зоны обзора РЛС в вертикальной плоскости благодаря использованию двухлучевой ДНА и формированию взвешенной суммы сигналов верхнего и нижнего лучей.

Существует несколько вариантов построения структурной схемы первичной трассовой РЛС. В качестве примеров схемных решений выбраны РЛС «Скала-М», «Скала-МПА», «Скала-МНР», Лира 1. Главными особенностями структурной схемы рис. 2.1 первичной импульсной РЛС кругового обзора являются: применение двух приемопередающих каналов с разносом частот; использование двухлучевой ДНА в вертикальной плоскости; применение истинно-когерентного метода СДЦ.

Первая особенность РЛС связана с применением одного из методов повышения её энергетического потенциала – метода разноса частот. Два передатчика А и В работают одновременно на общую антенну в режиме импульсной модуляции с различными несущими частотами  $f_A$  и  $f_B$  зондирующих импульсов, временной сдвиг между которыми составляет обычно 4...6 мкс, разнос по частоте 40...60 МГц.

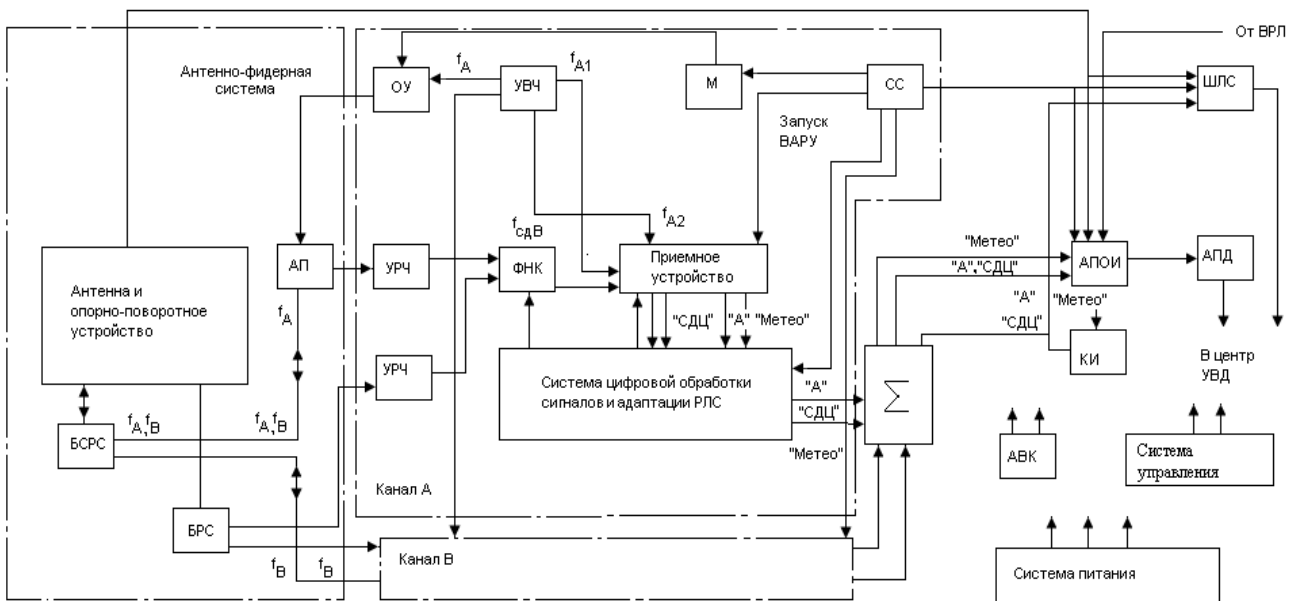


Рис. 2.1. Структурная схема первичной РЛС

Отраженные от цели сигналы с разными частотами разделяются с помощью СВЧ фильтров и усиливаются двумя приемными каналами А и В, настроенными на соответствующие частоты. После детектирования видеосигналы каналов А и В объединяются и далее обрабатываются совместно.

Преимуществами двухчастотной схемы построения РЛС перед одночастотной РЛС являются: увеличение суммарной мощности излучения РЛС при наличии ограничений мощности отдельного передатчика; увеличении дальности обнаружения и точности измерения координат; увеличения надежности работы РЛС и её помехозащищенности по отношению к помехам искусственного и естественного происхождения.

Увеличение дальности обнаружения и точности измерения координат объясняется тем, что диаграмма переотражений сложных целей на разных частотах имеет провалы на различных углах визирования. Поэтому сумма выходных напряжений в двухканальной РЛС имеет значительно меньше флуктуаций амплитуды, чем в случае приема сигналов от целей на одной частоте. В некоторых типах РЛС зона обнаружения в вертикальной плоскости (рис. 2.2) формируется с учетом применения локальной обработки принимаемых сигналов.

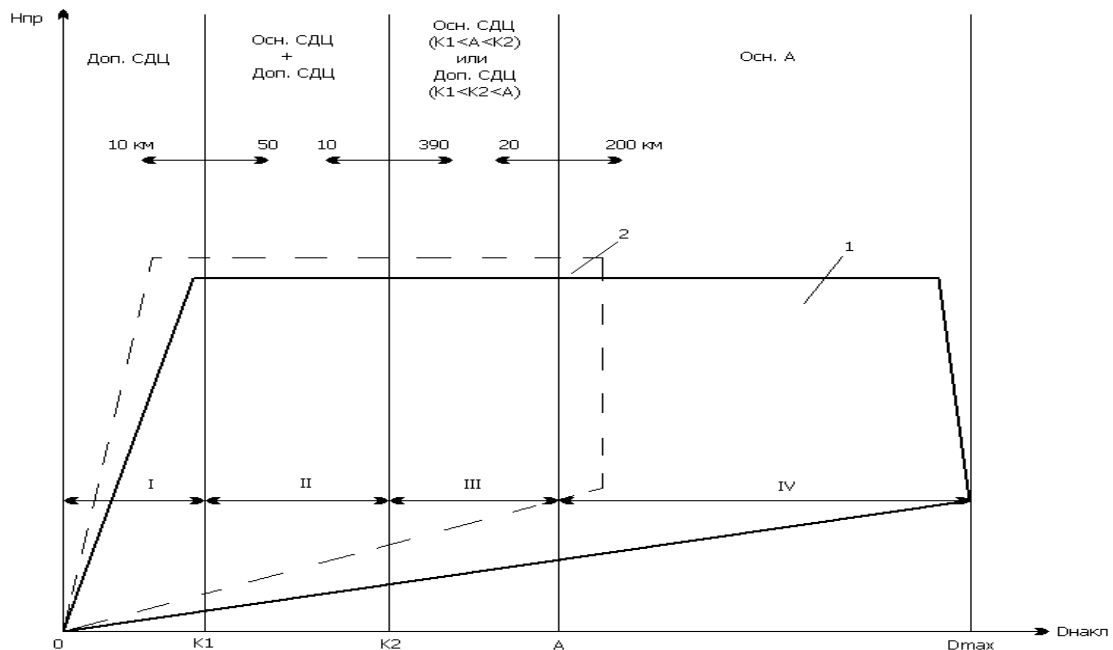


Рис. 2.2. Принцип формирования зоны обнаружения трассовой РЛС в вертикальной плоскости:

$K_1$  – верхняя граница использования сигналов дополнительного луча 2, обработанных в системе СДЦ (Доп. СДЦ);  $K_2$  – верхняя граница использования сигналов основного луча 1, обработанных в системе СДЦ (Осн. СДЦ);  $A$  – верхняя граница использования сигналов дополнительного луча 2, не обработанных в системе СДЦ (Доп. А);  $D_{\max}$  – максимальная дальность действия РЛС, являющаяся верхней границей использования необработанных в системе СДЦ сигналов основного луча 1 (Осн. А)

Вся зона обнаружения по дальности трассовой РЛС разбивается на четыре участка (I...IV). Границы участков задаются по программе в зависимости от конкретных условий размещения РЛС. Данный принцип формирования зоны обнаружения позволяет: получить максимальное подавление помех от местных предметов на начальном участке дальности I; свести к минимуму область воздушного пространства, где используется сумма сигналов Осн. СДЦ и Доп. СДЦ, и тем самым уменьшить влияние скоростной характеристики системы СДЦ (участок II). При наличии помех типа «ангел» целесообразно использовать сигнал дополнительного луча (участок III при  $K_2 < A$ ). После предварительного анализа помеховой обстановки и задания границ  $K_1$ ,  $K_2$  и  $A$  между 4 участками дальности зоны обнаружения, структура РЛС приобретает фиксированную конфигурацию и не меняется в процессе работы РЛС.

В других современных РЛС применяется более гибкий подход к формированию зоны обнаружения, реализующий идею динамической адаптации РЛС к помеховой обстановке. При этом вся зона обнаружения по дальности разбивается на два равных участка. Участок I, для которого характерно наибольшее влияние помех от местных предметов, разбивается на элементарные зоны по азимуту  $5,6^\circ$  (64 сектора), а по дальности - на 16 участков. В результате вся зона обзора в горизонтальной плоскости в пределах первой половины максимальной дальности действия РЛС получается разбитой на  $16 \cdot 64 = 1024$  ячейки. В течение рабочего цикла, равного трем периодам обзора, осуществляется анализ помеховой обстановки и в специальном запоминающем устройстве РЛС формируется текущая карта помех, содержащая информацию об уровне помех в каждой из 1024 ячеек. На основе этой информации производится выбор весовых коэффициентов для формирования взвешенной суммы сигналов, принятых по основному и дополнительному лучам ДНА, для каждой из этих ячеек в отдельности.

В результате зона обнаружения РЛС в вертикальной плоскости приобретает сложную конфигурацию: нижняя кромка зоны обнаружения в разных ячейках имеет различный наклон ( $-0,5$ ;  $0,1$ ;  $0,5$  или  $1^\circ$ ). На второй половине дальности (участок II) используется только сигнал, принимаемый по основному лучу.

Отраженные от цели радиоимпульсы с несущей частотой  $f_A$ , принимаемые по основному лучу ДНА, через БСРС, АП и малошумящий УРЧ поступают на один из входов формирователя нижней кромки ФНК. Радиоимпульсы с той же частотой  $f_A$ , принимаемые по дополнительному лучу ДНА, через блок разделения БРС и УРЧ поступают на второй вход ФНК. На выходе ФНК в результате весового суммирования сигналов основного и дополнительного лучей образуют суммарный сигнал, который поступает на вход приемника РЛС. В приемном устройстве осуществляется преобразование частоты, усиление и частотная селекция сигнала и далее его детектирование. Видеосигнал  $A$  с выхода АД поступает в систему цифровой обработки, минуя



СДЦ, а видеосигнал СДЦ с выхода ФД поступает на вход СДЦ, входящий в состав системы цифровой обработки сигналов.

Для обеспечения постоянной разности частот  $f_A$  и  $f_B$  используется специальный генератор сдвига частот.

Цифровая часть РЛС начинается со входа системы цифровой обработки сигналов и адаптации РЛС. Главными функциями этой системы являются: очистка принимаемого сигнала от различного рода помех; анализ текущей помеховой обстановки и автоматическое управление режимами работы РЛС (функция адаптации). Входные сигналы «А», «СДЦ» и «Метео», поступающие с выхода приемника, преобразуются в цифровую форму.

Первая функция системы обработки реализуется с помощью следующих цифровых устройств: устройства ЧПК системы СДЦ; видеокоррелятора для подавления несинхронных помех и отраженных сигналов предыдущего периода зондирования; устройства Лог – МПВ – Антилог, служащего для выделения полезного сигнала на фоне помех от протяженных по дальности и азимуту целей (метеообразования); устройства выделения сигналов для получения информации о контурах метеообразований.

При выполнении второй функции системы обработки используются следующие устройства: устройство секторизации для разделения зоны обзора на ячейки и распределения памяти системы; картограф помех для формирования динамической карты помех; анализаторы параметров принимаемых сигналов; управляющие устройства для формирования сигналов управления режимами работы и параметрами РЛС. Устройство, обозначенное на рис. 2.1 как  $\Sigma$ , осуществляет объединение сигналов двух частотных каналов РЛС.

Рассмотрим работу одного канала РЛС (рис. 2.1). Система синхронизации СС вырабатывает импульсы запуска, которые поступают на вход модулятора М передающего устройства. Модулятор М под воздействием импульсов запуска вырабатывает мощные модулирующие импульсы, поступающие на оконечный усилитель ОУ передатчика РЛС. Генератор радиочастот ГРЧ генерирует непрерывные гармонические колебания с частотой  $f_A$ , которые усиливаются в ОУ и модулируются по амплитуде М. В результате на выходе ОУ формируется последовательность когерентных импульсов с несущей частотой  $f_A$  и прямоугольной огибающей. Эти радиоимпульсы через антенный переключатель АП и блок сложения мощностей и разделения сигналов (БСРС) поступают в антенное устройство РЛС и излучаются антенной.

С выхода этого устройства в АПОИ передаются два объединенных сигнала «А» (или «СДЦ») и «метео». В РЛС, не содержащих собственной АПОИ, эти сигналы преобразуются с помощью ЦАП в аналоговую форму и передаются на входы АПОИ, сопрягаемой с РЛС, на контрольный индикатор (КИ) и широкополосную линию связи ШЛС.

Аппаратура первичной обработки информации (АПОИ) обычно представляет собой универсальную аппаратуру, сопрягаемую с различными типами РЛС. В этой аппаратуре осуществляются операции обнаружения

сигналов воздушных целей и измерения их координат, а также объединение информации первичной РЛС с информацией вторичного радиолокатора. С выхода АПОИ радиолокационная информация в цифровом виде транслируется в центр УВД с помощью узкополосной аппаратуры передачи данных АПД.

Важной особенностью современных трассовых РЛС является использование системы автоматического встроенного контроля (АВК).

### *Тактико-технические характеристики трассовой РЛС*

Дальность действия при нулевых углах закрытия, км, по самолету типа:

|  |     |
|--|-----|
| - Ту-144 при $H_{\text{пол}}=13\dots 20$ км..... | 400 |
| - Ту-154, Ил-62 при $H_{\text{пол}}=10$ км.....  | 340 |
| - Ил-18 при $H_{\text{пол}}=6$ км.....           | 250 |

Минимальная дальность действия, км.....12

Зона обзора в вертикальной плоскости, градус:

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| - верхний угол места, не менее..... | 45  |
| - нижний угол места, не более.....  | 0,5 |

Вероятность правильного обнаружения при вероятности ложных тревог не более  $10^{-6}$  .....0,8

Средняя квадратическая погрешность на выходе АПОИ:

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| - по дальности, м, не более ..... | 300 |
| - по азимуту,с, не более .....    | 8   |

Разрешающая способность:

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| - на выходе АПОИ:                    |     |
| - по дальности, м, не более .....    | 650 |
| - по азимуту, градус, не более ..... | 2   |

Коэффициент подпомеховой видимости на фоне помех от местных предметов при вращающейся антенне, дБ:

|  |    |
|--|----|
| - при двухкратном череспериодном вычитании ..... | 18 |
| - при трехкратном череспериодном вычитании ..... | 24 |

Коэффициент подавления помех от местных предметов, дБ, не менее ...42

Коэффициент подавления помех от метеообразований, дБ.....18

Наличие встроенного вторичного радиолокационного канала .....Есть

Темп обновления и выдачи информации, с .....10 и 20

Число направлений передачи информации в цифровом виде по стандартным телефонным каналам.....3

Возможность выдачи информации:

|  |      |
|--|------|
| - в аналоговом виде по широкополосной линии (кабелю) на расстояние до 5 км. .... | Есть |
| - о границах метеообразований (в двух градациях).....                            | Есть |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Полное время включения, мин, не более .....  | 12                    |
| Среднее время наработки на отказ, ч .....  | 1100                  |
| Среднее время восстановления, мин .....  | 25                    |
| Потребляемая мощность по первичной сети электропитания 380 В, 50 Гц, кВт, не более ..... | 150                   |
| Рабочая длина волны, см .....  | 23                    |
| Разнос каналов А и В по частоте, МГц.....  | 56                    |
| Габаритные размеры отражателя антенны, м .....   | 10,5×15               |
| Ширина ДНА в горизонтальной плоскости по уровню 3 дБ, градус                             |                       |
| - нижнего луча и верхнего луча.....  | 1,1±0,1               |
| Коэффициент усиления антенны, дБ:  |                       |
| - по нижнему лучу и верхнему.....  | 36                    |
| Уровень боковых лепестков антенны, дБ:   |                       |
| - по нижнему лучу и верхнему.....  | -20                   |
| Потери в радиопрозрачном укрытии антенны, дБ.....  | 1,7                   |
| Возможность управления поляризацией от линейной до круговой (плавно):                    |                       |
| - в канале нижнего луча .....  | Есть                  |
| - в канале верхнего луча.....  | Нет (только круговая) |
| Длительность зондирующего импульса, мкс .....  | 3,3±0,3               |
| Средняя частота повторения импульсов, Гц.....  | 333                   |
| Изменение периода повторения импульсов.....  | Есть                  |
| Импульсная мощность передатчика, МВт, не менее.....                                      | 3,6                   |
| Коэффициент шума приемника, дБ, не более.....  | 4,8                   |
| Промежуточная частота, МГц .....   | 35                    |
| Ширина полосы пропускания приемника на промежуточной частоте, МГц.....                   | 6±0,1                 |
| Динамический диапазон системы цифровой обработки сигналов и адаптации, дБ:               |                       |
| - по амплитудному каналу, не менее .....   | 18                    |
| - по каналу СДЦ, не менее.....   | 42                    |
| Характеристики квадратурной цифровой системы СДЦ:  |                       |
| - кратность череспериодного вычитания .....  | 2 и 3                 |
| - коэффициент подавления помех, дБ, не менее .....                                       | 42                    |
| - дальность действия, км .....   | 390                   |

Остановимся более подробно на особенностях построения отдельных узлов первичной трассовой РЛС.

### 2.1.1. Антенно-фидерная система трассовой РЛС

Антенно-фидерная система (АФС) первичного радиолокатора предназначена для передачи высокочастотной энергии от двух передающих устройств к вращающейся антенне излучения зондирующих сигналов в соответствии с требуемой зоной обнаружения и передачи принятых радиолокационных сигналов от антенны к соответствующим приёмным устройствам РЛС.

В состав АФС входят антенное устройство, волноводно-коаксиальный тракт опорно-поворотного устройства (ОПУ) и основной волноводный тракт.

Антенна представляет собой зеркальную систему с отражателем двойной кривизны и рупорным облучателем. ДНА по основному и дополнительному лучам имеет форму, близкую к форме типа  $\text{cosec}^2$ . В азимутальной плоскости ДНА является узконаправленной, а её ширина по одному лучу составляет  $(1,1 \pm 0,1)^\circ$ .

Для формирования двухлучевой ДНА в антенном устройстве и волноводно-коаксиальном тракте применяются идентичные рупорные облучатели основного (ООК) и дополнительного (ОДК) каналов ( $146 \times 306 \times 660$  мм). В тракте ОК используется устройство управления поляризацией (УУП), предназначенное для ослабления сигналов, отражённых от метеообразований, и обеспечивает оперативную установку любого вида поляризации. Поляризационное устройство ПУ дополнительного канала позволяет установить только одну из круговых поляризаций – левую или правую.

Радиопрозрачное укрытие (РПУ) обеспечивает защиту антенны от влияния метеофакторов и позволяет снизить аэродинамическую нагрузку на антенну.

В состав волноводно-коаксиального тракта ОПУ входят вращающиеся сочленения основного канала (ВСОК) и дополнительного канала (ВСДК).

Основной волноводный тракт выполняет следующие функции:

- объединение сигналов двух передатчиков, работающих на различных частотах  $f_A$  и  $f_B$ ;

- распределение принимаемых сигналов с несущими частотами  $f_A$  и  $f_B$ , поступающих по основному и дополнительному лучам ДНА, между соответствующими входами приёмного тракта РЛС;

- переключение режимов передачи и приёма сигналов;

- согласование волноводного тракта с передающими устройствами и обеспечение необходимой развязки между двумя частотными каналами РЛС;

- выдачу сигналов в систему контроля параметров РЛС.

Электрическая прочность тракта обеспечивается при импульсной мощности зондирующего сигнала не более 4 МВт.

Высокочастотные колебания с выхода оконечного усилителя передающего устройства поступают в измеритель проходящей мощности (ИПМ). После ИПМ сигнал передатчика проходит последовательно вентиль (В), блок направленных

ответвителей (БНО), устройство контроля согласования (УКС), антенный переключатель (АП), устройство ввода затухания (УВЗ), СВЧ фильтр (Ф) и поступает на один из входов блока сложения мощностей и разделения сигналов (БСРС).

Блок направленных ответвителей служит для отвода небольшой части ВЧ энергии и передачи её к контрольно-измерительным приборам для проверки формы огибающей и спектра зондирующего сигнала. Устройство контроля согласования (УКС) осуществляет непрерывный контроль коэффициента стоячей волны. При  $K_{СВ} \geq 3$  это устройство вырабатывает сигнал световой сигнализации «Авария тракта В».

Антенный переключатель выполнен по схеме с газовыми разрядниками. Устройство ввода затухания (УВЗ) позволяет вводить в тракт дополнительное затухание при неработающем передатчике (например, при ремонте и т. д.)

Фильтр (Ф) является заградительным для сигнала с частотой  $f_A < f_B$  и представляет собой зауженный по широкой стенке волновод со ступенчатыми переходами к нормальному сечению.

Блок сложения и разделения сигналов БСРС служит для сложения мощностей сигналов с частотами  $f_A$  и  $f_B$  при передаче и разделении сигналов с такими частотами при приёме.

В АФС РЛК «Скала – МПР» предусмотрена работа в двухчастотном режиме при взаимно ортогональных поляризациях сигналов, излучаемых на разных частотах  $f_A$  и  $f_B$ . Это обеспечивает дополнительное сглаживание амплитудных флюктуаций суммарного отражённого сигнала и увеличивает максимальную дальность действия РЛС.

### *2.1.2. Передающее устройство РЛС*

В импульсных РЛС применяются передатчики, выполненные по одно- или многокаскадной схеме. В первом случае в качестве оконечного устройства используют магнетрон. Эти передатчики просты, надёжны и имеют большой КПД. Однако невысокая стабильность частоты и фазы генерируемых колебаний не позволяет реализовать систему СДЦ с высокими характеристиками. Каждый передатчик (рис. 2.3) предназначен для генерирования сигналов на одной из несущих частот, а также для формирования вспомогательных колебаний: сигнала гетеродинной частоты и сигнала опорной промежуточной частоты (для работы фазового детектора в системе СДЦ).

Рассмотрим принцип действия одного из каналов передающего устройства РЛС. Задающий генератор генерирует три сигнала: сигнал гетеродинной частоты; сигнал опорной промежуточной частоты (35 МГц) и импульсно-модулированный сигнал промежуточной частоты.

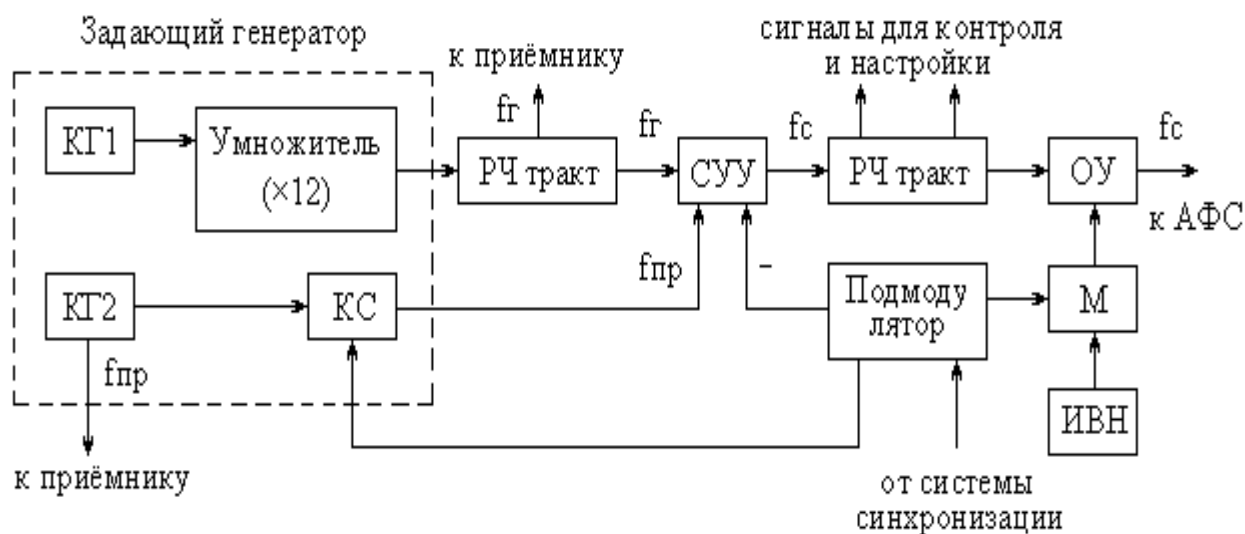


Рис. 2.3. Структурная схема передающего устройства двухчастотной РЛС (один частотный канал):

КГ – кварцевый генератор; КС – ключевая схема; ИВН – источник высокого напряжения; СУУ – смесительно-усилительное устройство; М – модулятор последовательности когерентных радиоимпульсов СВЧ

Сигнал частоты гетеродина поступает на один из входов смесительно-усилительного устройства (СУУ); на второй вход СУУ подаётся импульсно-модулированный сигнал суммарной частоты  $f_c = f_r + f_{пр}$ , который выделяется колебательной системой второго каскада СУУ, усиливается в последующих каскадах СУУ и передаётся в окончательный усилитель передатчика. Импульсы модуляции длительностью 3,3 мкс для окончательного усилителя формируются импульсным модулятором. На выходе окончательного усилителя формируется последовательность радиоимпульсов длительностью 3,3 мкс при средней мощности сигнала 3,6 кВт, которая передаётся в АФС РЛС.

### 2.1.3. Приемный канал трассовой РЛС

Тракт приема и обработки сигналов можно условно разделить на аналоговую и цифровую части.

Приемная аппаратура двухчастотной импульсной РЛС (рис. 2.4) включает в себя аналоговую часть тракта приема и обработки сигналов и цифровую. Приемники состоят из двух приемных устройств, отличающихся друг от друга несущей частотой принимаемых сигналов. Каждое приемное устройство конструктивно объединяется с соответствующим передающим устройством, составляя таким образом приемопередающий модуль первичной РЛС.

Основными функциями приемного устройства РЛС с применением двухлучевой диаграммы направленности антенны являются: усиление принятых АФС сигналов, преобразование частоты, частотная селекция,

детектирование этих сигналов, стабилизация уровня ложных тревог, сжатие динамического диапазона принятых сигналов и формирование сигналов для выделения границ метеообразований.

Приемные устройства выполняются по супергетеродинной схеме с УРЧ, однократным преобразованием частоты и имеют на выходе амплитудный и фазовый детекторы. Таким образом, на выходе приемного устройства формируются два основных вида сигналов: амплитудный – с выхода АД и сигнал промежуточной частоты – с выхода предпоследнего каскада УПЧ.

Приемные устройства РЛС с двухлучевой ДНА можно разделить по способу объединения сигналов, принятых по разным лучам, на группы с объединением на видеочастоте и на высокой частоте. Приемное устройство первой группы содержит два приемных канала, предназначенных для раздельного приема сигналов основного и дополнительного лучей ДНА. Приемные устройства второй группы являются одноканальными и предназначены для приема объединенного сигнала. Однако в этом случае требуется радиочастотное устройство объединения сигналов ФНК, которое включается в приемный тракт между УРЧ и преселектором приемного устройства.

В приемном устройстве первой группы основной (ОК) и дополнительный (ДК) каналы приемного устройства одинаковы. Рассмотрим их принцип действия на примере ОК (рис. 2.4). Принятый по основному лучу ДНА сигнал с выхода АП АФС через направленный ответвитель (НО) и высокочастотное согласующее устройство (СУ) поступает на вход малошумящего УРЧ, усиливается и через фильтр-преселектор поступает на сигнальный вход смесителя (СМ). На гетеродинный вход СМ подаются непрерывные колебания гетеродинной частоты  $f_r$  от соответствующего частотного канала передающего устройства.

После преобразования частоты в смесителе принятый сигнал усиливается в тракте ПЧ с помощью предварительного и основного усилителей ПЧ (ПУПЧ и УПЧ).

Эти усилители настроены на частоту  $f_{пр}=35$  МГц. С выхода УПЧ сигнал ПЧ поступает в два подканала, имеющие разные амплитудные характеристики.

В подканале АД с линейной АЧХ осуществляется амплитудное детектирование сигнала. Этот подканал используется при формировании зоны обзора РЛС на участке дальности III и IV, т.е. в дальней зоне действия РЛС, и при условии отсутствия помех от мощных метеообразований.

Подканал ЛОГ-МПВ-АнтиЛОГ представляет собой устройство защиты от помех, обусловленных мощными метеообразованиями, влияние которых не компенсируется полностью с помощью поляризационной селекции и системы СДЦ. Этот подканал состоит из УПЧ с логарифмической АХ (ЛОГ), осуществляющего наряду с усилением амплитудное детектирование сигнала, устройство малой постоянной времени (МПВ) и видеоусилителя с антилогарифмической АХ (АнтиЛОГ).

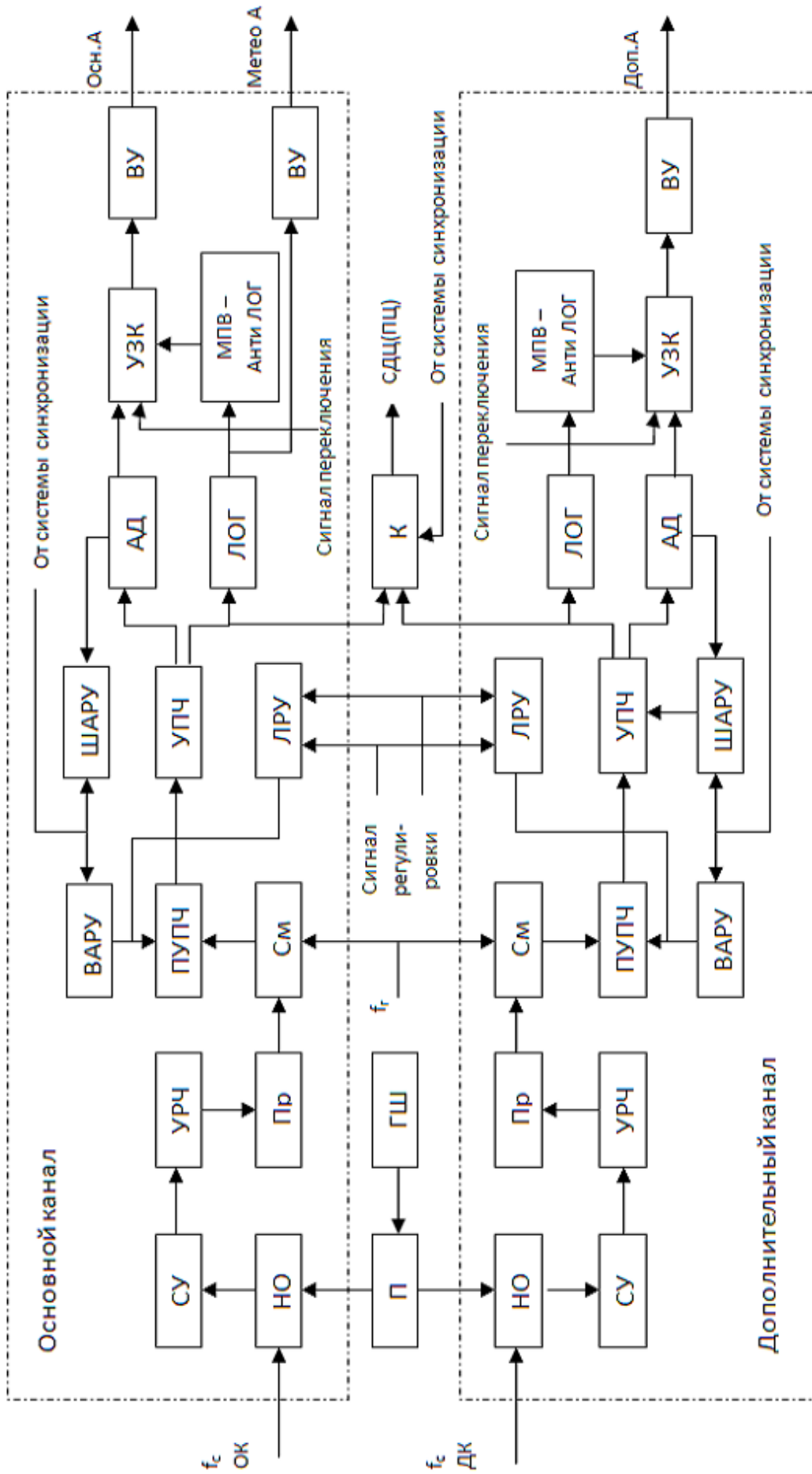


Рис.2.4 Структурная схема приемного устройства двухчастотной РЛС (один частотный канал)



Устройство ЛОГ-МПВ-АнтиЛОГ обеспечивает сжатие динамического диапазона входного сигнала, селекцию по длительности полезного импульсного сигнала, имеющего малую длительность по сравнению с импульсами помехи от метеообразований и частичное восстановление динамического диапазона выделенного полезного сигнала, видеосигналов, полученных от одной цели при двухчастотном режиме работы РЛС. УЗК амплитудный сигнал ОК через видеоусилитель (ВУ) поступает на выход приемного устройства и передается далее в устройство объединения сигналов двух частотных каналов РЛС.

Кроме того, с выхода усилителя ЛОГ через видеоусилитель ВУ на выход приемного устройства выводится видеосигнал “Метео-А”, который передается в устройство выделения контуров мощных метеообразований. Приемный тракт ОК, включающий усилитель ЛОГ и выходной видеоусилитель ВУ, представляет собой приемную часть метеоканалов РЛС.

Выходной сигнал промежуточной частоты СДЦ (ПЧ) приемного устройства формируется с помощью коммутатора К. Для этого сигналы ПЧ с выходов промежуточных каскадов УПЧ ОК и ДК подаются на два входа коммутатора. Последний коммутирует входные сигналы таким образом, что на его выходе присутствует только сигнал ПЧ ДК для ближней зоны действия РЛС, а для дальней зоны – только сигнал ПЧ ОК. Выходной сигнал коммутатора СДЦ (ПЧ) по высокочастотному кабелю передается в блок ФД системы СДЦ, в котором наряду с фазовым дететированием осуществляется объединение сигналов СДЦ (ПЧ) двух частотных каналов РЛС.

Для сжатия динамического диапазона сигналов, отраженных от целей на малых дальностях, применяется ВАРУ, регулирующее напряжение которой подается на каскады ПУПЧ.

С целью стабилизации уровня ложных тревог на выходе РЛС применяется ШАРУ.

Если имеющиеся средства защиты от помех не обеспечивают полного подавления помех от местных предметов и метеообразований, используется локальная регулировка усиления (ЛРУ), осуществляющаяся оператором. Устройствами приемной аппаратуры, обеспечивающими адаптивные свойства РЛС, являются формирователь нижней кромки зоны обнаружения и адаптивный аттенюатор помех (ААП). Каждое из этих устройств состоит из управляющей (цифровой) и исполнительной (аналоговой) частей.

В первичных РЛС применяется цифровая система СДЦ, использующая истинную внутреннюю когерентность принимаемого и опорного сигналов, два квадратурных канала и двукратное или трехкратное череспериодное вычитание.

Основные технические характеристики ЦСДЦ: зона действия по дальности 7...397 км; число элементов по дальности 960; длительность интервала временной дискретизации 2,7 мкс; число разрядов 8; коэффициент подавления помех не менее 40 дБ.

В двухканальной схеме ЧПВ обрабатывается только один из входных сигналов СДЦ (ПЧ1) или СДЦ (ПЧ2). Фазовое детектирование этих сигналов осуществляется независимо с помощью двух схем квадратурного фазового детектирования. Каждая схема состоит из двух фазовых детекторов ФД1, ФД2 и фазовращателя ФВ (рис. 2.5).

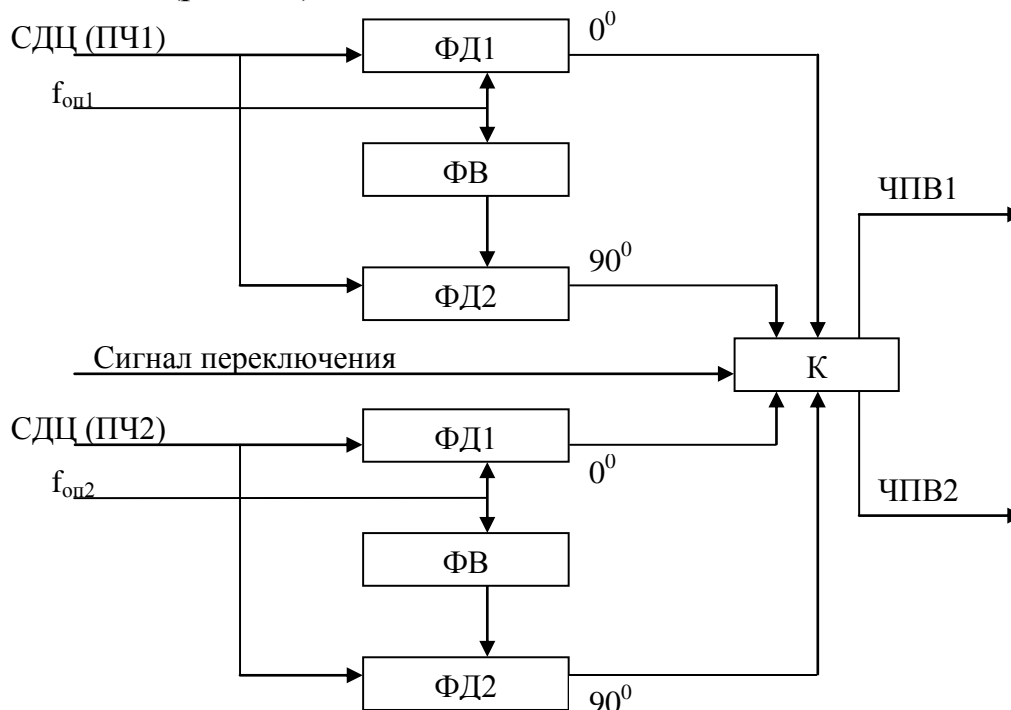


Рис. 2.5. Схема квадратурного фазового детектирования

Выбор дальнейшей обработки пары видеосигналов производится с помощью коммутатора К. Эти сигналы подаются на входы двух идентичных каналов схемы ЧПВ, в каждом из которых осуществляются операции двух или трехкратного ЧПВ в цифровой форме. Важным преимуществом ЦСДЦ с двумя квадратурными каналами является практически полное устранение провалов чувствительности системы СДЦ при значениях фазового сдвига, соответствующего слепым скоростям.

Благодаря сдвигу фаз на  $90^\circ$  опорных колебаний, подаваемых на ФД1 и ФД2 в схеме квадратурного фазового детектирования (рис. 2.5), зонам “слепых” фаз в канале ФД1 всегда соответствуют зоны максимальной чувствительности системы СДЦ в канале ФД2, и наоборот. На вход канала ЧПВ поступает аналоговый видеосигнал с выхода фазового детектора.

#### 2.1.4. Устройства адаптации первичной трассовой РЛС

Формирователь нижней кромки является высокочастотным устройством объединения сигналов, принимаемых по двум лучам ДНА, и служит для

уменьшения уровня помех от местных предметов на входе приемного устройства (на 20 дБ).



Рис. 2.6. Принцип действия формирователя нижней кромки зоны обзора в вертикальной плоскости

Работа ФНК (рис. 2.6) основана на использовании цифровой карты помех, которая формируется в системе цифровой обработки сигналов и адаптации РЛС. Карта помех для ФНК составляется в управляющей части этого устройства. Принимаемый сигнал с выхода УПЧ приемного устройства поступает в управляющую часть ФНК для анализа и оценки текущего уровня помех в каждой ячейке отдельно. В анализаторе помех производится детектирование сигнала и сравнение с каждым из четырех установленных пороговых уровней. Результат сравнения для каждой ячейки зоны обнаружения записывается в виде двухразрядного двоичного кода и в соответствующей ячейке запоминающего устройства (ЗУ). На основе информации, записанной в ЗУ, формируется код управляющего сигнала, соответствующий одному из четырех состояний помеховой обстановки, который передается в исполнительную часть ФНК.

В исполнительной части ФНК осуществляется объединение высокочастотных сигналов основного и дополнительного каналов приема. При этом в каждой ячейке зоны действия ФНК одна из четырех возможных комбинаций этих сигналов формируется с помощью суммирующего устройства (СУ) и регулируемых аттенюатора (Ат) и фазовращателя (Фв), на которые поступают управляющие сигналы от распределителя ФНК. Устройство фазирования (УФ) обеспечивает начальное фазирование сигнала ДК в зависимости от использованного вида поляризации (линейной или круговой).

Распределитель ФНК выполняет функцию согласования аналоговой и цифровой частей ФНК.

Программа адаптации реализуется в течение трех периодов обзора РЛС, составляющих рабочий цикл ФНК.

Если для компенсации помех используется секторизация области обзора, то в структуре РЛС используется адаптивный аттенуатор помех (ААП), представляющий собой многокаскадный УПЧ (рис. 2.7), коэффициент усиления которого регулируется по ступенчатому закону.

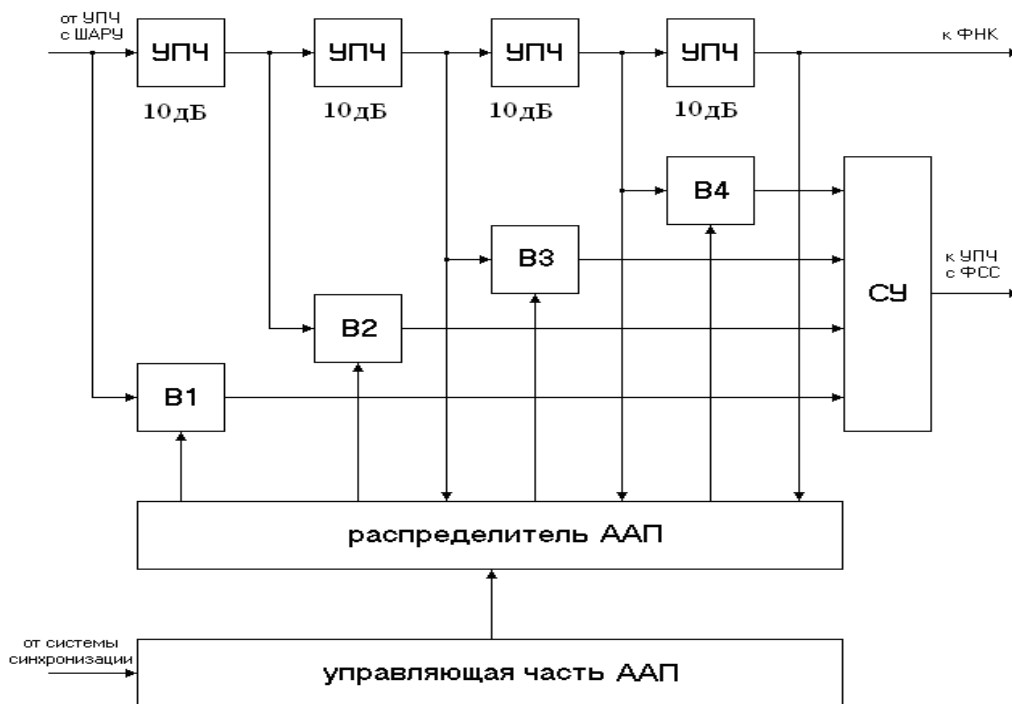


Рис. 2.7. Принцип действия адаптивного аттенуатора помех

Это достигается поочередным исключением из линейки каскадов УПЧ нескольких каскадов, начиная с последнего каскада. Данное устройство является адаптивным и автоматически приспосабливается к непрерывно изменяющейся помеховой обстановке. Работа ААП также основана на использовании цифровой карты помех. Принимаемый сигнал снимается с выходов трех последних звеньев УПЧ и поступает в управляющую часть ААП для анализа и оценки текущего уровня помех в каждой ячейке отдельно.

В анализаторе помех, состоящем из параллельных каналов, производится детектирование каждого из трех входных сигналов и сравнение с установленным пороговым уровнем, одинаковым для всех каналов. Этот уровень соответствует допустимому превышению помехами уровня собственных шумов на выходе приемного устройства.

В исполнительной части ААП при воздействии определенного управляющего сигнала открывается только один из вентилях В1...В4, через который на вход суммирующего устройства (СУ) поступает сигнал ПЧ с

выхода последнего звена УПЧ, где еще не превышен установленный пороговый уровень.

### *2.1.5. Система синхронизации и формирования меток азимута первичной трассовой РЛС*

Главными функциями системы синхронизации и формирования меток азимута являются: обеспечение синхронной работы основных частей радиолокационного комплекса (первичной РЛС, вторичной РЛС и АПОИ); синхронизация оборудования первичной РЛС; формирование сигналов временной шкалы (меток дальности) и сигналов шкалы азимута.

В современных РЛС с применением цифровых систем обработки сигналов эти требования выполняются благодаря использованию специальных устройств формирования опорных сигналов – цифровых синтезаторов сетки частот, обеспечивающих привязку всех опорных частот к частоте одного высокостабильного источника колебаний.

В системе синхронизации и формирования меток азимута можно выделить два относительно самостоятельных устройства: синхронизации и формирования азимутальных меток.

Центральным узлом устройства синхронизации является генератор опорной частоты  $F_0 = 6595,42$  кГц, стабилизированный кварцем. Частота  $F_0$  выбирается из расчета формирования заданного минимального деления шкалы дальности  $\Delta D = 0,5$  км. Для получения такой шкалы производится деление частоты  $F_0$  на 22. При последующем делении частоты на 10, 100 и т.д. формируются другие метки дальности (5, 50 км и т.д.).

К числу основных узлов устройства синхронизации относятся: формирователь импульсов синхронизации и меток дальности (для ВРЛ и АПОИ, ШАРУ, ВАРУ и формирования нуля дальности); формирователь возбужденных сигналов запуска ( возбулятор); блок встроенного контроля работоспособности устройства синхронизации.

Устройство формирования азимутальных меток предназначено для формирования азимутальных меток  $5^0, 30^0$ , импульсов «Север» и малых азимутальных импульсов (МАИ) из сигналов, поступающих с антенных датчиков.

В блоке датчиков азимута за один оборот антенны формируется 4096 импульсов «МАИ» и один импульс «Север». В формировании азимутальных меток из импульсов «МАИ» с помощью шестиразрядного счетчика, схемы выделения и делителей вырабатываются импульсы  $5^0, 10^0$  и  $30^0$ , поступающие в схему синхронизации.

### *2.1.6. Аппаратура управления, контроля и трансляции*

Аппаратура управления и контроля первичной РЛС выполняет следующие функции: включение с пульта управления РЛС всего оборудования

по определенной программе; местное переключение аппаратуры РЛС из режима «Работа» в режим «Ремонт» и обратно; передачу в районный центр УВД сигналов технического состояния аппаратуры РЛС; автоматическое или ручное переключение с рабочего комплекта на резервный; защиту аппаратуры РЛС при возникновении аварийных режимов.

Аппаратуру автоматического встроенного контроля (АВК) можно разделить на АВК для контроля аналоговых устройств и контроля цифровых устройств РЛС. При контроле работоспособности аналоговых устройств РЛС используются измерители проходящей мощности, генератор шума для контроля чувствительности приемных устройств.

При автоматическом встроенном контроле работоспособности цифровых устройств используется несколько способов, которые основаны на применении тест - сигналов.

Трансляция аналоговой информации в центр УВД осуществляется с помощью широкополосной линии связи (ШЛС) на расстояния до 10 км.

Более совершенными являются цифровые трансляторы, которым предшествуют системы обнаружения двоично-квантованных сигналов. Для обнаружения двоично-квантованных сигналов производится дискретизация протектированного сигнала по времени и амплитуде. Используя логику обнаружения, соответствующую заданным вероятностям правильного обнаружения и ложной тревоги, определяют алгоритм обнаружения по  $K$  повторений амплитуды сигнала из пачки, состоящей из  $N$  повторений.

Такой алгоритм обнаружения называют « $K$  из  $N$ », который реализуется с помощью схемы показанной на рис. 2.8. Двоично-квантованный сигнал одновременно поступает на регистр сдвига на  $N$  позиций и реверсивный счетчик на  $K$  позиций, выходы которого соединены с « $K$ » входами схемы «И». При обнаружении цели на выходе схемы «И» формируется сигнал обнаружения.

Вследствие простоты технической реализации обнаружителя двоично-квантованных сигналов нашли широкое применение.



Рис.2.8. Структурная схема обнаружителя по критерию « $K$  из  $N$ »

### 2.1.7. Назначение, состав и тактико-технические характеристики трассового радиолокатора Лира-1

Первичный трассовый радиолокатор 1Л118 (ЛИРА-1) предназначен для использования в составе систем управления воздушным движением (УВД).

Типовой состав оборудования РЛС 1Л118 входит: приёмо-передающая кабина, выносное оборудование (ВО), аппаратура первичной и вторичной обработки информации, аппаратура автоматизации средств отображения (КАСО), комплект соединительных кабелей.

#### Тактические характеристики РЛС 1Л118

Параметры зоны видимости РЛС по одиночной цели с эффективной отражающей поверхностью (ЭОП)  $>10\text{м}^2$ , при вероятности обнаружения  $P_{\text{обн}}=0,8$ , вероятности ложной тревоги  $P_{\text{л.т.}} = 10^{-6}$  (в режиме редкого запуска):

| № п/п | Высота полёта (м) | Дальность обнаружения (км) |
|-------|-------------------|----------------------------|
| 1     | 1200              | 110                        |
| 2     | 4500              | 230                        |
| 3     | 10 000            | 320                        |
| 4     | 12 000            | 350                        |
| 5     | 20 000            | 350                        |

Зона обнаружения по углу места (градусов) .....0,3°...40°

Зона обнаружения по азимуту (градусов) .....0°...360°

Предусмотрена возможность коррекции параметров зоны видимости по углу места за счет изменения наклона (градусов):

- луча нижней антенны в пределах .....от  $-(4,5^\circ \pm 0,5^\circ)$  до  $(4,5^\circ \pm 0,5^\circ)$

- луча верхней антенны в пределах .....от  $-0,5^\circ$  до  $(12,5^\circ \pm 0,5^\circ)$

Период обзора пространства, (секунд).....10/20

Среднеквадратичная ошибка измерения координат целей (при визуальном съеме информации с экрана индикатора):

- дальности не более, (метров).....1000

- азимута не более, (градусов).....1

Среднеквадратичная ошибка измерения координат целей

(при съеме информации с выхода экстрактора):

- дальности не более, (метров)..... 300

- азимута не более, (градусов).....0.167

Разрешающая способность по:

- дальности не более, (метров).....1000

- азимуту не более, (градусов)..... 1

Коэффициент подавления отражений от местных предметов

не менее дБ.....25

|   |           |
|---|-----------|
| Коэффициент подавления несинхронной импульсной помехи (НИП):                    |           |
| - в амплитудном канале.....   | 20        |
| - в когерентном канале .....  | 10        |
| Дистанционное управление и контроль обеспечиваются на расстоянии (метров) ..... | 100       |
| Электропитание РЛС -от трехфазной промышленной сети 220В 50Гц                   |           |
| Время включения оборудования, (минут).....                                      | 5         |
| Мощность, потребляемая по первичной сети, не более (кВт) .                      | 50        |
| Наработка оборудования РЛС на отказ не менее, (часов).....                      | 750       |
| Оборудование полностью сохраняет свою работоспособность при:                    |           |
| - изменении температуры в диапазоне, (градус С) .....                           | -50...+50 |
| - относительной влажности при температуре +25°С, (%) .....                      | 98        |
| - на высоте относительно уровня моря, (метров).....                             | 1000      |
| - скорости ветра до, (метров/секунду).....                                      | 25        |

### *Основные технические характеристики РЛС*

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Диапазон рабочих частот, (МГц) .....  | 2710...3100                     |
| Число приемопередающих каналов .....  | 6                               |
| Режимы работы приемопередающих каналов:   |                                 |
| - РЕДКИЙ 1, (P1), постоянный период на одной из частот запуска, (Гц).....   | 300, 313,326, 341,358, 375,333; |
| - РЕДКИЙ 2, (P2), шестипериодная вобуляция периода следования зондирующих импульсов со средней частотой запуска, (Гц) .....   | 333;                            |
| - ЧАСТЫЙ), восемнадцатипериодная вобуляция периода следования зондирующих импульсов при средней частоте запуска, (Гц).....  | 1000;                           |
| - РЕДКИЙ 2 - ЧАСТЫЙ, (P2-Ч), группа передатчиков, сопряженных с нижней антенной, работает в режиме P2, а другая группа, сопряженная с верхней антенной, - в режиме Ч. |                                 |
| Длительность огибающей зондирующих импульсов в режимах:   |                                 |
| - РЕДКИЙ 1 и РЕДКИЙ 2, (мкс).....   | 2,4...3,1                       |
| - ЧАСТЫЙ, (мкс).....  | 0,9...1,2                       |
| Средняя мощность магнетронных генераторов:  |                                 |
| - передающих каналов 1, 3,4, 5, 6, (Вт) .....   | 700                             |
| - передающего канала 2, (Вт).....   | 600                             |
| Антенная система состоит из двух антенн, формирующих одинаковые диаграммы направленности в вертикальной плоскости типа $\text{Cosec}^2$                               |                                 |
| Ширина ДН антенн в горизонтальной плоскости (по уровню 3 дБ):   |                                 |
| - для каналов 1, 2 ,4, 5 не более (градусов) .....  | 1                               |
| - для каналов 3 и 6 не более (градусов) .....   | 1.5                             |
| Ширина ДН антенн в вертикальной плоскости, (градусов).....  | 28                              |
| Размеры отражателей антенн, (метров) .....  | 9,7x3                           |
| Чувствительность приемных устройств не менее, (дБ/мВт).....   | -87                             |



|  |              |
|--|--------------|
| Коэффициент шума каждого приемника, не более .....           | 5            |
| Промежуточная частота, (МГц) .....                           | 30           |
| Полоса пропускания трактов промежуточной частоты, (МГц)..... | $1 \pm 0,25$ |

## 2.2. Первичные аэродромные РЛС

### 2.2.1. Аэродромная РЛС ДРЛ-7СМ



Аэродромные обзорные РЛС предназначены для контроля и управления воздушным движением в районе аэродрома и для вывода ВС в зону действия посадочных РЛС. Радиолокатор ДРЛ-7СМ осуществляет обнаружение ВС как по первичному, так и по вторичному каналам. Вторичный канал обеспечивает работу на частотах международного и отечественного диапазонов.

Максимальная дальность обнаружения по самолёту Ан-24 на высоте 3600 м составляет по первичному каналу 70 км, по вторичному – 120 км. В состав оборудования радиолокатора входят: два комплекта приёмно-передающей аппаратуры и индикатор; антенны; аппаратура командно-диспетчерского пункта (КДП). РЛС оборудована также передатчиками вторичного канала, обеспечивающими запрос бортовых ответчиков типа СОМ-64 и подавление сигналов входящих по боковым лепесткам ДНА при запросе.

Антенная система состоит из параболической антенны с комбинированным облучателем для пассивных и активных сигналов и щелевой антенны, предназначенной для подавления сигналов боковых лепестков по ответу.

К основной аппаратуре относятся фидерный тракт, передатчик первичного канала, приёмник первичного канала, наземный приёмник ответных сигналов (НПО), аппаратура синхронизации, трансляции и отображения радиолокационной информации.

Радиолокатор работает в трёх режимах: пассивном, СДЦ и активном.

#### *Работа РЛС в пассивном режиме*

При работе радиолокатора в пассивном режиме импульсы запуска, вырабатываемые блоком трансляции и запуска, синхронизируют работу передатчика первичного канала, индикатора кругового обзора, передатчика вторичного канала и аппараты КДП. Импульс запуска передатчика первичного канала (550 Гц) поступает на блок модулятора, затем на магнетронный генератор (230 кВт) и излучаются антенной. Для подстройки частоты магнетрона используется система автоматической подстройки частоты. Отражённые от цели сигналы, принятые антенной системой через антенный переключатель, подаются в приёмный фидерный тракт, который включает в

себя частотно-разделительное устройство, состоящее из фильтров верхней и нижней частоты.

#### *Работа первичного канала РЛС в активном режиме*

Отличие от пассивного режима заключается в том, что передатчик первичного канала генерирует не одиночные импульсы, а кодовую посылку, которая представляет собой два импульса длительностью по 1 мкс с интервалом между ними 14 мкс, являющуюся импульсами запроса самолетного ответчика. В приёмнике первичного канала парные переотражённые импульсы дешифрируются, преобразуются в одиночные импульсы и через блок памяти и очистки (БПО) подаются как обычные пассивные на ИКО.

#### *Работа РЛС в режиме СДЦ*

При работе РЛС в режиме СДЦ синхронизатор вырабатывает пусковые импульсы с частотой повторения 800, 1075 Гц или череспериодно 800 и 1075 Гц. Этому соответствуют три режима работы: СДЦ-1, СДЦ-2 или СДЦ-автомат.

Работа передающего устройства первичного канала в режиме СДЦ аналогична его работе в пассивном режиме. Отличие заключается лишь в изменении частоты повторения и длительности модулирующих и зондирующих импульсов. Длительность импульсов устанавливается равной 1 мкс.

Для выделения движущихся целей в РЛС ДРЛ-7СМ используется когерентно-импульсный метод с внутренней псевдокогерентностью. Реализуется этот метод с помощью двух дополнительных блоков – фазового блока и компенсатора. В фазовом блоке с помощью фазового детектора производится оценка изменения фазы принимаемых сигналов за период повторения импульсов. В качестве опорного напряжения, несущего информацию о фазе зондирующих импульсов, используются колебания когерентного гетеродина, фазирующегося на промежуточной частоте.

Подстройка фазы когерентного гетеродина производится с помощью фазирующего импульса, снимаемого с УПЧ системы АПЧ.

В компенсаторе осуществляется череспериодное вычитание сигналов.

После компенсатора сигналы движущихся целей поступают на блок памяти и очистки (БПО), который работает синхронно с блоком компенсатора и представляет собой устройство, выполняющее функции накопления сигналов (режим накопления) или компенсации несинхронных помех (режим подавления).

#### *Передающее устройство первичного канала*

Конструктивно передающее устройство состоит из трёх блоков: подмодулятора и управления (ПУ-Д), модулятора и высоковольтного выпрямителя (МВ-Д), магнетронного генератора с механизмом перестройки. Передающее устройство может работать на одной из 8 фиксированных несущих частот дм-диапазона. Импульсная мощность излучаемых сигналов – 230 кВт, частота повторения импульсов в пассивном и активном режимах – 550 Гц, в режиме СДЦ – 1075 и 800 Гц.

Подмодулятор выполнен на лампах и обеспечивает формирование видеоимпульсов положительной полярности амплитудой 850 В, длительностью 2 мкс в пассивном режиме и 1 мкс – в режимах СДЦ и активном. Этими сигналами управляются ключевые лампы модулятора. Кроме того, в активном режиме в подмодуляторе с помощью линий задержки формируется двухимпульсный запросный код, обеспечивающий получение координатной информации.

#### *Антенно-фидерное устройство*

АФУ определяет разрешающую способность и точность измерений по азимуту, зону видимости, дальность действия и помехозащищенность радиолокатора.

Антенно-фидерная система радиолокатора ДРЛ-7СМ служит для излучения и приёма СВЧ сигналов как по первичному, так и по вторичному каналам с подавлением сигналов боковых лепестков по запросу и ответу.

В горизонтальной плоскости ширина ДН основной антенны равна  $4^{\circ}$ , в вертикальной – около  $7^{\circ}$ . Антенна подавления по ответу имеет ширину ДН в горизонтальной плоскости  $80-85^{\circ}$ , в вертикальной – около  $12^{\circ}$ .

Основной фидерный тракт первичного канала состоит из гибкого соединителя, направленного и ненаправленного ответвителей, антенного переключателя, двойного вращающегося перехода.

В основной фидерный тракт вторичного канала входят устройства, аналогичные основному тракту первичного канала, а также регулируемый делитель мощности в канале приёма ответных сигналов и переменный аттенуатор в канале запроса ответчика.

Облучатель и антенна являются общими для первичного и вторичного каналов. Фидерный тракт подавления по запросу включает два облучателя, установленные по обе стороны от основного облучателя и совместно с ним образующие комбинированный облучатель. Облучатели канала подавления совместно с отражателем основной антенны формируют в горизонтальной плоскости ДН типа двойной колокол с провалом в направлении основной диаграммы. КНД канала подавления превышает уровень боковых лепестков канала запроса. Сигнал запроса излучается с вертикальной поляризацией, а ответные и отражённые сигналы принимаются с горизонтальной поляризацией.

Подавление боковых лепестков по ответу осуществляется в горизонтальной плоскости в секторе  $180^{\circ}$ , а в вертикальной – в секторе  $12^{\circ}$ .

Основная антенна состоит из параболического отражателя и комбинированного волноводного облучателя. Отражатель выполнен в виде металлической сетки с прямоугольными ячейками. Комбинированный облучатель основной антенны состоит из трёх прямоугольных волноводов, закороченных на конце. Расположение облучателей подбирается таким образом, чтобы мощность запросных сигналов в направлении основного луча превышала мощность сигналов подавления не менее чем на 9 дБ. В направлении боковых лепестков запросной антенны мощность сигналов подавления должна превышать сигналы боковых лепестков не менее

чем на 1 дБ. Антенна подавления по ответу представляет собой щелевую антенну и выполнена в виде прямоугольного волновода. Параметры антенны подавления подбираются таким образом, чтобы сигналы ответчика, принятые этой антенной, были больше сигналов, принимаемых боковыми лепестками основной антенны.

### *Приёмное устройство первичного канала*

Основной особенностью приёмного устройства является наличие в его составе средств защиты от пассивных помех, использующих СДЦ.

Приёмное устройство (рис. 2.9) состоит из усилителя высокой частоты (УВЧ), блока приёмника (ПРМ), фазового блока (ФБ), компенсатора на кварцевых линиях (К), блока памяти и очистки (БО). Его выходной сигнал поступает в блок трансляции и запуска (БТЗ).

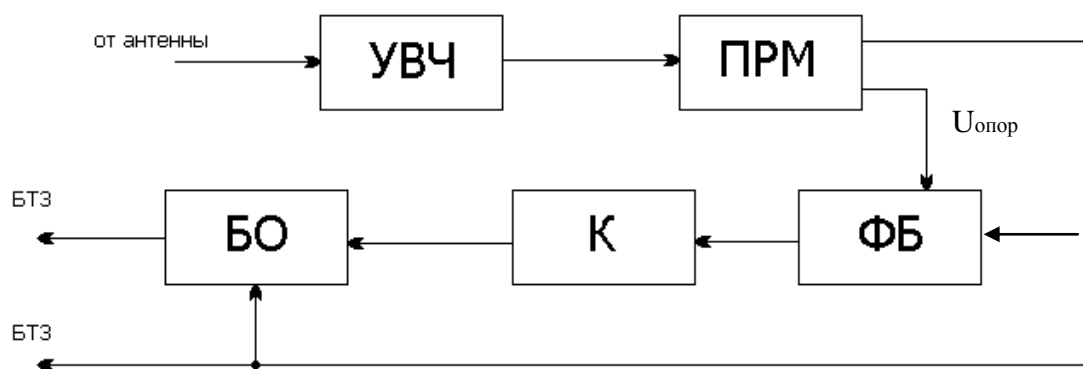


Рис. 2.9. Структурная схема приемного канала

Приёмное устройство может работать в следующих трёх режимах:

1. Приём амплитудным каналом одиночных импульсов длительностью 2 мкс с частотой повторения 550 Гц (режим пассивного ответа – пассивный режим).
2. Приём амплитудным каналом кодированной пары импульсов 1 мкс, 550 Гц (режим активного ответа – активный режим).
3. Приём амплитудным и фазовым каналами одиночных сигналов 1 мкс, 800 Гц или 1075 Гц (режим СДЦ).

Режим СДЦ в стационарном радиолокаторе ДРЛ-7СМ обеспечивается с помощью двух блоков – фазового и компенсатора. Компенсатор предназначен для подавления сигналов, отражённых от неподвижных и малоподвижных целей, и для выработки синхроимпульсов, подаваемых в БТЗ в режиме СДЦ.

Фазовый блок предназначен для усиления отражённых импульсов на промежуточной частоте, преобразования их в видеоимпульсы, модуляция и полярность которых определяются разностью фаз зондирующих и отраженных сигналов. Фазовый блок включает в себя УПЧ-Ф, когерентный гетеродин и блок проверки фазирования, с помощью которого проверяется качество работы фазового блока.

В состав блока компенсатора входят: возбудитель, ультразвуковая линия задержки (УЛЗ), электронный коммутатор, усилитель задержанного канала, усилитель незадержанного канала, видеоусилитель, генератор пусковых импульсов и ультразвуковая линия задержки (УЛЗ).

#### *Блок памяти и очистки (БПО)*

Этот блок предназначен для подавления несинхронных помех или суммирования сигналов в двух соседних периодах повторения, необходимого для сохранения эффекта устранения слепых скоростей, обеспечения череспериодной развёртки ИКО. БПО включает в себя возбудитель памяти; УЛЗ; электронный коммутатор памяти; линейку усилителей памяти; стабилизаторы напряжения.

Возбудитель памяти предназначен для коммутации и преобразования сигналов амплитудного и когерентного каналов в амплитудно-модулированные колебания ВЧ.

Электронный коммутатор памяти предназначен для автоматического череспериодного подключения выходов ультразвуковых линий задержки к усилителю задержанного канала линейки усилителей памяти синхронно с переключением УЛЗ в компенсаторе. Линейка усилителей памяти предназначена для усиления ВЧ модулированных сигналов задержанного и незадержанного каналов, детектирования этих сигналов, дополнительной задержки и подачи на вход БТЗ после обработки в схемах совпадения и сложения.

#### *Блок трансляции и запуска (БТЗ)*

БТЗ входит в состав шкафа запуска и видеосигналов. Он предназначен для синхронизации всех устройств, входящих в радиолокатор, для дешифрирования активного сигнала, а также для усиления видеосигналов, транслируемых на КДП и контрольный индикатор. БТЗ состоит из панели запускающих импульсов, линейки коммутации видео, дешифратора активного канала, двух выпрямителей и стабилизаторов. Панель запускающих импульсов предназначена для формирования запускающих импульсов, синхронизирующих работу всех блоков радиолокатора. Линейка коммутации видео предназначена для усиления видеоимпульсов активного канала до уровня, необходимого для передачи их через линию трансляции на КДП.

Дешифратор активного канала предназначен для декодирования координатного кода ответных сигналов и подачи полученных импульсов на контрольный ИКО.

#### *Индикатор кругового обзора*

Индикаторное устройство радиолокатора ДРЛ-7СМ предназначено для получения на экране электронно-лучевой трубки изображения кругового обзора пространства в полярных координатах и отображения пеленга автоматического радиопеленгатора. В ИКО используется радиально-круговая развёртка.

Местоположение наблюдаемой в пространстве цели определяется по её основной отметке на экране ИКО. Координаты цели оцениваются по масштабным меткам азимута и дальности. В состав индикатора входят: канал запускающих импульсов; канал формирования прямоугольных импульсов; каналы формирования вертикальной и горизонтальной составляющих пилообразных токов развёртки; канал масштабных меток дальности; канал масштабных меток азимута; блок включения пеленга; канал развёртывающих напряжений; канал видеоусиления; канал подавления помех; ЭЛТ с элементами управления лучом.

#### *Передающее устройство вторичного канала*

Передающее устройство активного канала предназначено для формирования ВЧ двухимпульсных сигналов запроса самолётного ответчика и дополнительного ВЧ импульсного сигнала подавления боковых лепестков по запросу. Для этой цели имеются два передающих устройства. Одно из них предназначено для запроса самолётного ответчика, а второе – для подавления по запросу сигналов боковых лепестков. Оба передающих устройства выполнены по многоканальной схеме (возбудитель – умножитель частоты – усилитель мощности).

Каждое передающее устройство содержит возбудитель, вентиль, усилители, модулятор и источники питания.

Возбудитель состоит из кварцевого автогенератора, семи усилителей, двух удвоителей и утроителя.

#### *Приёмное устройство вторичного канала*

Приёмник (рис. 2.10) осуществляет приём сигналов самолётного ответчика. Он работает на одной из трёх фиксированных частот. При приёме запросного кодированного сигнала диспетчерского радиолокатора самолётный ответчик (СО) излучает ответный кодированный сигнал. Кроме основного режима работы СО может использоваться режим опознавания.

Этот режим устанавливается пилотом нажатием кнопки ответчика по команде с земли (SPI).

Ответные импульсы, принятые приёмником, усиливаются, преобразуются, детектируются и затем декодируются в БТЗ. Декодированные импульсы подаются на ИКО, не декодированные – на КДП.

Для устранения ответных сигналов, пришедших по боковым лепесткам ДНА, приёмник строится по двухканальной схеме, включающей основной канал и канал подавления. Основной канал принимает сигнал ответчика, а канал подавления – сигналы боковых лепестков основной антенны. Рассмотрим принцип подавления приёма от боковых лепестков. Сигналы, принятые по двум каналам, усиливаются, преобразуются в сигналы промежуточной частоты и детектируются. После детектирования на выходе ОК появляется положительный импульс, а на выходе КП – отрицательный, как это показано в табл. 2.1.

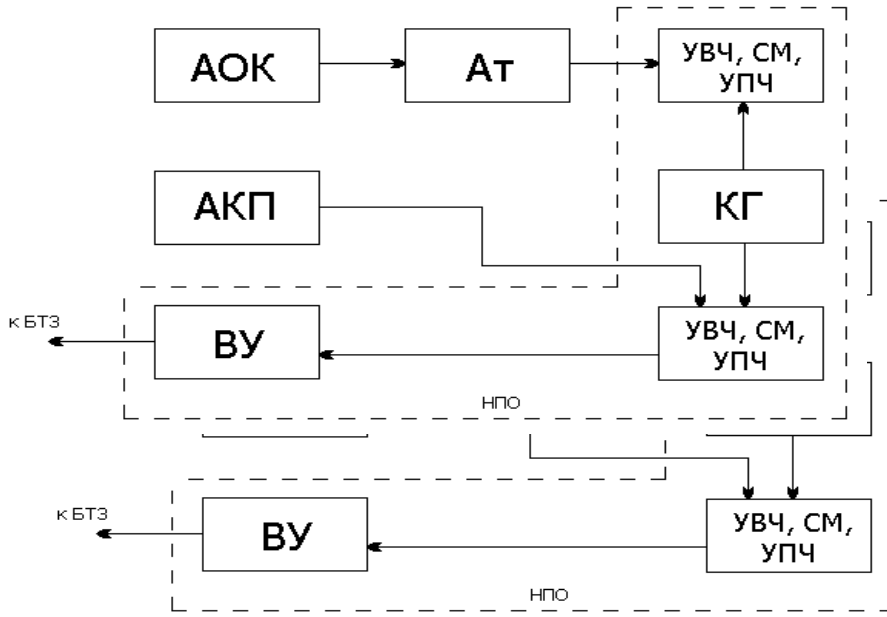


Рис. 2.10. Структурная схема наземного приёмника ответных сигналов:  
 ВУ видеоусилитель; КГ – кварцевый генератор; АОК – антенна основного канала; АКП – антенна канала подавления; Ат – аттенюатор

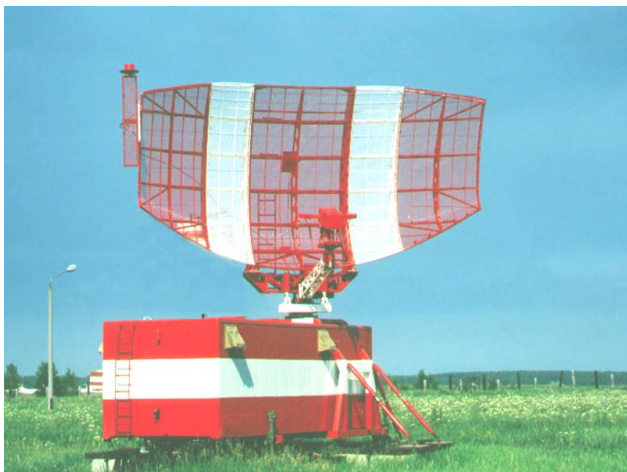
В зависимости от соотношения коэффициентов усиления антенн (основной и подавления) плавным аттенюатором (АФС) в основной канал вводится такое затухание, чтобы сигналы, поступающие от основной антенны в направлении главного лепестка, превышали сигналы от антенны подавления, а в направлении боковых лепестков оказывались бы меньше сигналов, поступающих от антенны подавления. При сложении разнополярных видеосигналов в направлении главного лепестка суммарный сигнал всегда будет положительной полярности, а в направлении боковых лепестков – отрицательной. Эти сигналы поступают на видеоусилитель, усиливающий только импульсы положительной полярности и подавляющие импульсы отрицательной полярности.

Таблица 2.1

Полярности сигналов в основном канале и канале подавления

|               |  | В<br>направлении<br>главного<br>лепестка | В<br>направлении<br>боковых<br>лепестков |
|---------------|--|--|--|
| ОК            |  |  |  |
| КП            |  |  |  |
| Сумма<br>рный |  |  |  |

### 2.2.2. Аэродромный радиолокатор АОРЛ – 85



Аэродромный обзорный радиолокатор АОРЛ – 85 («Экран-85») предназначен для осуществления контроля и управления воздушным движением ВС в зоне аэропорта. Он разрабатывался и выпускается на смену массовому аэродромному радиолокатору ДРЛ – 7СМ, который по своим ТТХ не удовлетворяет возросшим требованиям к УВД.

РЛС «Экран-85» обеспечивает прием, обработку и преобразование радиолокационной информации, получаемой по первичному и вторичному каналам; трансляцию радиолокационной информации в цифровом и аналоговом виде по кабельной и широкополосной линиям на КДП на расстояние до 3 км; отображение аналоговой информации первичного и вторичного каналов на экране контрольного ИКО; дистанционное управление работой РЛС.

Передачик первичного канала предназначен для формирования и усиления высокочастотного сигнала первичного канала до необходимой длительности и мощности, включает в себя устройства защиты входных цепей приемного тракта и усиления мощности отраженного сигнала в УВЧ.

Антенно – фидерный тракт используется для передачи импульсной мощности передатчиков до антенных облучателей, формирования ДН для работы первичного и вторичного каналов, приема сигналов по первичному и вторичному каналам, фильтрации и усиления сигналов вторичного канала.

Шкаф приемных устройств первичного канала предназначен для формирования и генерирования сигнала с линейной частотной модуляцией, усиления и детектирования отраженных от цели сигналов с последующей их обработкой и выделением отметок от движущихся целей.

Шкаф аппаратуры вторичного канала служит для генерирования ВЧ сигнала вторичного канала и его излучения, приема сигналов самолетных ответчиков отечественного и международного диапазонов, а также реализации алгоритмов подавления сигналов, принятых по боковым лепесткам ДН.

Шкаф аппаратуры синхронизации и сопряжения предназначен для формирования импульсных сигналов запуска, стробирования, бланкирования, формирования тактовых последовательностей для синхронизации каналов обработки, обработки угловой информации с датчика «вал-код»,



коммутирования видеосигналов первичных комплектов РЛС и формирования смешанного сигнала для трансляции.

Аппаратура первичной обработки информации применяется для приема сигналов первичного и вторичного каналов, выделения сигналов, определения координат целей, декодирования сигналов вторичного канала и выделения координатной и дополнительной информации по этому каналу, объединения сигналов от одной цели по первичному и вторичному каналам, передачи полезной информации по узкополосному каналу связи.

Пульт контрольного индикатора предназначен для визуального наблюдения за работой РЛС «Экран – 85», декодирования информации, поступающей с приемников вторичного канала отечественного диапазона.

#### Основные технические характеристики РЛС «Экран–85»:

-дальность действия по первичному каналу на высоте  $H$  при нулевых углах закрытия:

$H - 1000 \text{ м} - 6...50 \text{ км}$

$H - 3600 \text{ м} - 10...80 \text{ км}$

$H - 6000 \text{ м} - 12...100 \text{ км}$

----- по вторичному каналу -----

$H - 1000 \text{ м} - 6...65 \text{ км}$

$H - 3600 \text{ м} - 10...120 \text{ км}$

$H - 6000 \text{ м} - 12...100 \text{ км}$

-минимальная дальность действия по первичному каналу при  $H=400 \text{ м} \leq 3 \text{ км}$

-вероятность правильного обнаружения:

по первичному каналу  $\geq 0,8$

по вторичному каналу  $\geq 0,9$

вероятность ложных тревог по собственным шумам приемника  $10^{-6}$

разрешающая способность по азимуту  $\leq 1,9^\circ$

темп обзора воздушного пространства в горизонтальной плоскости  $360^\circ - 6 \text{ с}$

диапазон радиальных составляющих скоростей ВС, в котором обеспечивается работа СДЦ  $40..150 \text{ км/ч}$

число несущих частот первичного канала  $8$

режимы вторичного канала: УВД, УВД – М, RBS

тип подавления боковых лепестков во вторичном канале: по запросу и ответу

наличие устройств защиты от помех (активных, пассивных,

несинхронных)  $\text{есть}$

Радиолокатор «Экран – 85» состоит из двух комплектов оборудования, каждый из которых включает первичный и вторичный канал. Работа первичного канала связана с использованием двухлепестковой диаграммы направленности. Вторичный канал встроенный, запрос осуществляется на частоте 1030 МГц и прием на частотах 740 и 1090 МГц.

Антенно-фидерное устройство РЛС формирует в пространстве ДН, близкую к  $\cos^2$ , и осуществляет круговой обзор пространства в секторе  $0...45^\circ$  по углу места. Антенна состоит из зеркала двойной кривизны и двух рупорных облучателей. Облучатели формируют основной и дополнительный лучи ДН. При этом основной (нижний) луч используется для излучения СВЧ энергии и ее приема как по первичному, так и по вторичному каналам. Дополнительный луч используется только на прием и только по первичному каналу.

Запускающие импульсы поступают из блока синхронизации и сопряжения первичного канала в блок приемного устройства соответствующего комплекта, где формируется радиочастотный сигнал длительностью 29 мкс с внутриимпульсной линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). С блока приемного устройства ЛЧМ сигнал поступает на вход передатчика первичного канала на усилитель мощности передатчика и излучается. Сигнал, отраженный от цели, воспринимается антенной РЛС. Каждый из приемников первичного канала имеет два входа: один для сигналов, поступающих от облучателя нижних углов, а второй – от облучателя верхних углов. Коммутация этих входов производится по высокой частоте с помощью коммутаторов.

Принятый сигнал поступает на вход УВЧ, преобразуется, фильтруется и сжимается оптимальным фильтром (амплитуда полезного сигнала увеличивается относительно среднего уровня шумов примерно в 8 раз по мощности). Для поддержания постоянного уровня ложных тревог используется ШАРУ.

Полезный сигнал на промежуточной частоте поступает на вход системы СДЦ, где в результате обработки выделяются сигналы от движущихся целей и подавляются сигналы от местных предметов и низкоскоростных метеообразований. С выхода приемного устройства первичного канала обработанный сигнал через блок сопряжения поступает на вход АПОИ «ВУОКСА». Одновременно видеосигнал подается на ИКО.

В РЛС при приеме по вторичному каналу для подавления сигналов боковых лепестков ДН используется метод фазовой окраски. При этом методе амплитудные различия между сигналами, принятыми по основному и боковому лепесткам ДН, преобразуются по высокой частоте в фазовые. После усиления сигналов в трактах приемника их фазовые различия снова преобразуются в амплитудные, после чего поступают в схемы обработки. Этот метод позволяет получить более высокий коэффициент подавления боковых лепестков ДН. Сигналы, полученные с выходов приемников вторичных каналов в режимах УВД и RBS, поступают на коммутатор и далее на дешифратор АПОИ.

Приемное устройство первичного канала в составе РЛС выполняет следующие функции: усиление и преобразование принятых ВЧ сигналов; формирование сигналов с ЛЧМ; подавление несинхронных помех; подавление отражений от неподвижных и малоподвижных целей; обработку видеосигналов фазового и амплитудного каналов и передачу их на устройство отображения информации РЛС.

### 2.3. Посадочные радиолокационные станции



Посадочные РЛС (ПРЛС) предназначены для контроля и управления заходом ВС на посадку. В аэропортах, оборудованных курсоглиссадными навигационными системами посадки, они могут являться дополнительным или резервным средством УВД.

ПРЛС фактически состоит из двух отдельных радиолокационных станций: курсовой и глиссадной со своими антенными системами, согласованное качание которых обеспечивается антенным механизмом. Для получения

высоких угловых разрешающих способностей курсовая антенна имеет узкую ДН в горизонтальной плоскости, а глиссадная – в вертикальной. У курсовой антенны в вертикальной плоскости, а у глиссадной в горизонтальной плоскости ДН относительно широкие. ПРЛС работают в диапазоне волн 3,2 см.

В этом диапазоне удаётся хорошо согласовать требования к ДН антенн и к мощности излучения с конструктивными возможностями их реализации.

Возможность выбора поляризации антенн от линейной до эллиптической позволяет значительно ослабить влияние помех. Несмотря на относительно небольшую дальность действия (несколько десятков километров), ПРЛС излучает импульсы большой импульсной мощности.

Для нейтрализации влияния «провалов» в ДН вторичных переизлучений за счёт сложения принятых отражённых сигналов двух передатчиков часто применяется режим двухчастотной работы с таким разносом частот, чтобы для них в ДН вторичных переизлучений направления «провалов» не совпадали. Двухчастотный режим оказывается полезным и для уменьшения влияния эффекта «слепых» скоростей. Этой же цели служит и периодическое изменение от импульса к импульсу временных интервалов между ними. На экране индикатора ПРЛС воздушная обстановка отображается в прямоугольных координатах «наклонная дальность – угловое положение антенны» отдельно для глиссадной и курсовой антенн. На каждой из разверток формируется линия посадки, обеспечивающая ее правильное осуществление на данной местности.

Разница между действительной отметкой цели и линией посадки определяет необходимость коррекции положения самолета. Развёртка по дальности выполняется по логарифмическому закону, чтобы по мере

приближения к точке посадки на самом ответственном участке захода ВС на посадку пространство изображалось во всё более крупном масштабе.

В аэропортах России используются ПРЛС нескольких типов и модификаций: РП-3Г, РП-4Г, РП-5Г. Современным требованиям к ПРЛС наиболее полно соответствуют параметры и характеристики РП-5Г.

ПРЛС контролирует движение ВС, находящихся в зоне посадки, от точки с дальностью 30 км и высотой 50 м (и выше до 2,2 км) до точки посадки.

Ширина ДНА курса в горизонтальной плоскости на уровне 3 дБ составляет  $0,8^{\circ}$ . Ширина ДНА глиссады в вертикальной плоскости на уровне 3 дБ составляет  $0,5^{\circ}$ .

Зона обзора может быть приспособлена к местным условиям аэродрома наклоном антенны курса в пределах  $-2,5^{\circ} \dots +7,5^{\circ}$  и отклонением антенны глиссады в пределах  $-10^{\circ} \dots +17^{\circ}$ . Угловые сектора качания антенн: по курсу  $+15^{\circ}$  (+10%) от параллели к оси ВПП; по глиссаде  $-1^{\circ} \dots 9^{\circ}$  от горизонтали. Частота качания антенны 0,6 Гц; частота обновления информации не менее 1 Гц.

Гарантированная разрешающая способность: на расстояниях от точки посадки до 17 км лучше, чем  $1,2^{\circ}$  по курсу и  $0,6^{\circ}$  по углу места, 120 м по дальности; на расстоянии 17...30 км лучше, чем  $2^{\circ}$  по курсу,  $1,5^{\circ}$  по углу места и 250 м по дальности. Погрешность определения отклонения ВС от посадочной линии по курсу  $\leq 9$  м, по глиссаде  $\leq 6$  м.

В режиме СДЦ происходит подавление сигналов от неподвижных объектов на 25 дБ, от метеообразований – на 20 дБ. Эффективная борьба со «слепыми» скоростями осуществляется автоматическим изменением от импульса к импульсу временных интервалов между ними в соотношениях 9:10:11, повторяющихся через каждые три импульса. В ПРЛС применяются индикаторы с кинескопами номинального диаметра 400 мм. На экране в прямоугольном растре изображаются: в верхней половине растра сектор глиссады; в нижней половине сектор курса; в обоих секторах используются метки дальности, угловые метки; электронные изображения посадочной линии в секторах глиссады и курса.

Основные технические данные передатчика и приёмника имеют следующие характеристики.

Два одинаковых передатчика оснащены импульсными магнетронами, работающими в двухчастотном режиме с разносом частот в 150 МГц и относительной задержкой зондирующих импульсов в 1 мкс. Длительность импульсов 0,5 мкс. Импульсная мощность каждого передатчика 150 кВт.

Временные интервалы между импульсами изменяются от импульса к импульсу, повторяясь через три импульса, и соответствуют частотам повторения 1,8; 2; 2,2 кГц  $\pm 10\%$ . Промежуточная частота приёмников 30 МГц, ширина полосы пропускания УПЧ 3,2 МГц, коэффициент шума приёмника 8 дБ.

Антенны курса и глиссады состоят из параболических отражателей, облучателей и поляризаторов. Подавление отражений от гидрометеоров осуществляется с помощью поляризаторов и основано на эффекте неодинакового отражения радиоволн с различной поляризацией от объектов.

Передающее устройство двухчастотной ПРЛС оснащено двумя однотипными импульсными магнетронными передатчиками, работающими в комплексах А и Б как в раздельном двухчастотном режиме, так и отдельно.

Стабильность частоты генерируемых колебаний обеспечивается с помощью механической подстройки частоты магнетрона системой АПЧ.

В передатчиках применены модуляторы с полным разрядом накопительной формирующей линии и водородным тиратроном в качестве коммутирующего элемента.

Приёмное устройство двухчастотной ПРЛС имеет два одинаковых приёмника, выполняющих одинаковые функции и обеспечивающих возможность работы с СДЦ, без СДЦ и с комбинацией этих режимов.

Система СДЦ подавляет сигналы, отражённые от неподвижных объектов, что особенно важно для ПРЛС, так как в зоне её действия на малых расстояниях могут оказаться высокие строения, деревья, мачты, ЛЭП и другие объекты, отражения от которых могут засорять экран индикатора. Цепи помехозащиты должны подавлять несинхронные и частично шумовые помехи, содержащиеся в видеосигналах после АД и ФД.

В ПРЛС применяется псевдокогерентная аналоговая система СДЦ с череспериодной компенсацией (ЧПК), использующая когерентный гетеродин, фазированный на промежуточной частоте.

Нестабильности, а также внешние факторы, дестабилизирующие работу системы СДЦ, такие как модуляция отраженного сигнала по амплитуде при сканировании антенны и собственные флуктуации сигнала по амплитуде и фазе при отражении, ограничивают возможность подавления сигналов от неподвижных целей уровнем – (20...30) дБ.

Для борьбы со слепыми скоростями применяется циклическое изменение временного интервала между смежными зондирующими импульсами. Более равномерной получается скоростная характеристика в системе СДЦ с тремя циклически чередующимися временными интервалами повторения зондирующих импульсов, применяемых в современных ПРЛС. Защита от несинхронных и частично от шумовых помех основана на суммировании принимаемых отраженных радиолокационных сигналов в нескольких последовательных периодах зондирования.

### 3. Вторичные радиолокаторы управления воздушным движением

Система вторичной радиолокации служит для определения координат самолетов, получения, декодирования, обработки и преобразования дополнительной информации о ВС, оборудованных бортовыми ответчиками, соответствующими нормам ИКАО и России.

В основе всех систем ВРЛ лежит канал связи между наземной аппаратурой (запросчиком) и бортовой аппаратурой (ответчиком) (рис. 3.1).

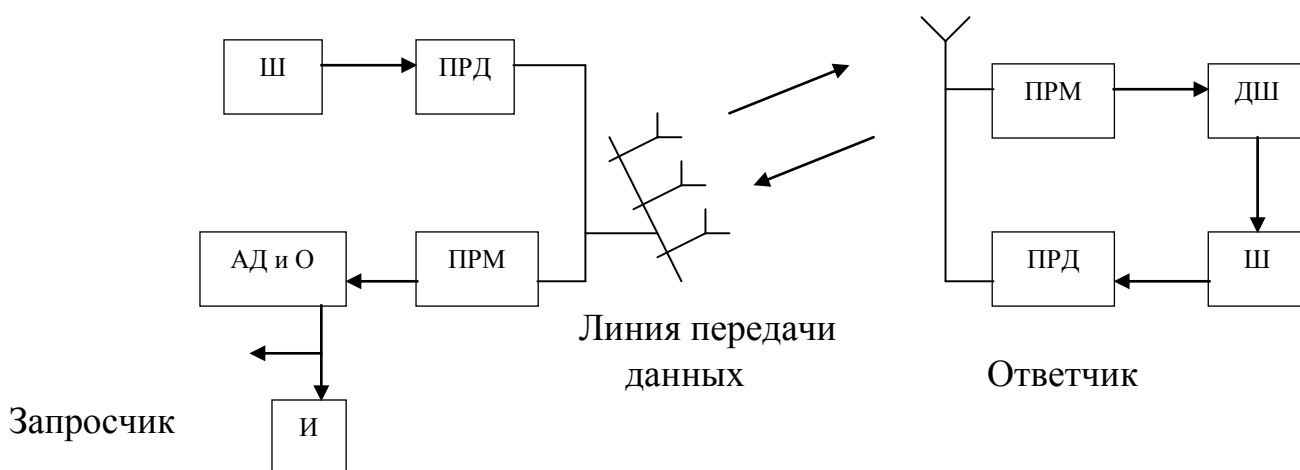


Рис. 3.1. Состав системы ВРЛ:

И – индикатор; ДШ – дешифратор; Ш – шифратор; АД и О – аппаратура декодирования и обработки

На вход ответчика поступают коды запроса. Вид запросной информации закодирован во временных интервалах между импульсами запросных посылок. Передача запросных посылок осуществляется с помощью направленной антенны, вращающейся в горизонтальной плоскости. Таким образом, ВС, находящиеся в зоне действия системы под разными азимутами, облучаются последовательно в разные моменты времени. В течение времени пока самолет находится в пределах ширины главного лепестка ДНА, на вход бортового ответчика поступает несколько десятков запросных сигналов.

Запросный код формируется в шифраторе (УВД/RBS), здесь же формируется импульс подавления и вся эта зондирующая комбинация модулирует передатчик и поступает в двухдиапазонную антенну. Антенна обеспечивает формирование ДН по запросу основного канала и ДН антенны подавления. Ответная информация принимается антенной и поступает на соответствующие входы приемных устройств двух диапазонов, в которых

осуществляется прием, усиление, детектирование и подавление сигналов боковых лепестков по каналу ответа. Для этого каждое приемное устройство выполнено двухканальным с суммарно-разностными входами.

Аппаратура декодирования и обработки осуществляет декодирование координатных сигналов и их последующую очистку от несинхронных помех, декодирование информации и аварийных сигналов, преобразование информации о высоте полета в футах в информацию, выраженную в метрах двоично-десятичным кодом.

Система кодирования запросных и ответных сигналов, используемая в России (УВД), отличается от системы, применяемой в соответствии с нормами и рекомендациями ИКАО (RBS).

Расстановка кодовых импульсов запроса для режимов УВД и RBS приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Расстановка кодовых импульсов запроса для режимов УВД и RBS

| Режим работы | Код запроса | Интервал м/у P1 и P3, мкс | Информационное содержание сигналов, передаваемых ответчиком |
|--------------|-------------|---------------------------|---|
| УВД          | ЗК1         | $9,4 \pm 0,2$             | Индивидуальный номер ЛА (информационное слово №1)           |
|              | ЗК2         | $14,0 \pm 0,2$            | Высота полета и запас топлива (информационное слово №2)     |
|              | ЗК3         | $23,0 \pm 0,2$            | Вектор путевой скорости (информационное слово №3)           |
|              | ЗК4         | $19,0 \pm 0,2$            | Только сигналы координатной отметки                         |
| RBS          | A           | $8,0 \pm 0,2$             | Код опознавания ЛА  |
|              | C           | $21,0 \pm 0,2$            | Высота полета   |
|              | D           | $25,0 \pm 0,2$            | Резервный режим   |

Информационные сигналы УВД состоят из трех ключевых и сорока информационных импульсов.

Информационный код 1 содержит информационное слово №1 и обеспечивает передачу бортового номера из пяти цифр. Информационный код 2 содержит информационное слово №2 и обеспечивает передачу информации о

высоте, запасе топлива и сигнала «Бедствие». Данные о запасе топлива в процентах от полной вместимости топливных баков передают с использованием разрядов 17 и 20 информационного кода. Информационный код 3 должен содержать информационное слово №3 и обеспечивать передачу значений путевого угла в пределах от 0 до 180°, значений путевой скорости в интервале от 0 до 3034, 3168 км/ч.

В режиме RBS сигналы ответа содержат координатные и информационные импульсы. В ответ на запрос кодом А передается код опознавания ВС, обозначение которого состоит из четырех цифр от 0 до 7 включительно. Кодирование каждой цифры кода опознавания производится тремя разрядами информационного кода.

Тактико-технические характеристики самолетных ответчиков приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

## Тактико-технические характеристики самолетных ответчиков

| Показатель                                       | COM-64         | COM-72M        | SSR-2700<br>(Великобри-<br>тания) | TRA-63A<br>(США) |
|--|----------------|----------------|-----------------------------------|------------------|
| Число частот запроса                             | 3              | 3              | 1                                 | 1                |
| Число частот ответа                              | 4              | 2              | 1                                 | 1                |
| Количество используемых<br>ответных кодов        | 8              | 14             | 2                                 | 2                |
| Бортовой номер (режим<br>УВД)                    | 10000          | 10000          | -                                 | -                |
| Бортовой номер (режим<br>RBS)                    | 4096           | 4096           | 4096                              | 4096             |
| Высота полета (режим<br>УВД), м                  | 500-<br>300000 | 500-<br>300000 | -                                 | -                |
| Высота полета (режим<br>RBS), ф                  | 300-<br>100000 | 300-<br>100000 | 300-100000                        | 300-100000       |
| Запас топлива, градации                          | 15             | 15             | -                                 | -                |
| Вектор скорости, курс, бит                       | -              | 20             | -                                 | -                |
| Команды БСПС, число                              | -              | 3              | 75                                | 75               |
| Допустимая погрешность<br>измерения дальности, м | 300±2          | 75±1           | ±1                                | ±1               |



Значение каждой цифры определяют суммой обозначений соответствующих разрядов информационного кода, имеющих значение «1». В ответ на запрос кодом С передается информационный код высоты, обеспечивающий передачу значений барометрической высоты полета.

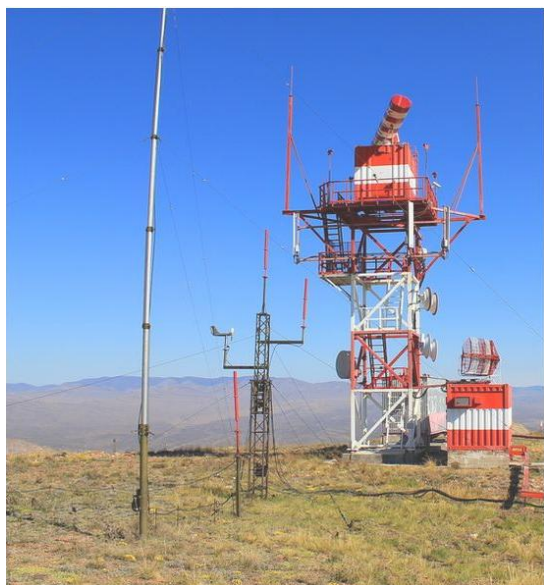
Кроме УВД и RBS существует режим УВД-М, когда ответные сигналы кодируются соответственно режиму УВД, но передаются на международной несущей частоте  $1090 \pm 3$  МГц.

Отечественные ответчики имеют два канала: для работы по нормам ИКАО и стандарту России.

Современные индикаторы воздушной обстановки позволяют отобразить формуляр с дополнительной информацией рядом с отметкой от цели. В режиме запроса ЗК1 бортовые ответчики передают пятизначный бортовой номер. На запрос ЗК2 передаются сообщения об относительной или абсолютной высоте (1500 градаций) и данные о запасе топлива (15 градаций).

Для сигнала «Бедствие» отведен 16 разряд. Последняя пятая декада несет информацию об остатке топлива в процентах (15 градаций по 5%). В ответ на запрос ЗК3 передается информация о скорости ВС.

### 3.1. Состав ВРЛ



В любом ВРЛ выделяют радиолокационное оборудование, размещаемое на позиции, и аппаратуру декодирования и обработки информации, устанавливаемую на КДП. Оборудование ВРЛ состоит из: антенны (для автономного ВРЛ); антенно-фидерного тракта; приемопередатчика (для каждого диапазона частот); аппаратуры управления; аппаратуры синхронизации; контрольного индикатора; источника питания. Структурная схема ВРЛ «Корень АС» показана на рис. 3.2. На этой схеме показан

один комплект оборудования без резервных узлов. В состав ВРЛ входят: двухдиапазонная антенна *А* с колонкой привода *П* и аппаратурой управления приводом *АУП*, приемопередатчик международного диапазона ПРМ-ПРД-МД, приемник отечественного диапазона ПРМ ОД, контрольный индикатор кругового обзора *ИКО*.

В состав КДП входят: аппаратура обработки и декодирования ответных сигналов *АОД*, выходное устройство *ВУ*. Пульты местного *ПМУ* и дистанционного *ПДУ* управления обеспечивают возможность задания различных режимов работы ВРЛ. Система встроенного контроля *ВСК* обеспечивает контроль основных параметров ВРЛ с выдачей сигналов «Норма» и «Авария».

Аппаратура синхронизации *АС* обеспечивает синхронную работу ВРЛ с первичным радиолокатором.

Для этого на ВРЛ «Корень-АС» с первичного радиолокатора поступает импульс запуска и напряжение синхронного вращения антенн. Управление работой передающего устройства и синхронизацию работы всего ВРЛ осуществляет генератор режимов *ГР*.

Генератор режимов формирует импульсы запуска, сигналы переключения запросных кодов шифраторов передающего устройства, импульс модуляции гетеродина возбуждителя, а также определяет последовательность чередования импульсов запроса.

Запросные импульсы и импульсы подавления от передатчика через антенные переключатели (АП) и фидерный тракт подводятся к антенне.

Прием ответных посылок производится на частотах международного и отечественного диапазонов. В приемных устройствах подавляются сигналы боковых лепестков по линии ответа. Ответные сигналы усиливаются и детектируются. Затем вся информация транслируется по кабелю на КДП.

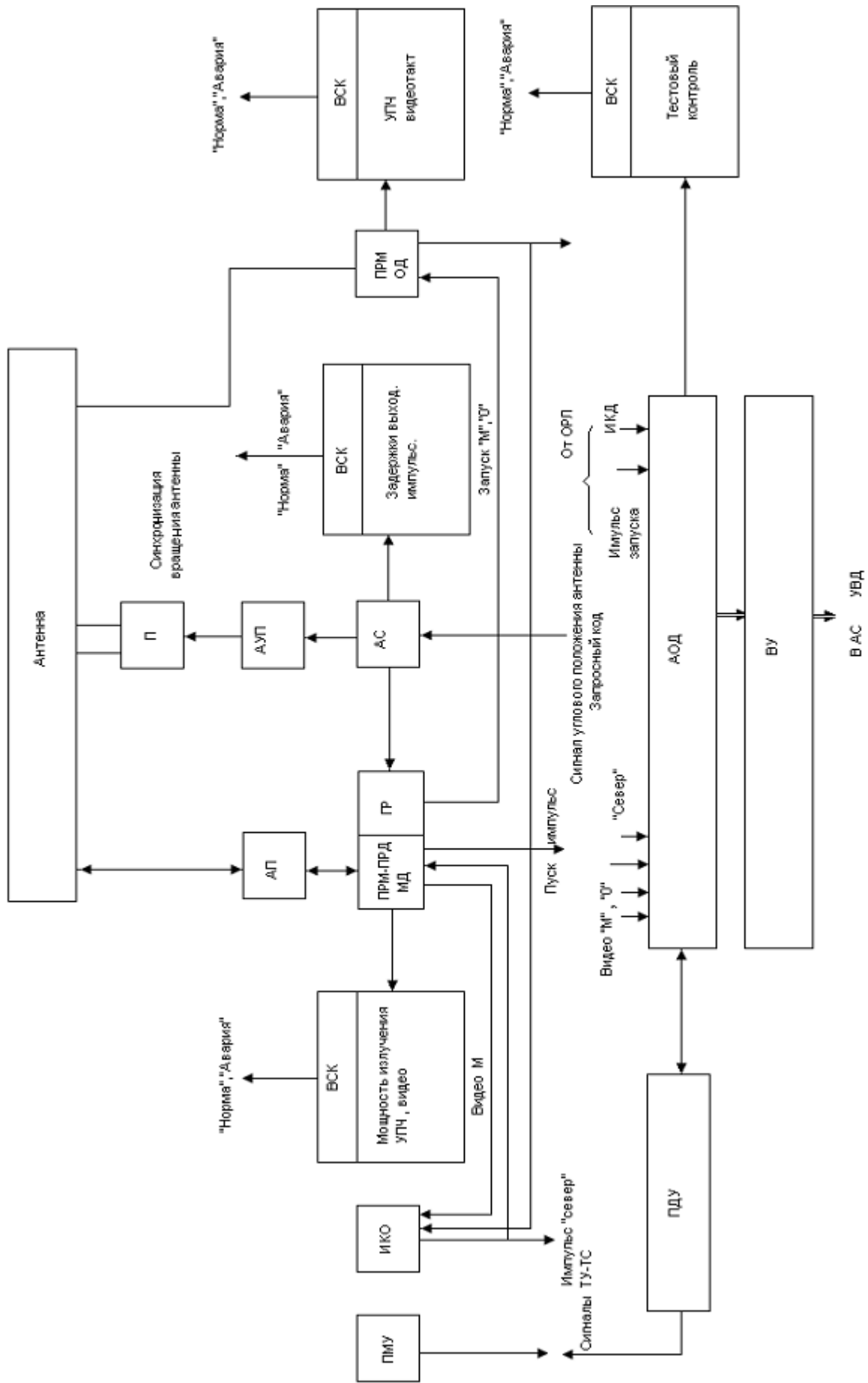


Рис. 3.2. Структурная схема ВРЛ «Корень АС»

Импульс «Бланк дальности» вырабатывается в приемном устройстве и открывает его на время, пропорциональное дальности первичной РЛС. Напряжение ВАРУ уменьшает усиление приемника для переотраженных сигналов и сигналов близкорасположенных целей. Тем самым уменьшается перегрузка приемника. На время действия напряжения ВАРУ строб ВАРУ отключает схему ШАРУ, которая обеспечивает регулировку усиления каскадов приемного устройства по уровню шумов.

Вся ответная информация и запросные коды поступают на аппаратуру групповой обработки, где осуществляется корректировка входных сигналов, декодирование координатных сигналов и их очистка от несинхронных помех, декодирование информации, а также преобразование информации о высоте полета, выраженной в футах и передаваемой кодом Гиллхэма в информацию, выраженную в метрах двоично-десятичным кодом. Далее, в зависимости от структуры построения системы управления воздушным движением, информация в параллельном виде поступает в АС УВД или на индивидуальную аппаратуру диспетчера. При использовании в АС УВД ВРЛ должен сопрягаться с АПОИ.

В состав ВРЛ входят контрольный индикатор кругового обзора и оборудование местного и дистанционного управления.

### *3.2. Антенно-фидерная система ВРЛ*

Специфической функцией антенн ВРЛ является обеспечение подавления сигналов от боковых лепестков ДНА как в режиме запроса, так и в режиме ответа. В автономных вторичных локаторах могут применяться линейные и плоские антенные решетки. Антенные решетки позволяют сформировать узкие диаграммы направленности, а также обеспечить управление ими в зависимости от условий возбуждения излучающих элементов. Примером расположения облучателей служит двухдиапазонная, эквидистантная антенна автономного вторичного радиолокатора типа «Корень». Ее габаритные размеры в горизонтальной плоскости 10 м, в вертикальной 0,5 м. Коэффициент усиления такой антенны в МД  $K = 20$  дБ. Антенна состоит из 42 идентичных двухдиапазонных рупорных излучателей. В каждом рупоре установлены два взаимно перпендикулярных возбуждителя, что обеспечивает ортогональную поляризацию сигналов. Поляризация излучаемых и принимаемых сигналов вертикальная для международного диапазона частот и горизонтальная для отечественного диапазона частот.

В горизонтальной плоскости ширина диаграммы направленности основного луча на уровне 3 дБ составляет  $(3,0+0,3)^\circ$  на частотах отечественного диапазона и  $(2,0 \pm 0,2)^\circ$  на частотах международного диапазона. В вертикальной плоскости ДНА антенны имеет ширину  $(50+5)^\circ$  на уровне 3 дБ.

Одним из вариантов антенной системы ВРЛ может служить плоская двухдиапазонная антенная решетка. Использование антенн в виде плоских антенных решеток позволяет увеличить крутизну переднего фронта диаграммы

направленности, увеличить коэффициент усиления антенны. Расстояние между излучателями выбирается из условия получения малого уровня боковых лепестков и отсутствия дифракционных максимумов основного лепестка.

При соответствующем питании излучателей можно сформировать три ДН: суммарную, разностную и ДН подавления. Эти ДН необходимы для обеспечения моноимпульсного метода локации. Используемая в настоящее время антенна ВРЛ «Корень-АС» на МД имеет крутизну переднего фронта ДН  $K \sim 0,6$  дБ/градус на уровне  $0,5E_{\max}$ . Плоская антенная решетка может обеспечить  $K$  более 2 дБ/градус.

Фидерная система содержит четыре тракта: приемопередающий тракт запроса и ответа МД; приемопередающий тракт подавления по запросу и ответу МД; приемный тракт ответа ОД; приемный тракт подавления по ответу ОД.

### 3.3. Передающее устройство ВРЛ

Оно служит для формирования импульсных кодированных посылок запроса; а также импульсов подавления при наличии канала подавления по запросу.

Рассмотрим работу передающего устройства ВРЛ на примере передатчика ВРЛ «Корень – АС». Этот передатчик строится по двухканальной схеме рис. 3.3: один канал для передачи сигнала запроса, другой для передачи сигнала подавления.

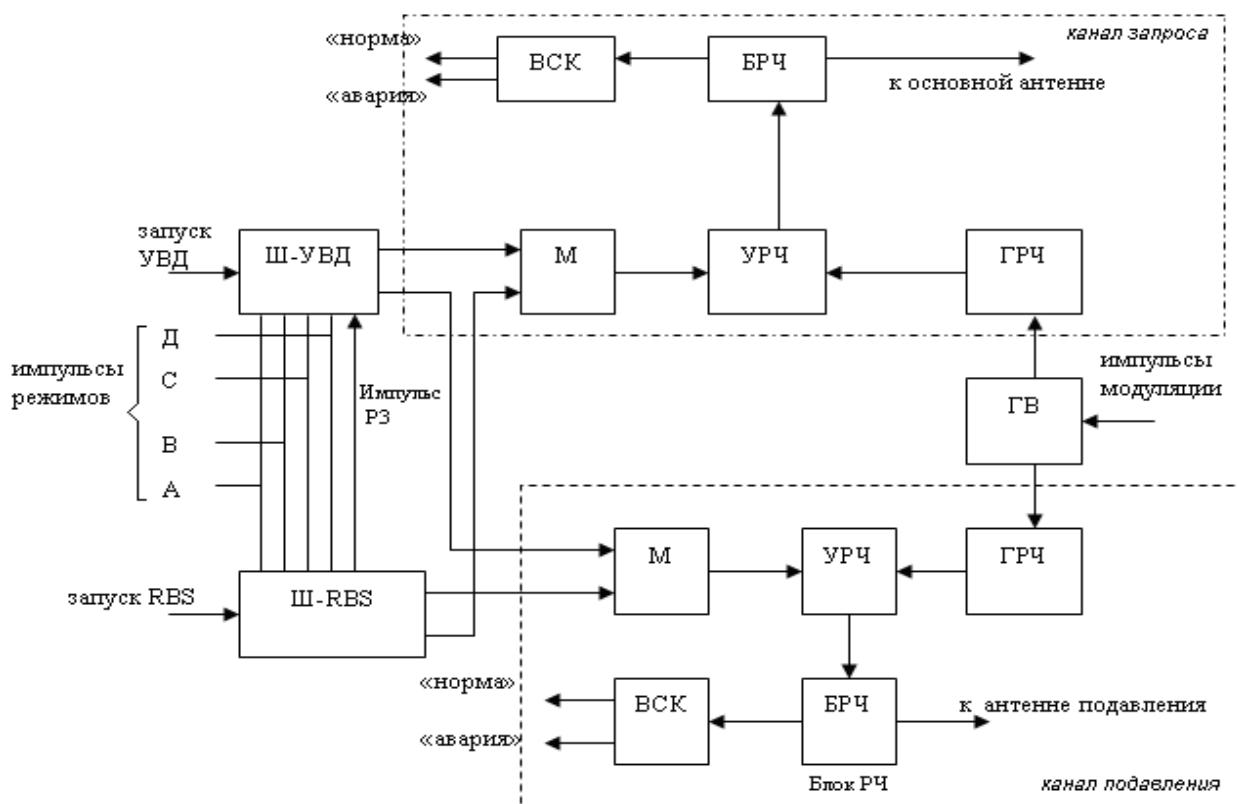


Рис. 3.3. Структурная схема передатчика ВРЛ

Если для генерации сигнала запроса и подавления применяется один и тот же передатчик, а сигналы подавления излучаются отдельной антенной, то для их коммутации необходимо использовать устройство быстрого высокочастотного переключения. Когда ВРЛ работает в соответствии с отечественным и международным стандартом, в ПРД предусматривается два режима запроса - УВД и RBS. Классическая схема передатчиков ВРЛ представляет собой одно – или двухканальное устройство, работающее в режиме RBS и в совмещенном режиме RBS – УВД. В состав ПРД входят шифраторы режимов RBS и УВД (Ш – RBS, Ш – УВД), модуляторы М, генераторы ГРЧ и усилители УРЧ. Все узлы ПРД имеют резерв.

На вход шифраторов УВД и RBS с генератора режимов поступают импульсы запуска и импульсы режимов, обеспечивающие включение соответствующего кода.

Шифратор RBS предназначен для формирования импульсов международных запросных кодов по задержкам, по длительности и амплитуде. Синхронно с импульсом внешнего запуска в шифраторе вырабатывается сетка времени, к которой производится привязка импульсов кода. Импульсы временной сетки следуют с периодом 1 мкс и имеют длительность  $t_i \leq 0,3$  мкс. Импульс P1 и импульс P3, формируемый с помощью линии задержки, после привязки их к сетке времени подаются на каскады, обеспечивающие их рабочую длительность и амплитуду. На выходе шифратора вырабатываются импульсы кода и импульс подавления, который может быть отключен по специальному сигналу.

### *3.4. Аппаратура декодирования и обработки информации ВРЛ*

Входная информация, включающая в себя запросные коды и ответные видеосигналы режимов УВД и RBS, с выходов соответствующих корректирующих видеоусилителей (рис. 3.4) поступает на входы трех дешифраторов. В плате сопряжения осуществляется нормирование служебных сигналов ВРЛ и распределение их на устройства аппаратуры. Для обработки информации от ВС, находящихся на незначительном удалении друг от друга, дешифраторы выполнены как двухканальные, что позволяет производить декодирование сигналов при наложении ответных кодов.

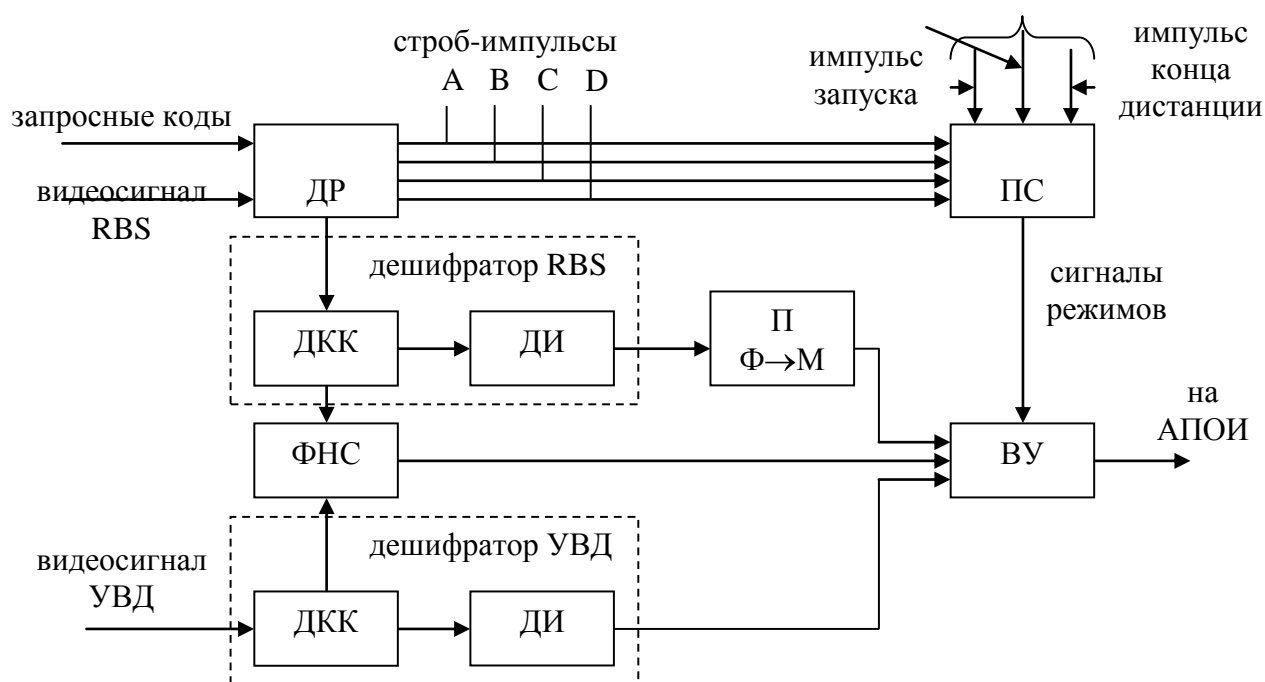


Рис. 3.4. Структурная схема аппаратуры декодирования и обработки:  
 ДР – дешифратор режимов; ПС – плата сопряжения; ДКК – дешифратор координатных кодов; ДИ – дешифратор информации; П<sub>Ф→М</sub> – преобразователь футов – метры; ФНС – фильтр несинхронных помех; ВУ – выходное устройство

Декодированная координатная информация очищается в фильтре от несинхронных помех, а информационная посылка ИКАО о высоте полета, передаваемая в футах, преобразуется в метры и поступает так же, как и информационная посылка УВД, на выходные устройства.

### 3.5. Дешифраторы каналов УВД и RBS

Дешифратор декодирует одиночные и переплетенные ответные коды, образованные в результате наложения двух ответных сигналов близко летящих ВС, исправляет в ответной посылке одиночные и обнаруживает двойные ошибки. Одиночной ошибкой считается стирание или возникновение одного из символов в разряде информационного слова. Двойной ошибкой считаются следующие искажения: стирание одного и возникновение другого символа в разряде, образование двух ошибочных символов, стирание двух символов.

Дешифратор УВД состоит из трех дешифраторов кодов, дешифратора информации, кварцевого калибратора и устройства контроля.

Дешифратор международного канала служит для декодирования координатных и аварийных кодов, декодирования информационного слова и импульса опознавания SPI. Дешифратор международного канала состоит из следующих основных узлов: дешифратора режимов, устройства задержки, дешифратора координатных отметок, дешифратора информации.

При приеме ответных сигналов возможны следующие случаи:

1. Одиночный ответ.

2. Переплетенный ответ. В этом случае дешифратор декодирует две координатных пары и информацию первого и второго ответов. Пересеченные ответы, при которых интервал между кодовыми импульсами кратен 1,45 мкс. В этом случае возможно образование ложных координатных отметок, а также искажение информации.

Дешифратор при обнаружении ситуации пересечения ответных кодов выдает только координатные отметки.

3 Сближенные ответные коды, когда интервал между двумя ответами больше времени работы первого отклика. В этом случае дешифратор обрабатывает оба ответа, как одиночные.

### *3.6. Приемное устройство ВРЛ*

Приемное устройство ВРЛ предназначено для выделения сигнала, принимаемого антенной на фоне шумов, его усиления и детектирования. Кроме того, в приемном устройстве осуществляется подавление сигналов, принятых по боковым лепесткам ДНА (подавление по ответу). В ВРЛ широко используется метод подавления с амплитудно-фазовым преобразованием входных сигналов. Поэтому приемные устройства ВРЛ (рис. 3.5) строятся по двухканальной схеме и содержат два канала прохождения сигнала - суммарный и разностный.

Каждый канал представляет собой схему супергетеродинного приемника с одним преобразованием частоты с помощью единого гетеродина. В состав ВРЛ, как правило, входят приемники отечественного и международного диапазонов, что обуславливается различием частотных диапазонов принимаемых сигналов. В приемных устройствах ВРЛ находят применение специальные схемы автоматической регулировки усиления ШАРУ и ВАРУ. Основные узлы ПРМ охвачены встроенной системой допускового контроля.

Кольцевой мост на входе приемного устройства выполняет функции сложения и вычитания сигналов, принятых основной антенной и антенной подавления. Образовавшийся в результате этого суммарный и разностный сигналы имеют определенную фазовую окраску (различный сдвиг фаз относительно друг друга) в зависимости от направления приема. Усилители



радиочастоты, используемые в ПРМ ВРЛ, представляют собой широкополосные устройства, выполненные на малошумящих элементах.

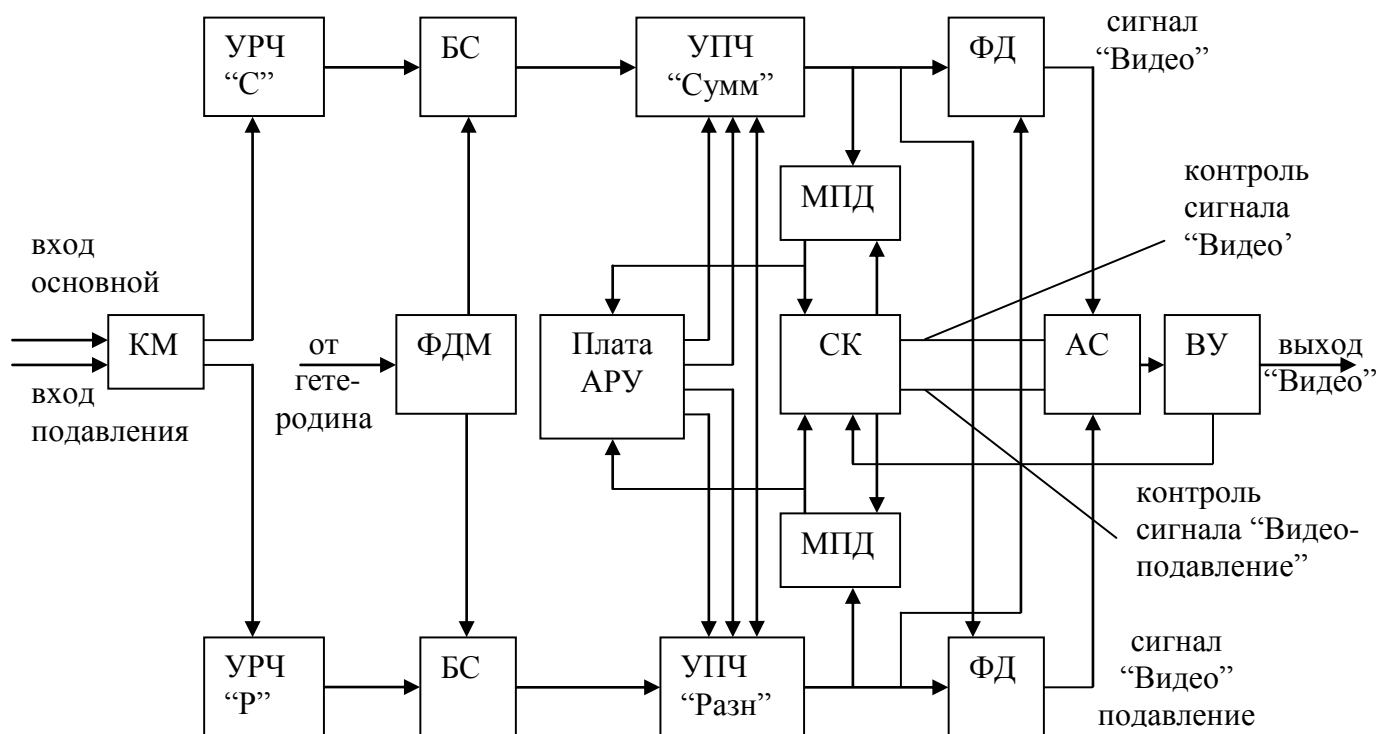


Рис. 3.5. Структурная схема приемного устройства ВРЛ

С выходов УРЧ сигналы поступают на балансные смесители (БС). Фильтр-делитель мощности (ФДМ) выполняет функции делителя мощности сигнала гетеродина и фильтра, обеспечивающего развязку между каналами "Сумма" и "Разность". Суммарный и разностные сигналы промежуточной частоты (60 МГц) подаются на входы двухканального усилителя промежуточной частоты и далее на фазовый детектор (ФД) для осуществления фазоамплитудного преобразования этих сигналов. На выходах ФД соотношение амплитуд сигналов  $U_{\text{осн}}$  и  $U_{\text{под}}$  повторяет соотношение амплитуд сигналов на входе ПРМ. После преобразования частоты основные узлы приемного устройства отечественного и международного диапазонов выполняются идентичными.

Плата АРУ объединяет схему ШАРУ и схему ВАРУ. Схема ШАРУ обеспечивает постоянство коэффициентов усиления каналов "Сумма" и "Разность" приемного устройства. Регулировка проводится по собственным шумам приемного устройства на выходе УПЧ в момент отсутствия ответных сигналов (диапазон нерабочей дальности). На вход схемы ШАРУ поступают постоянные напряжения, пропорциональные уровню шумов на выходе каналов "Сумма" и "Разность". Постоянная составляющая шумов выделяется с помощью минимального пик-детектора (МПД), выходное напряжение

которого, поступающее через плату АРУ на УПЧ соответствующего канала, регулирует коэффициент усиления суммарного и разностного канала. На время приема ответного сигнала схема ШАРУ отключается и включается схема ВАРУ, которая предназначена для выработки регулирующего напряжения, изменяющего во времени коэффициент усиления приемного устройства по заданному закону. Схема ВАРУ обеспечивает независимость амплитуды выходных сигналов приемного устройства от дальности.

Схема контроля (СК) осуществляет контроль коэффициентов усиления каналов “Сумма” и “Разность” как по абсолютной величине, так и относительно друг друга, а также контролирует исправность схемы амплитудного сравнения и видеоусилителя.

В приемном устройстве ВРЛ может возникать целый ряд помех. Наиболее существенные из них следующие:

1. Внутрисистемные помехи в том числе:

а) синхронные помехи, образующиеся при запросе данным запросчиком нескольких ответчиков одновременно и при одновременном приеме ответов нескольких ответчиков на запрос данного запросчика как по основному, так и по боковым лепесткам ДНА;

б) несинхронные помехи, влияние которых проявляется при наличии нескольких запросчиков в одной зоне. Если ВС находится в области, перекрываемой несколькими наземными запросчиками, то ответы любому из них, попадая по боковым лепесткам на вход других ВРЛ, могут привести к возникновению ошибок определения азимута.

Уровень внутрисистемных помех растет с ростом интенсивности воздушного движения.

2. Многолучевое распространение сигнала ВРЛ по каналу “Земля-борт-земля”, связанное с переотражением от земли или от различных отражающих объектов.

В современных ответчиках, работающих по стандарту России для борьбы с внутрисистемными помехами, применяются схемы разрядки потока ответных сигналов, фильтры-аттенюаторы, уменьшающие чувствительность приемника, схемы блокирования приемника после приема запросного сигнала. В наземной аппаратуре ВРЛ используют двухканальные устройства декодирования ответных сигналов, устройства защиты от несинхронных помех, обеспечивают разнос частот повторения запросных сигналов близко расположенных запросчиков. Существенным источником внутрисистемных помех являются боковые лепестки ДНА запросчика.

Современные ВРЛ системы обеспечивают подавление сигнала боковых лепестков как по каналу запроса “земля-борт”, так и по каналу ответа “борт-земля”. В первом случае предотвращаются запуски ответчика боковыми лепестками ДНА, во втором – предохраняется тракт обработки ответных сигналов наземной аппаратуры от несинхронных помех.

Принцип подавления ответных сигналов, принятых боковыми лепестками ДНА ВРЛ, основан на сравнении амплитуд сигналов, поступающих по двум независимым, идентичным каналам приемника от основной антенны и антенны подавления. В случае, если  $U_{\text{осн}} < U_{\text{под}}$ , что соответствует приходу ответной посылки по боковому лепестку основной антенны, ключевая схема запрета запирает выход приемника, реализуя режим подавления. Если  $U_{\text{осн}} > U_{\text{под}}$ , ответная посылка, принятая главным лепестком, после усиления проходит в аппаратуру обработки. Для улучшения условий прохождения сигналов в обоих трактах приемника в современных ВРЛ амплитудные соотношения на входе преобразуются в фазовые (рис. 3.5). На выходе приемника соотношения фаз сигналов  $U_{\text{осн}}$  и  $U_{\text{под}}$  с помощью фазового детектора вновь преобразуются в амплитудное.

Сигналы, принятые основной антенной и антенной подавления, одновременно складываются и вычитаются. Образующиеся при этом суммарный  $U_c$  и разностный  $U_p$  сигналы получают друг относительно друга определенную фазовую окраску, которая в зависимости от направления приема будет иметь одно из двух возможных значений:

- при приеме сигналов в направлении главного лепестка основной антенны угол между векторами суммарного и разностного сигналов будет острым;

- при приеме сигналов в направлении боковых лепестков угол между векторами суммарного и разностного сигналов будет тупым.

Суммарные и разностные сигналы, получившие фазовую окраску в зависимости от направления приема, усиливаются в независимых каналах УПЧ до необходимой величины.

Далее суммарные сигналы промежуточной частоты используются в качестве опорных и подаются в альтернативный канал как опорные.

Для частичной борьбы с синхронными помехами, поступающими на ВРЛ по основному лепестку ДНА, дешифраторы информационных кодов, как правило, выполняются в двухканальном варианте и обеспечивают обработку информации от двух ответчиков одновременно.

Несинхронная помеха подавляется в наземной аппаратуре ВРЛ фильтром несинхронных помех. Работа фильтра основана на случайном характере повторения импульсов помехи. Все сигналы, частота которых отличается от частоты повторения запросных импульсов ВРЛ, отфильтровываются.

Кроме того, в ВРЛ применяется метод адаптивной импульсной ВАРУ, заключающейся в том, что управляющее напряжение ВАРУ запирает тракт лишь в моменты, соответствующие дальностям на которых расположены самолеты, подверженные воздействию переизлученных сигналов.

Значительный эффект в борьбе с факторами, ухудшающими показатели работы существующих ВРЛ, дает введение моноимпульсного метода определения направления, а так же использование индивидуально-адресной системы запроса.

### 3.7. Перспективные системы вторичной радиолокации

Главными направлениями проводимых работ по улучшению технических характеристик ВРЛ, повышению эксплуатационной надёжности являются: повышение вероятности получения информации, что связано с уменьшением синхронных и несинхронных помех, расширение объёма информации, улучшение зоны видимости ВРЛ. Решение этих задач может быть осуществлено повышением эффективности подавления боковых лепестков, оптимизацией системы кодирования запросных посылок, использованием плоской антенной решётки, изменением логики очистки от помех, введением возбуждения частоты следования и другими техническими мероприятиями.

Можно выделить два основных направления совершенствования радиолокаторов с активным ответом. Первое – модернизация существующих ВРЛ, улучшение их тактико-технических и эксплуатационных характеристик. Второе направление – создание принципиально новой ВРЛ, а именно ВРЛ с дискретно-адресным запросом и моноимпульсным методом определения угловых координат.

Использование моноимпульсного метода измерения азимута позволяет значительно уменьшить частоту повторения запросных импульсов, чем улучшается работа ВРЛ, уменьшаются помехи.

Моноимпульсная наземная станция имеет более высокие точностные характеристики, и поэтому может обеспечить меньшие минимумы эшелонирования на большем расстоянии. Так, если значения среднеквадратического отклонения определения координат лучших современных зарубежных обычных ВРЛ по дальности составляет  $\sigma_d=250$  м, по азимуту  $\sigma_a=0,15^\circ$ , то для моноимпульсной станции (МВРЛ)  $\sigma_d=100$  м и  $\sigma_a=0,006^\circ$ .

#### 3.7.1. Моноимпульсные ВРЛ



Моноимпульсный метод радиолокации существенно повышает точность измерения и вероятность достоверной информации. Его суть заключается в извлечении полной информации об угловом положении цели по каждому ответному импульсу.

В этом случае осуществляется одноимпульсная пеленгация ВС в отличие от традиционных методов, когда для определения азимута цели обрабатывается пачка импульсов, принятых главным лепестком ДН антенны. В МВРЛ ответные сигналы от цели

принимаются одновременно двумя независимыми приёмными каналами (в азимутальной плоскости), формируются два независимых сигнала и на их основе осуществляется расчёт азимутального угла цели или угла отклонения ( $\Delta\beta$ ) от равносигнального направления ДН антенны. Наибольшее распространение получили системы, измеряющие угол  $\Delta\beta$  на основе обработки суммарного  $\bar{S}$  и разностного  $\bar{D}$  сигналов. Формирование сигналов происходит с помощью суммарной  $\Sigma$  и разностной  $\Delta$  ДНА. Последующее усиление и преобразование сигналов осуществляется в соответствующих независимых каналах.

Напомним, что указанные ДНА образуются, если осуществить операцию суммирования  $\bar{S} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2$  и вычитания  $\bar{D} = \bar{S}_1 - \bar{S}_2$  сигналов в двух разнесённых на расстояние  $d$  антенн. Разность фаз  $\Delta\varphi$  между сигналами  $\bar{S}_1$  и  $\bar{S}_2$  связана с углом отклонения от равносигнального направления  $\Delta\beta$  выражением:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{d \cdot \sin\Delta\beta}{\lambda}, \quad (3.1)$$

а с отношением комплексных огибающих разностного и суммарного сигналов выражением:

$$\frac{D_o}{S_o} = \operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right). \quad (3.2)$$

С учётом (3.1) и (3.2) можно записать алгоритм оценки угла  $\Delta\beta$ :

$$\Delta\beta = \arcsin\left[\left(\frac{\lambda}{\pi d}\right) \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{D_o}{S_o}\right)\right].$$

Таким образом, учитывая, что информационным параметром при измерении угла является разность фаз  $\Delta\varphi$ , а угловой дискриминатор работает с сигналами  $D$  и  $S$ , МВРЛ можно отнести к фазовой, суммарно-разностной системе.

Особенностью отечественного МВРЛ является совмещение двух стандартов работы. В связи с этим в структурную схему одного комплекта МВРЛ входят: двухдиапазонная моноимпульсная антенная система в виде антенной решётки; приёмные устройства диапазонов 740 и 1090 МГц (блоки СВЧ); процессор ответов УВД; процессор ответов RBS; процессор обработки и выдачи информации (аппаратура обработки информации (АОИ)); передатчик; система контроля и управления. Характер диаграмм направленностей антенны так же, как и алгоритм обработки сигналов, определяется фазовым методом пеленгования сигнала. На рис. 3.6 показана упрощенная структурная схема моноимпульсной вторичной системы, где разделение сигналов суммарного и разностного канала осуществляется в антенно-фидерной системе.

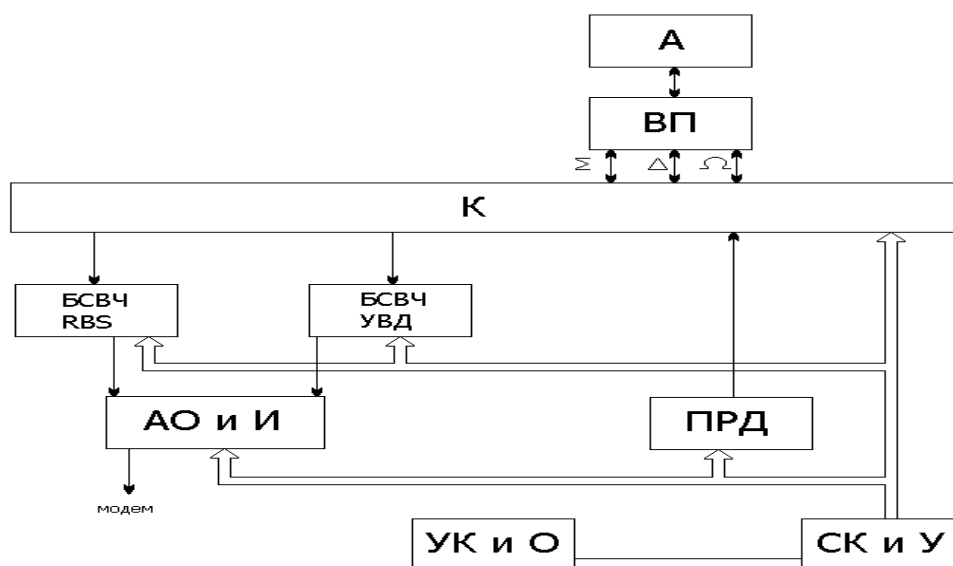


Рис. 3.6. Структурная схема МВРЛ:

А – антенна; ВП – вращающийся переход; К – коммутатор; БСВЧ – блок СВЧ; АО и И – аппаратура обработки и информации; УК и О – устройство контроля и отображения; СК и У – система контроля и управления

Требования к ДНА в вертикальной плоскости могут обеспечить восемь излучателей в столбце, расположенных с шагом  $\Delta l=230$  мм.

Антенна МВРЛ предназначена для формирования в двух частотных диапазонах диаграмм направленности трёх типов – суммарной  $\Sigma$ , разностной  $\Delta$ , подавления  $\Omega$ . К основным характеристикам антенны запросчика можно отнести: ширину суммарной диаграммы направленности в азимутальной плоскости  $\Delta\beta_{\Sigma}$ ; коэффициент усиления  $G_{\Sigma}$ ; уровень нуля и провала разностной ДНА и ДНА подавления; смещения нуля и провала ДНА  $\Delta$  и  $\Omega$ ; крутизну нижней кромки главного лепестка ДН в вертикальной плоскости; уровень боковых лепестков ДНА. Заданным техническим требованиям может удовлетворять плоская антенная решётка с широким использованием крупногабаритных полосковых диаграммообразующих схем.

Для формирования суммарной ДНА с шириной в горизонтальной плоскости на уровне  $-3$  дБ  $\Delta\beta_{\Sigma}=2,5\dots3,5^{\circ}$  с коэффициентом усиления 27 дБ горизонтальный раскрыв решётки должен содержать от 33 до 37 столбцов излучателей одного диапазона с интервалом между столбцами  $\Delta l=250$  мм.

#### *Приёмное устройство МВРЛ*

Оно служит для усиления и преобразования высокочастотных сигналов, принятой суммарной  $\Sigma$  и разностной  $\Delta$  диаграмм направленности антенн, а также по ДНА подавления  $\Omega$ .

Для осуществления селекции сигнала полоса пропускания приёмника выбирается равной  $\Delta f=(10\pm 1)$  МГц. Чувствительность должна быть не хуже чем

-117 дБ/Вт (для аэродромного) и -120 дБ/Вт (для трассового) радиолокатора. На выходе приёмных устройств должны формироваться видеосигналы: сумма  $\Sigma$ , разность  $\Delta$ , подавления и др., выполняющие вспомогательные функции (обнаружения, усиления частотной селекции).

Приёмное устройство (рис. 3.7) в целом можно представить совокупностью ВЧ и НЧ блоков.

Блок антенных усилителей (БАУ) располагается на антенной платформе. В нём происходит линейное усиление сигналов по трём каналам  $\Sigma$ ,  $\Delta$ ,  $\Omega$ .

В блоке высокой частоты (БВЧ) сигналы усиливаются, фильтруются, преобразуются в сигналы промежуточной частоты и передаются на два многофункциональных усилителя (УМФ). В УМФ измерения поступают сигналы  $\Sigma$  и  $\Delta$ , а в УМФ подавления –  $\Sigma$  и  $\Omega$ . Многофункциональные усилители измерения и подавления выполнены идентично и представляют собой аналоговые процессоры. Характеристики приёмного устройства в значительной степени влияют на точностные характеристики МВРЛ.

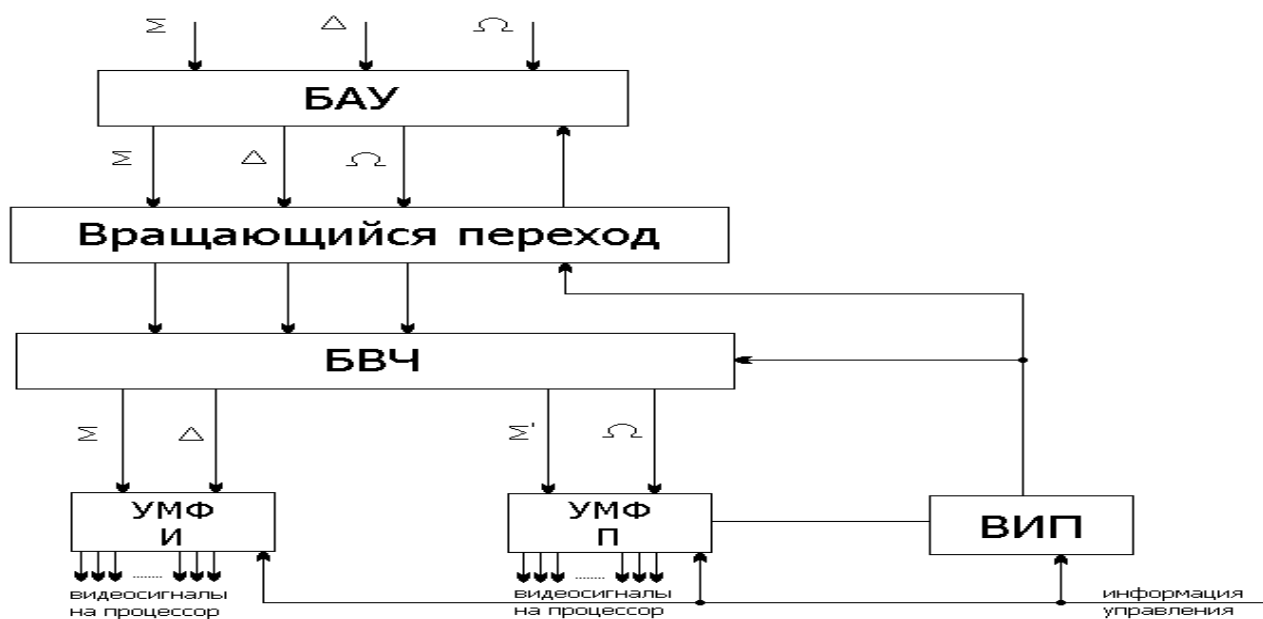


Рис. 3.7. Структурная схема приемника МВРЛ

В первую очередь это относится к стабильности коэффициентов передачи линейных частей ПРМ и оснований логарифмов логарифмических усилителей.

Поскольку информационным параметром сигнала является фаза, то кроме амплитудной стабильности важно обеспечить фазовую идентичность и стабильность каналов ПРМ. Питание схем приемника осуществляется от вторичных источников питания (ВИП).

### Аппаратура обработки информации.

Аппаратура обеспечивает полный цикл моноимпульсной, первичной и вторичной обработки радиолокационной информации. Для существенного повышения достоверности полученной информации АОИ обеспечивает оперативное управление параметрами приёмных и передающих устройств, оптимизацию приёма полезных сигналов на фоне шумов и шумоподобных помех и подавления ложных сигналов.

Функциональная схема аппаратуры обработки информации показана на рис. 3.8, а фрагмент схемы процессора обработки одиночного импульса показан на рис. 3.9.

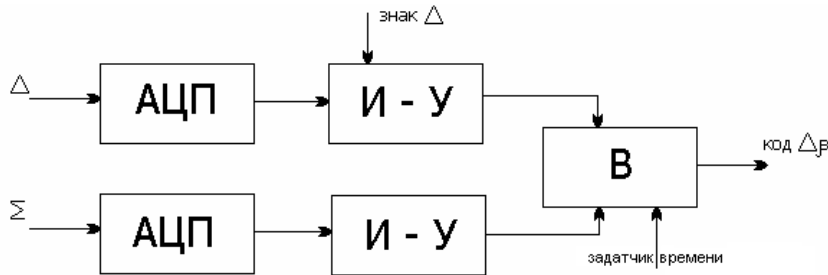


Рис. 3.8. Функциональная схема аппаратуры обработки информации

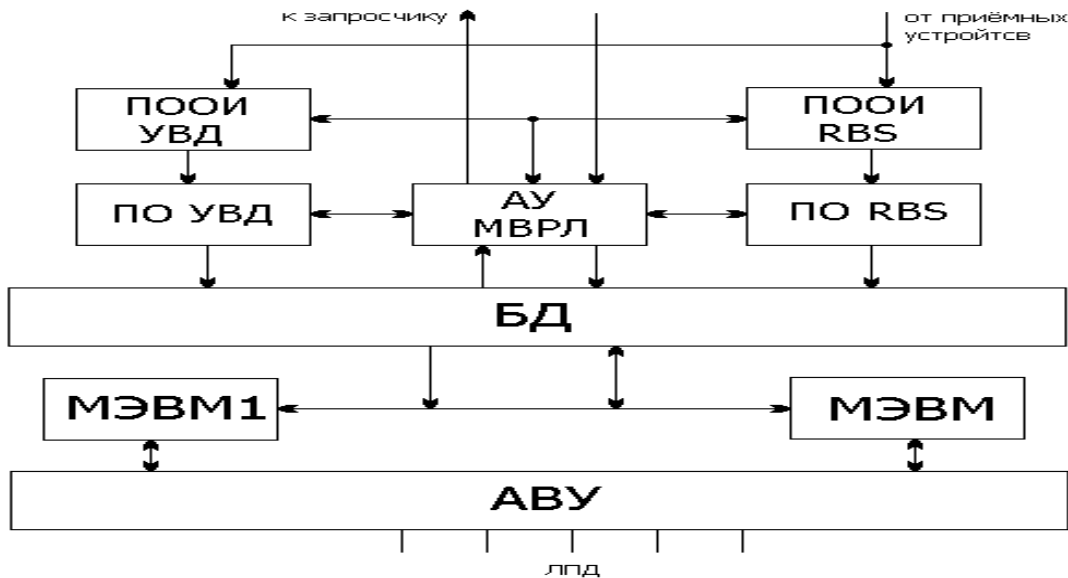


Рис.3.9. Структурная схема устройства обработки одиночного импульса

С выхода приёмного устройства (рис. 3.9) протектированные ответные сигналы поступают на процессор моноимпульсной обработки одиночных импульсов (ПООИ) УВД и RBS. Здесь с помощью информационных сигналов  $\Sigma$  и  $\Delta$  вычисляются знак и угол отклонения цели от равносигнального направления.



Далее измеренные значения углов в цифровом виде обрабатываются в процессорах ответов (ПО) УВД и RBS.

Процессоры ответов обнаруживают ответы при получении импульсов координатного кода, декодируют служебные и информационные импульсы, усредняют амплитуду и  $\Delta\beta$  по всем принятым ответам и пересылают их в буфер данных (БД). Благодаря двухканальной схеме построения процессоры ответов, декодируя координатные и ключевые УВД импульсы, разделяют два наложенных ответа. Основное назначение БД состоит в селекции синхронных ответов по назначенному критерию (то есть очистка от несинхронных помех) и последующей передаче информационных сообщений через микро ЭВМ и адаптер внешних устройств (АВУ) в линию передачи данных (ЛПД) АС УВД. Две микро ЭВМ, объединённые в единый вычислительный комплекс, осуществляют первичную и вторичную обработку принимаемых пакетов ВС.

Первичная (внутрипакетная) обработка включает измерения азимута, дальности, бортового номера, высоты и т.д.

Вторичная обработка (по сопровождению цели) обеспечивается фильтром межобзорной корреляции, позволяющей увязать треки, т.е. осуществить сопровождение всех ВС в зоне МВРЛ и подавить ложные ответы, возникающие вследствие переотражений сигналов запроса и ответа от местных предметов. Адаптер управления МВРЛ формирует сигналы запроса и подавления для передатчика, сигналы регулировки и синхронизации работы аппаратуры.

Передающее устройство моноимпульсного ВРЛ предназначено для формирования высокочастотных кодированных импульсных сигналов запроса и подавления в различных режимах. Передающее устройство с учётом перспектив использования должно быть рассчитано на передачу ВЧ энергии средней мощности  $P_{cp}=200$  Вт при импульсной  $P_{и}=4000$  Вт.

#### *Система ВРЛ с дискретно-адресным запросом*

В 1987 г. ИКАО приняло поправку 67, в которой определены требования стандарта ИКАО на S-адресный режим работы системы ВРЛ, т.е. режим с дискретно-адресным запросом.

Реализация режима S требует обеспечить слежение за местоположением летательных аппаратов с адресными ответчиками и моноимпульсное измерение их азимутов.

Принципиальным отличием дискретно-адресной системы вторичной радиолокации (ДАС ВРЛ) с индивидуальным адресным запросом является возможность запрашивать не все ВС, находящиеся в зоне действия ВРЛ, а индивидуально, используя специальный адресный запрос. Помимо существенного снижения уровня внутрисистемных помех, ДАС ВРЛ обеспечивает возможность автоматизированного обмена командами и текущей информацией между АС УВД и ВС за счёт использования канала передачи цифровой информации «Земля-борт-земля». Использование дискретного адреса при наблюдении позволяет избежать одновременного запроса всех целей,

находящихся в пределах луча ДНА, а распределение запросов по времени приводит к исключению случаев наложения ответных сигналов близко расположенных самолётов.

Для дискретного запроса самолётов, оборудованных адресными ответчиками, запросчик ведёт список данных идентификации и координат, наблюдаемых в своей зоне действия ВС. Для того, чтобы самолёт мог быть дискретно запрошен, он должен сопровождаться запросчиком. Для обнаружения целей, ещё не взятых на сопровождение, каждый запросчик посылает сигналы общего вызова, на которые самолёты, оборудованные адресными ответчиками, отвечают индивидуальным адресом. Если ответ на запрос не принят, запросчик имеет возможность перезапросить самолёт, пока он находится в луче диаграммы направленности. Задачи, решаемые ДАС ВРЛ, привели к использованию новых для вторичной радиолокации форм сигналов и методов модуляции.

Использование моноимпульсного приёма позволяет снизить скорость опроса, что в сочетании с улучшенной обработкой ответных сигналов в режиме RBS/УВД существенно уменьшает их искажение. ДАС ВРЛ обеспечивает передачу данных в направлении «Земля-борт» и «борт-Земля».

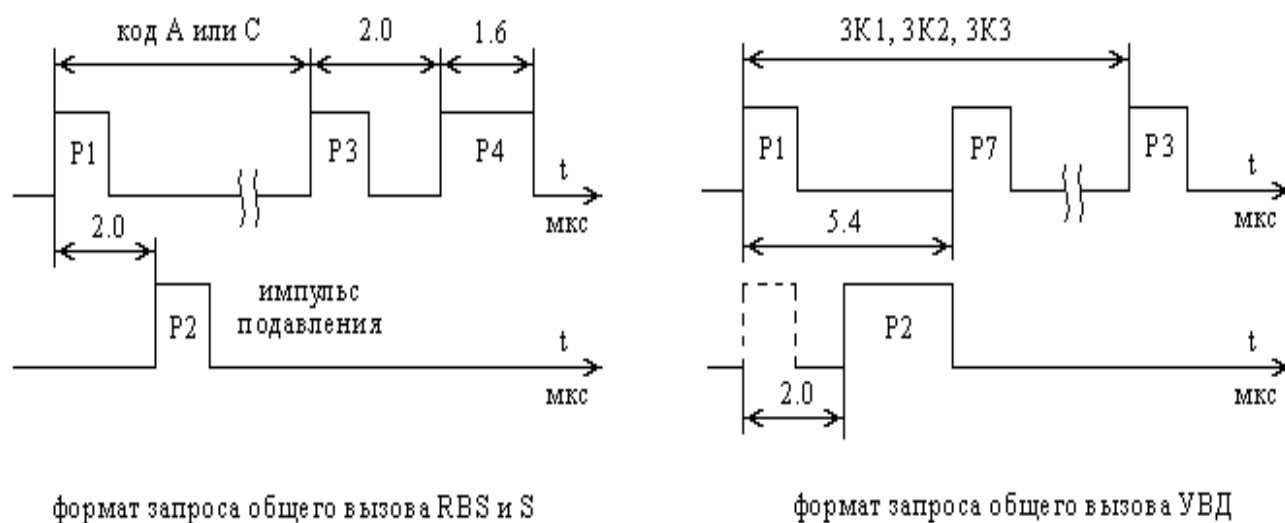


Рис. 3.10. Структура запросных сигналов ДАС ВРЛ

Информационный канал ДАС ВРЛ используется для передачи трёх видов сообщений: данных наблюдений, стандартных сообщений, удлиненных посылок. Данные наблюдений являются частью каждого адресного запроса и ответа и содержат информацию о стандартных режимах и УВД (о высоте, бортовом номере и т.д.). Стандартные сообщения (56 бит) и удлиненные сообщения (80 бит x16) передаются с ведома и по указанию запросчика и являются основными носителями информации. Существуют два типа сигналов, с помощью которых ДАС ВРЛ организует наблюдение за

самолётами: запрос общего вызова (рис. 3.10) и адресный запрос (запрос в режиме S –рис. 3.11).

Для обеспечения работы ДАС ВРЛ с ответчиками всех типов используются сигналы общего запроса, которые позволяют обеспечить запрос безадресных ответчиков и первоначальное индивидуальное опознавание адресных ответчиков.

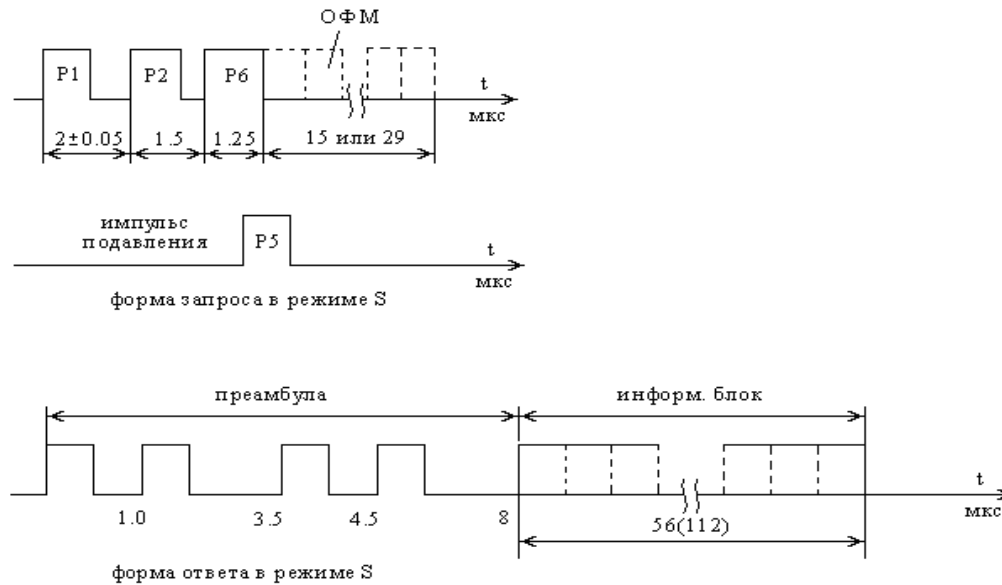


Рис. 3.11. Формат адресного запроса и ответа на адресный запрос

Характерным признаком общего запроса по сравнению с обычным в существующей системе ВРЛ является наличие дополнительного импульса P4 длительностью 1,6 мкс в режиме общего вызова RBS и S и импульса P7 в режиме общего вызова УВД и S. При наличии этих импульсов адресные ответчики формируют адресный ответ. При их отсутствии адресный ответчик работает как обычный ответчик.

Запрос и передача информации в канале «земля-борт» осуществляются с помощью кодово-импульсной относительно-фазовой модуляции (ОФМ) несущей. В канале «борт-земля» модуляция кодово-импульсная. Формат адресного запроса (рис. 3.11) состоит из ключа и блока данных, содержащего 56 или 112 разрядов. Ключ содержит два импульса P1 и P2 с интервалами в 2 мкс.

Импульсы P1, P2 и P5 аналогичны по форме импульсам, используемым в существующей системе ВРЛ. Импульсы P1 и P2 вызывают запуск ответчиков существующей (безадресной) системы ВРЛ на  $(35 \pm 10)$  мкс, что предупреждает их произвольное срабатывание. Импульс блока данных имеет внутреннюю относительную фазовую модуляцию (ОФМ). Длительность импульса  $\tau$  равна 15 или 29 мкс. Модуляция фазы высокочастотной несущей обеспечивает скорость передачи данных 4 Мбит/с. Такая скорость позволяет передать 112-битовое сообщение за время, соответствующее блокировке обычных ответчиков. Первое опрокидывание фазы в импульсе P6 является опорным поворотом синхрофазы. Импульс подавления P5 боковых лепестков

ДАС ВРЛ, который передаётся с помощью антенны, центрируется относительно момента опрокидывания синхрофазы. Появление импульса Р5 при достаточной амплитуде заменяет опрокидывание синхрофазы Р6 в адресном ответчике, в результате чего информация не декодируется.

Сигналы адресного ответа ДАС ВРЛ состоят из четырёхимпульсной преамбулы, сопровождаемой последовательностью импульсов, которые содержат 56 или 112 битов информации. Двоичные данные передаются со скоростью 1Мбит/с, причём интервал 1мкс соответствует каждому биту. Такая скорость передачи данных по каналу «борт-земля» позволяет генерировать ответные импульсы в режимах RBS/УВД и S одним передатчиком. Если значение бита равно единице, то импульс длительностью 0,5 мкс передаётся в первой половине интервала, если нулю, то – во второй.

Четырёхимпульсный ключ позволяет легко различить адресный ответ от ответа режима RBS/УВД и разделить их при взаимном наложении. Выбор кодово-импульсной модуляции для передачи данных по каналу ответа позволяет обеспечить высокую помехоустойчивость к мешающим сигналам RBS/УВД, а также способствует получению постоянного числа импульсов в каждом ответе, гарантирующем достаточную энергию для точного моноимпульсного приёма.

Увеличение точности определения координат, получение дополнительной информации о параметрах движения самолёта, высокая оперативность позволяет в конечном итоге повысить основные показатели эффективности УВД: безопасность, регулярность, экономичность полётов. Широкие перспективы использования ДАС ВРЛ обусловлены высокой надёжностью и большой пропускной способностью цифровой линии передачи данных. Кроме того, режим S используется как основной при построении системы предупреждения столкновений TCAS.

### 3.7.1. Вторичная РЛС «ЛИРА-ВА»



РЛС «Ли́ра-ВА» представляет собой вторичный радиолокатор, встраиваемый в радиолокационные комплексы (РЛК) и предназначенный для сбора радиолокационной информации (РЛИ) о воздушной обстановке от бортовых ответчиков воздушных судов (ВС) по стандартам ИКАО и России.

ВРЛ обеспечивает запрос, получение и передачу информации, выдаваемой бортовыми ответчиками ВС в соответствии с нормами ИКАО и нормами ГОСТ 21800-89 и ГОСТ Р 51845-2001.

### Технические характеристики ВРЛ «Лира-ВА»

Зона обзора ВРЛ во всех режимах при нулевых углах закрытия с вероятностью обнаружения  $P_{обн} = 0,95$ , вероятностью ложных тревог по собственным шумам приемника  $P_{лт} = 10^{-6}$  и частоте запросных сигналов не более 300 Гц составляет:

- минимальную дальность обнаружения, км, не более 1,0;
- максимальную дальность обнаружения, км, не менее 450;
- максимальную высоту обнаружения, м, не менее 20000;
- максимальный угол места, град, не менее 45;
- минимальный угол места, град, не более 0,25.

Среднеквадратическая ошибка измерения координат ВС, без учета ошибок приемоответчика, не более:

- по азимуту (УВД/RBS), град 0,12/0,1;
- по дальности, м 50.

Разрешающая способность не хуже:

- по азимуту, град 3,5;
- по дальности, м 150.

Максимальная импульсная мощность на выходе шкафа ВРЛ не менее 1,8 кВт.

Чувствительность по срабатыванию приемных трактов каналов УВД и RBS по входу приемника ВРЛ не хуже минус 110 дБ/Вт.

Автоматизированная система управления и контроля (АСКУ) обеспечивает:

- перевод аппаратуры в режим местного управления;
- автоматическую и ручную реконфигурацию комплектов аппаратуры;
- установку различных режимов чередования запросных кодов, параметров сигнала внутреннего запуска (частота, возбуждения), уровня выходной мощности передающего устройства, параметров ВАРУ;
- передачу информации о техническом состоянии аппаратуры и индикацию ее на местной панели управления.

Электропитание ВРЛ от сети 220 В 50 Гц и  $\pm 27$  В.

Время готовности при включении ВРЛ не более 1 мин.

Конструкция и аппаратное построение ВРЛ обеспечивают:

- срок службы, лет, не менее 15;
- ресурс, ч, не менее 120000;
- среднюю наработку на отказ, ч, не менее 20000;
- среднее время восстановления, мин, не более 30;
- гарантийный срок эксплуатации два года.

Структурная схема ВРЛ «Лира-ВА» приведена на рис. 3.12.

В состав аппаратуры ВРЛ входят:

- антенно-фидерная система;
- шкаф приемо-передатчика;

– контрольный ответчик "Лира-КО".

Контрольный ответчик «ЛИРА-КО» предназначен для проверки работоспособности ВРЛ по эфиру.

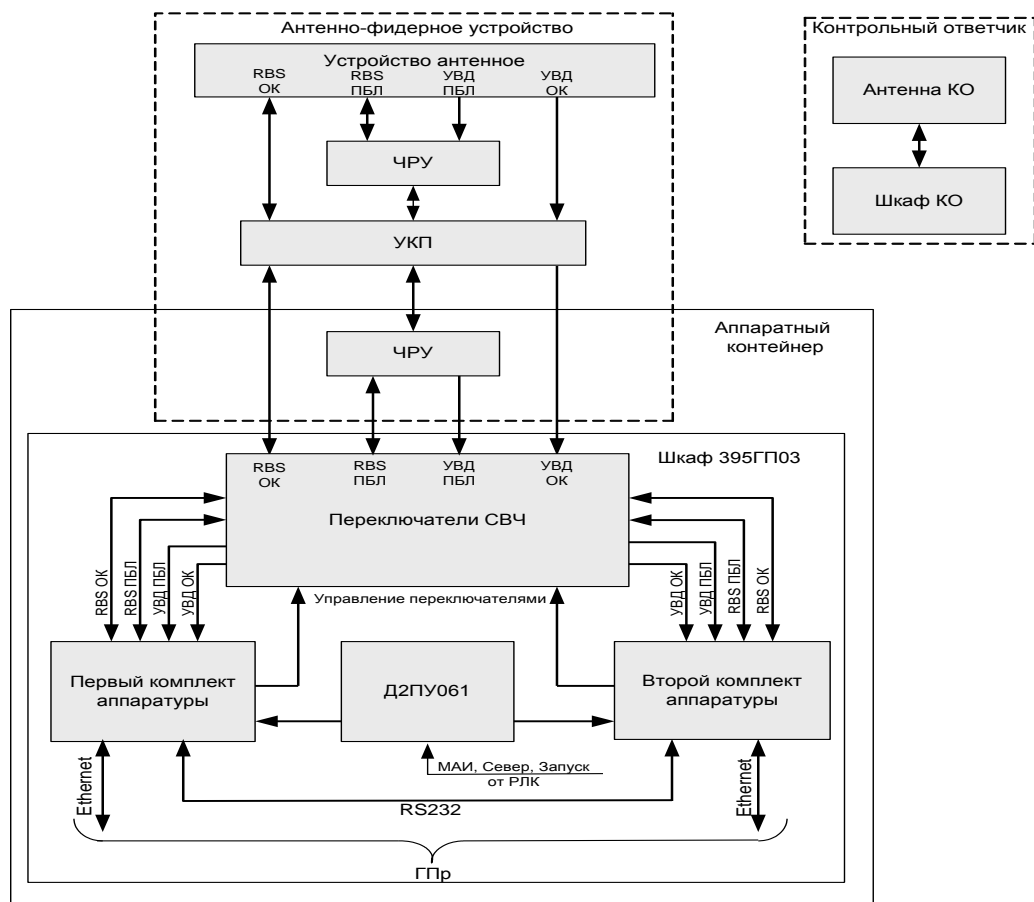


Рис. 3.12. Структурная схема ВРЛ «Лира-1»

### 3.7.4. Моноимпульсный вторичный радиолокатор «Крона» 1. Общие сведения



Моноимпульсный вторичный радиолокатор (МВРЛ) «КРОНА» изготовлен с использованием прогрессивных технологий:

- высокочастотные узлы приемника, передатчика выполнены по тонкопленочной технологии в герметичных конструкциях, заполненных инертным газом;
- излучатели и устройства диаграммообразующей системы антенны выполнены на полосковых линиях, заполненных диэлектриком;

- кабели между антенной и колонной привода, между колонной привода и запросчиком, внутри антенной системы изготовлены с использованием методов, исключаящих пайку разъемов к кабелям ВЧ;

- в аппаратуре обработки используются сигнальные процессоры, ПЛИСы и высокопроизводительные ЭВМ фирмы Advantech;

- высокочастотные и механические конструкции, работающие на открытом воздухе, имеют конструктивное исполнение, устойчивое к суровым условиям окружающей среды (проверены в условиях северных, южных морей, а также пустынь Центральной Азии).

В МВРЛ «КРОНА» используется моноимпульсная технология, полностью твердотельный запросчик и антенна с большой вертикальной апертурой. Система имеет возможность модернизации до режима S через доукомплектование аппаратуры и дополнение программного обеспечения. При этом изменения во всей аппаратуре не требуется.

### *Технические характеристики*

1. ВРЛ формирует запросные сигналы в режимах RBS и УВД в соответствии с требованиями ИКАО и ГОСТ 21800-89.

2. ВРЛ обрабатывает ответные сигналы в режимах RBS и УВД.

3. Зона обзора:

- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| - минимальный угол места  | не более $0,5^{\circ}$ ; |
| - максимальный угол места | не менее $45^{\circ}$ ;  |
| - минимальная дальность   | не более 1 км;           |
| - максимальная дальность  | не менее 400 км.         |

Указанная зона обеспечивается при нулевых углах закрытия и уровне ложных тревог  $P_{л.т.} = 10^{-6}$ .

4. Рабочие частоты:

- |                        |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|
| - по каналу запроса    | $1030 \pm 0,1$ МГц (в УВД и RBS); |
| - по каналу ответа RBS | $1090 \pm 3$ МГц;                 |
| - по каналу ответа УВД | $740 \pm 1,8$ МГц.                |

Поляризация на частотах 1030 и 1090 МГц – вертикальная, на частоте 740 МГц – горизонтальная.

5. Вероятность получения дополнительной информации при нахождении ВС в главном лепестке диаграммы направленности антенной системы (ГЛДН) и при отсутствии мешающих запросных сигналов – не менее 0,98.

6. Среднеквадратическая ошибка измерения координат на выходе цифрового канала:

- |                |                     |
|----------------|---------------------|
| - по дальности | $\leq 50$ м;        |
| - по азимуту   | $\leq 4,8$ для RBS; |
|                | $\leq 6$ для УВД.   |

7. Разрешающая способность:

- |                |                            |
|----------------|----------------------------|
| - по дальности | $\leq 100$ м в режиме RBS; |
|----------------|----------------------------|

- $\leq 150$  м в режиме УВД;
- по азимуту  $\leq 0,6^0$  в режиме RBS;
- $\leq 0,9^0$  в режиме УВД.

8. Импульсная мощность по каналам запроса и подавления  $\geq 2$  кВт.
9. Чувствительность приемников суммарного, разностного каналов и каналов подавления не хуже -116 дБ/Вт.
10. Антенная система имеет следующие параметры:
  - уровень боковых лепестков диаграмм направленности суммарного и разностного каналов  $\leq -24$  дБ;
  - ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости антенны суммарного канала на  $f=1090$  МГц  $\leq 3^0$ ; на  $f=740$  МГц  $\leq 3,5^0$ .
11. Скорость вращения: 6 об/мин для трассового и 15 об/мин для аэродромного вариантов МВРЛ.
12. Частота повторения импульсов 150...300 Гц.
13. Антенная система обеспечивает работу ВРЛ при скорости ветра до 30 м/с с обледенением до 5 мм и без обледенения до 40 м/с.
14. Питание: 3 фазы 380 В, частота 50 Гц по двум независимым кабелям:
  - $P_{\text{потр.}} \leq 20$  кВт – полная потребляемая мощность с подогревом и кондиционерами;
  - $P_{\text{потр.}} \leq 6$  кВт – потребляемая мощность радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) с вращением антенны.
15. Среднее время наработки на отказ  $\geq 4000$  часов.

### *Принцип работы МВРЛ «КРОНА»*

Передатчик вырабатывает в/ч сигналы по двум выходам: в каналы запроса и подавления ( $\Sigma$  МД и  $\Omega$  ОД), которые через коммутируемые тракты ВЧ и вращающиеся переходы поступают на антенну и излучаются в пространство (рис. 3.13).

Антенная система (АС) – плоская фазированная антенная решетка (ФАР) с излучателями. При излучении АС формирует на  $f=1030$  МГц две диаграммы направленности (ДН): суммарную ( $\Sigma$  МД) и подавления ( $\Omega$  МД), в которых передаются запросы на самолетные ответчики УВД и RBS.

При приеме АС формирует 3 ДН: суммарную  $\Sigma$ , разностную  $\Delta$  и подавления  $\Omega$ , на двух частотах - для режимов RBS и УВД. Масса антенны  $\leq 450$  кг. Размеры  $800 \times 190 \times 10$  см.

Антенная система представляет 2 линейные антенные решетки в горизонтальной плоскости размером  $780 \times 150$  см. АС состоит из 34 элементов излучения, каждый из которых представляет собой плоский вертикальный модуль 1,5 м длиной.

Принятые антенной системой от ответчиков воздушных судов сигналы ОД и МД по соответствующим каналам в/ч трактов, вращающиеся переходы



поступают на переключатели комплектов, которые коммутируют принятые сигналы на входы приемников ОД и МД основного комплекта.

В приемнике ПРМ МД производится обработка сигналов в диапазоне RBS (1090 МГц), а в ПРМ ОД – в диапазоне УВД (740 МГц). В приемниках осуществляется усиление сигналов, преобразование на промежуточную частоту ( $f_{пр}$ ), детектирование, обнаружение, подавление сигналов принятых по боковым лепесткам ДНА (БЛДН) суммарного канала, преобразование сигналов суммарного и разностного в код отклонения от равносигнального направления (РСН) для определения азимута ВС. Сигналы обнаружения, цифровой код амплитуды  $\Sigma$  канала и цифровой код величины отклонения от РСН поступают в процессор ответов (ПрО), где происходит первичная обработка РЛИ.

Полученная информация с ПрО поступает на процессор вторичной обработки (ПВО или ГПР – главный процессор радиолокатора).

ПВО осуществляет:

- сравнение вновь принятой РЛИ с полученной на предыдущих обзорах;
- фильтрацию ложной радиолокационной информации;
- формирование информационных кодограмм и передачу их потребителям;
- формирование кодов управления усилением приёмников (ВАРУ) и кодов управления мощностью передатчика.

Информация со шкафа запросчика через модемы по ТЛФ кабелям связи передаётся потребителям (в АС УВД и терминалы).

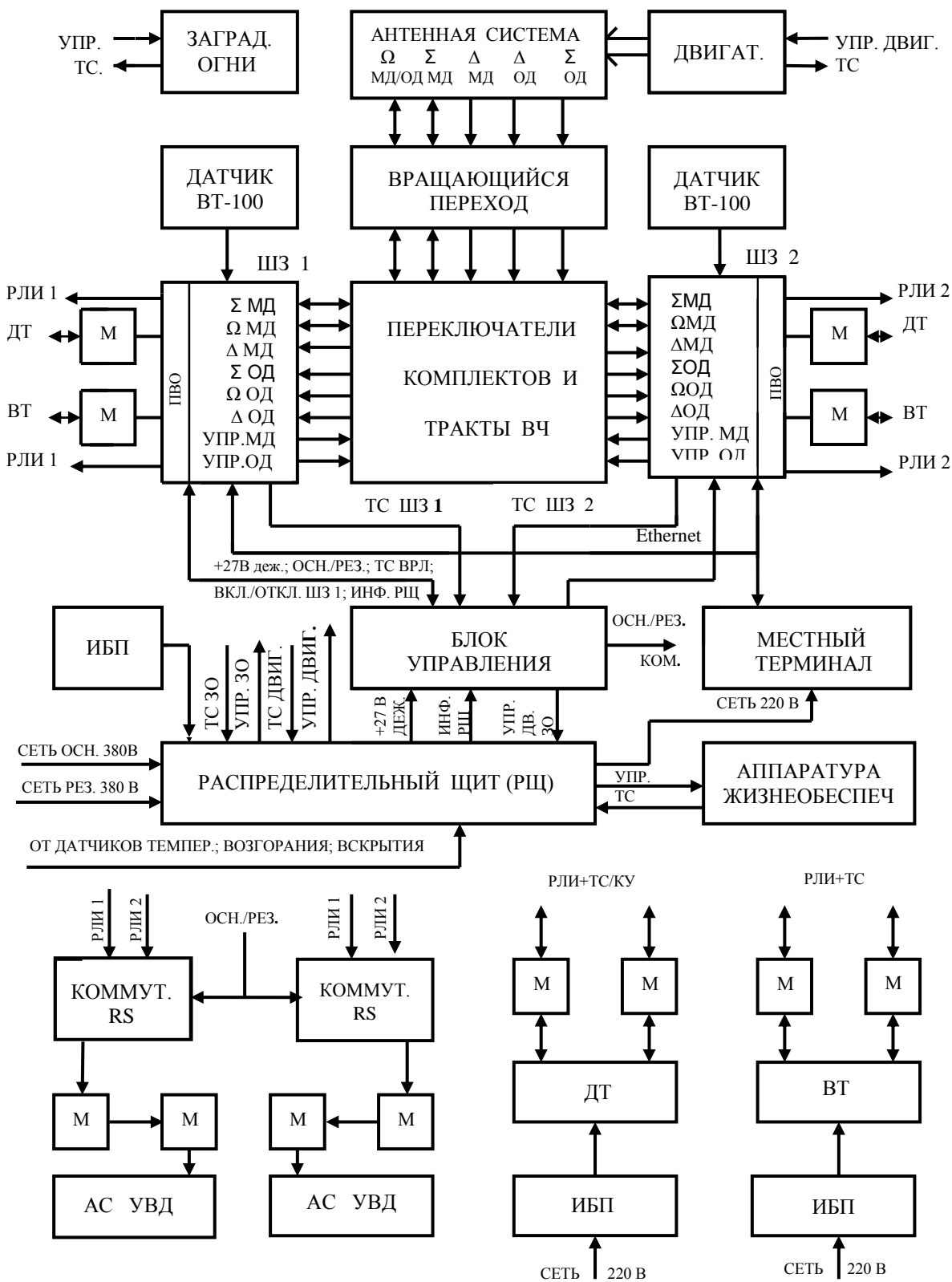


Рис. 3.13. Структурная схема МВРЛ «КРОНА»

Передатчик МВРЛ имеет 3 режима работы:  
 1 - режим совмещенного запроса УВД и RBS;

2 - режим отдельных запросов УВД и RBS;

3 - режим совмещенного запроса с запросом скорости.

В каждом шкафу запросчика имеется по 2 приемника – ПРМ ОД и ПРМ МД. Структура построения обоих приемников одинаковая. Отличаются они только входной частотой. Для ПРМ ОД  $f_c=740$  МГц, для ПРМ МД  $f_c=1090$  МГц. В каждом приемнике имеется 3 независимых, развязанных между собой канала: суммарный ( $\Sigma$ ), разностный ( $\Delta$ ) и подавления ( $\Omega$ ). Приемники усиливают, преобразовывают сигналы и решают задачи первичной обработки сигналов. Их технические характеристики следующие:

- промежуточная частота  $f_{пр} = 60$  МГц;
- полоса пропускания  $\Pi = 8$  МГц (на уровне 3 дБ);
- динамический диапазон  $D \geq 70$  дБ;
- чувствительность приемника не хуже -116 дБ/Вт;
- коэффициент шума  $K_{ш} \leq 4$  дБ;
- избирательность по зеркальному каналу ( $\geq 60$  дБ).

*Устройство контроля ПРМ (УК)* построено на основе микро-ЭВМ и обеспечивает:

- контроль исправности узлов ПРМ и передачу результатов контроля на контроллер АСК;
- управление модулем контрольного генератора;
- контроль чувствительности суммарного, разностного каналов и канала подавления;
- контроль идентичности (линейности, крутизны передаточных характеристик) суммарного и разностного каналов и их коррекцию на ОЗУ;
- реализацию канала преобразования разности амплитуд  $\Sigma$  и  $\Delta$  каналов в угловое отклонение от РНА ( $\Delta\beta$ ) при контроле.

Все контрольные измерения производятся на нерабочей дальности локатора после подачи импульса «ИМП. КОНТР», проходящего из секции синхронизации через устройство сопряжения ПРМ.

*Устройство сопряжения ПРМ (УС)* принимает сигналы синхронизации: ЗАП. ПрО (НД УВД, НД RBS), ИМП. КОНТР., СЕВЕР, ЗАП. ВАРУ и стробы режимов запроса БН, ТИ, ТрС, А, С. В УС 14-разрядный двоичный код азимута преобразуется в 8-разрядный двоичный код.

#### 4. Аэродромные радиолокационные комплексы

АРЛК "Урал" предназначен для использования в качестве источника радиолокационной информации о воздушной обстановке в зоне аэропортов.

В состав АРЛК «Урал» входят твердотельный первичный радиолокатор (ПРЛ) S диапазона и встраиваемый канал моноимпульсного вторичного радиолокатора (МВРЛ), антенны которых располагаются на одном опорно-поворотном устройстве и обеспечивают одновременный синхронный круговой обзор пространства.

### Техническое описание АРЛК «УРАЛ»



Для обеспечения требуемой зоны обзора и повышения эффективности функционирования в условиях пассивных помех в АРЛК «Урал» используется двулучевая антенна (ВЛ и НЛ), которая обладает высоким коэффициентом усиления и высокой крутизной нижней кромки диаграммы направленности.

В каждом канале установлены управляемые поляризаторы с возможностью выбора линейной или круговой поляризации, что позволяет организовать обработку метеорологической информации.

В антенном модуле, который устанавливается на мачте высотой до 32 метров, располагаются высокочастотные элементы приемных устройств каналов ПРЛ и

МВРЛ. Антенный модуль связан с аппаратным контейнером волноводно-фидерным трактом.

Передающее устройство модульное и выполнено на транзисторных усилителях мощности с воздушным охлаждением. С целью увеличения дальности действия РЛК имеется возможность установки 8, 12 или 16 модулей.

Для обеспечения требований по минимальной дальности, точности и разрешающей способности по дальности в АРЛК «Урал» для зоны ВЛ используется короткий (1мкс) зондирующий монохроматический импульс. В зоне НЛ для обеспечения максимальной дальности обнаружения используется цифровое формирование и сжатие сложного зондирующего импульса с частотной модуляцией (75 мкс).

Надежность работы обеспечивается резервированием всех модулей, при этом обнаружение неисправностей и переключение осуществляется встроенной системой контроля и управления.

РЛК «Урал» не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала, информация о правильности функционирования всех подсистем транслируется на терминал дистанционного контроля и управления (ТДУ). На мониторе ТДУ также отображается как аналоговая, так и цифровая радиолокационная информация, передаваемая на КДП.

### Технические характеристики

#### Основные характеристики ПРЛ

|  |                 |
|--|-----------------|
| Частотный диапазон   | 2700 - 2900 МГц |
| Инструментальная дальность обнаружения по цели с ЭОП более 15 м <sup>2</sup> | ≥100 км         |

|  |  |
|--|--|
| Минимальная дальность обнаружения                        | ≤1,5 км                                      |
| Среднеквадратичная ошибка определения координат не более | 0,15° / 80 м                                 |
| Разрешающая способность не более                         | 2° / 225 м                                   |
| Антенна  |  |
| Коэффициент усиления антенны                             | 34 / 33 дБ                                   |
| Ширина диаграммы направленности в азимутальной плоскости | 1,3°   |
| Диаграмма направленности в вертикальной плоскости        | от 0,3° до 45° ( <i>cosec</i> <sup>2</sup> ) |
| Поляризация  | линейная / круговая                          |
| Передатчик   |  |
| Число усилительных модулей передатчика                   | 8 / 16                                       |
| Импульсная мощность твердотельного передатчика           | 7 / 14 кВт                                   |
| Длительность импульса                                    |  |
| Короткого  | 1 мкс  |
| Длинного   | 75 мкс                                       |
| Коэффициент сжатия импульса                              | 75   |
| Сигнальный процессор                                     |  |
| Цифровое сжатие ЛЧМ сигналов                             | +  |
| Боковые лепестки при сжатии                              | < 50 дБ                                      |
| Подпомеховая видимость                                   | > 45 дБ                                      |

| Характеристики МВРЛ-СВК    | АТС RBS         | ВРЛ<br>УВД |
|----------------------------|-----------------|------------|
|                            | трасса/аэродром |            |
| Зона действия              |                 |            |
| максимальная дальность, км | 465/250         |            |
| минимальная дальность, км  | 1,0             |            |
| максимальная высота, км    | 20/12           |            |
| угол места, град           | 0,3 ... 45      |            |
| Количество целей           |                 |            |
| за обзор                   | 400/200         |            |
| в луче                     | 30/15           |            |
| Точность измерений (1 СКО) |                 |            |
| азимут, град               | 0,08            | 0,12       |
| дальность, м               | 70              |            |

|                                      |     |          |
|--------------------------------------|-----|----------|
| Разрешающая способность              |     |          |
| азимут, град                         | 1,0 | 1,5      |
| дальность, м                         | 100 | 400      |
| Вероятность обнаружения, не менее    |     | 0,98     |
| Достоверность кода                   |     | 0,98     |
| Ложные сообщения                     |     |          |
| % от общего числа сообщений          |     | 0,1      |
| Подавление отражений                 |     |          |
| количество фиксированных отражателей |     | 1 ... 64 |
| количество временных отражателей     |     | 1 ... 64 |

На рис. 4.1 показана упрощенная структурная схема радиолокационного комплекса «Урал», фактически состоящего из двух радиолокаторов – первичного и вторичного. Объединение информационных потоков этих радиолокаторов с помощью процессоров данных и передача информации через модемы в центр УВД позволяет существенно повысить точностные характеристики системы.

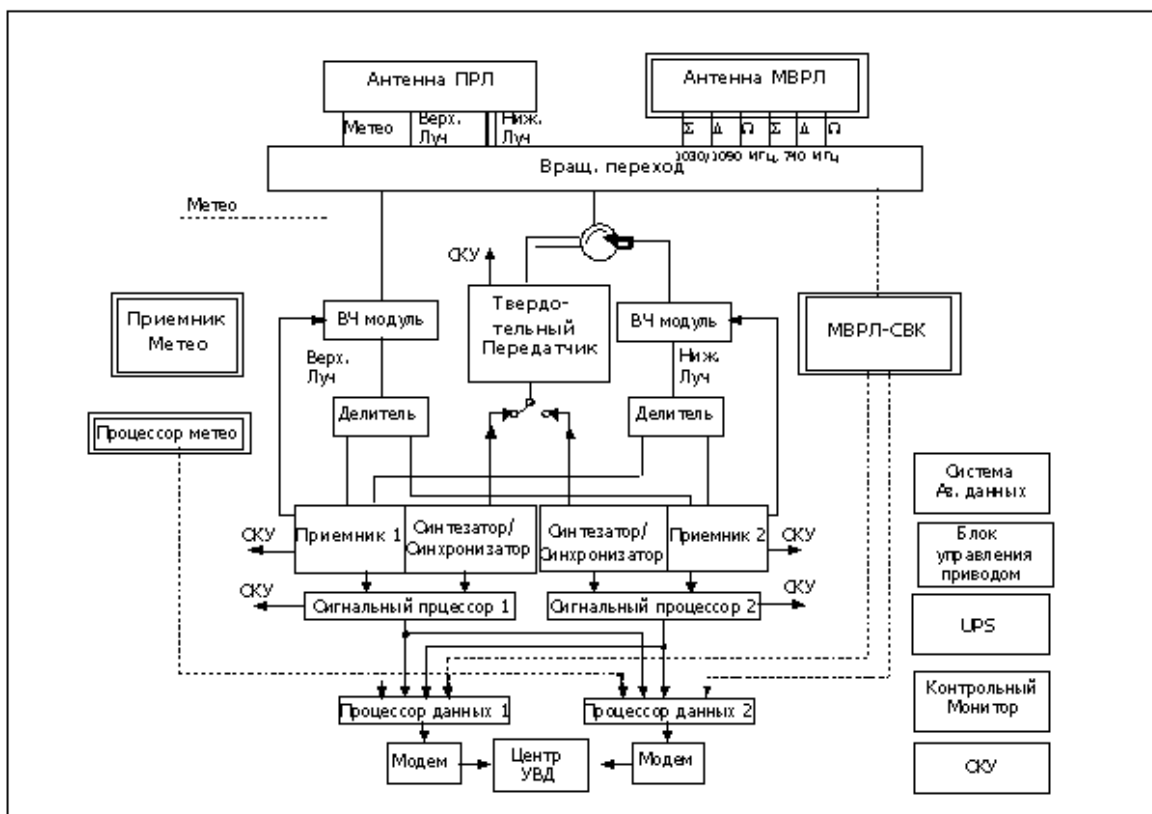


Рис. 4.1. Структурная схема радиолокационного комплекса «Урал»

Радиолокационный комплекс питается от сети 230В/400В  $\pm$  10%, трехфазное. Частота: 50Гц  $\pm$  5%. Энергопотребление (вместе с системой обеспечения тепловых режимов): 10 кВт.

## 5. Системы обработки и трансляции радиолокационной информации

### 5.1 Аппаратура первичной обработки информации

Важной особенностью использования первичных и вторичных РЛС в АС УВД является их сопряжение с ЭВМ, размещаемой в центре УВД и удаленной от радиолокационных позиций в ряде случаев на несколько сотен километров. В связи с этим необходимо обеспечить извлечение полезной информации из аналогового радиолокационного сигнала, поступающего с выхода РЛС, преобразование этой информации в цифровую форму и передачу ее в центр УВД. Эти функции выполняет аппаратура первичной обработки радиолокационной информации (АПОИ). Кроме того, эта аппаратура обеспечивает очистку радиолокационного сигнала от помех для получения высокой достоверности извлекаемой информации и сокращения избыточности этой информации. Первичная, вторичная РЛС и АПОИ размещаются на радиолокационной позиции и образуют радиолокационный комплекс.

Первичная обработка радиолокационных сигналов импульсных РЛС осуществляется в каждом периоде обзора РЛС. Исходными материалами для этой обработки являются аналоговые сигналы непосредственно с выхода приемного устройства или предварительно обработанные и очищенные от помех в системе цифровой обработки сигналов и адаптации РЛС. Кроме того, в АПОИ используются такие сигналы, как импульсы запуска передатчика РЛС, сигналы, содержащие информацию о текущем азимутальном положении антенны РЛС, сигналы формирования зоны обнаружения и др. АПОИ выполняет все функции автоматически, включая обнаружение целей и измерение координат, то есть в ней реализуется функция автоматического съема координат целей.

При этом осуществляется обработка пачки сигналов, отраженных от каждой цели, то есть межпериодная обработка радиолокационного сигнала, и вследствие накопления энергии обеспечивается высокое качество извлекаемой информации.

В современных АПОИ применяется, кроме межпериодной, межобзорная обработка информации за несколько периодов обзора РЛС. Последняя позволяет получить дополнительное снижение вероятности ложных тревог.

Основными функциями схемы АПОИ являются: обнаружение целей и измерение их координат по сигналам первичного радиолокатора (ПРЛ); обнаружение целей и измерение их координат по сигналам ВРЛ; обработка сигналов дополнительной информации ВРЛ; межобзорная обработка информации ПРЛ; отождествление и объединение координатной информации ПРЛ и ВРЛ, привязка дополнительной информации к объединенной координатной; преобразование полярных координат целей в прямоугольные; формирование стандартных сообщений о целях, контурах метеообразований и передача их в АПД. Кроме того, АПОИ обеспечивает: передачу данных автоматического радиопеленгатора (АРП) в аппаратуру передачи данных (АПД); прием и передачу данных о бланкируемых областях зоны обнаружения и передачу данных об азимутальном положении антенн.

Принцип действия АПОИ (рис. 5.1) заключается в следующем.

На вход АПОИ поступают аналоговые сигналы от ПРЛ и ВРЛ, несущие информацию о целях и метеобразовании в зоне действия РЛК. Кроме того, от ПРЛ поступают сигналы синхронизации и другие сигналы, необходимые для работы АПОИ.

Аналоговые сигналы Осн.А, Доп.А, СДЦ, Метео, снимающиеся с выхода ПРЛ, поступают на соответствующие каналы устройства квантования, где происходит раздельное квантование этих сигналов по амплитуде и дискретизация по времени. После выбора двоично-квантованного сигнала (А или СДЦ) производится окончательный выбор одного из сигналов А или СДЦ на основе динамической цифровой карты помех, очистка сигнала от помех и критерийная обработка с помощью устройства “движущегося окна”, в результате которого принимается решение о наличии (или отсутствии) цели и измерении ее координат – дальности и азимута.

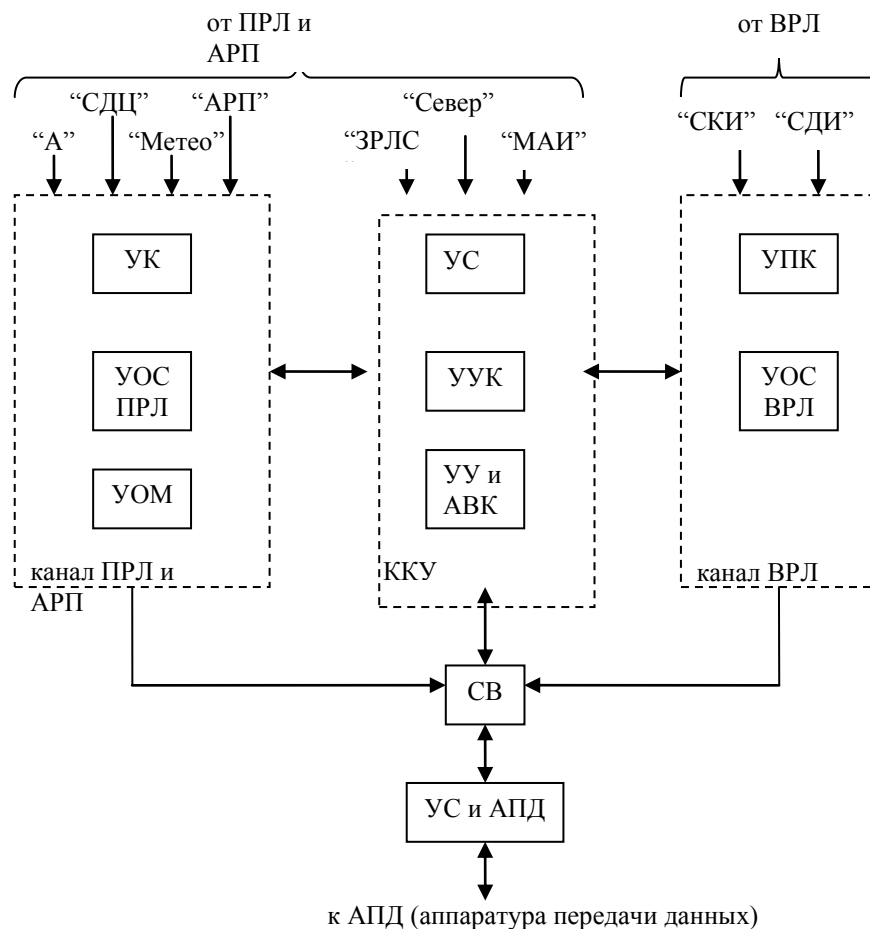


Рис. 5.1. Структурная схема АПОИ:

УК – устройство квантования; УОС ПРЛ – устройство обработки сигналов ПРЛ; УОМ – устройство обработки Метео; УС – устройство синхронизации; УУК – устройство управления критериями; УУ и АВК – устройство управления и автоматического встроенного контроля; ККУ – канал управления и контроля; УПК – устройство проверки кодов; СВ – специализированный вычислитель; УС и АПД – устройство сопряжения с аппаратурой передачи данных



В устройстве обработки Метео осуществляется обработка двоично-квантованного сигнала Метео, в результате которой измеряются координаты метеообразований. В канале ВРЛ АПОИ производится обработка информации, поступающей от ВРЛ. Устройство обработки сигналов ВРЛ осуществляет критерийную обработку координатных сигналов ВРЛ с помощью устройства “движущегося окна”, очистку от помех дополнительной информации и условное кодирование дальности для этой информации.

Объединение информации ПРЛ и ВРЛ осуществляется программным способом в специализированном вычислителе (СВ). Это устройство производит отождествление координатной информации ПРЛ и ВРЛ, привязку дополнительной информации ВРЛ к объединенной координатной, межобзорную обработку неотожествленных пакетов двоично-квантованных сигналов ВРЛ для выделения двоично-квантованного сигнала (ДКС) движущихся целей и подавления сигналов неподвижных целей. СВ обеспечивает хранение информации в течение необходимого времени, формирование стандартных сообщений и передачу их в АПД.

Аппаратура передачи данных, подключаемая к выходу АПОИ, обеспечивает передачу обработанной радиолокационной информации со скоростью 2400 бит/с по двум независимым четырехпроводным каналам в центр УВД.

Главными особенностями рассматриваемого варианта АПОИ являются:

- квантование по амплитуде входных сигналов ПРЛ на два уровня и автоматического выбора порога в зависимости от текущей помеховой обстановки;
- автоматический выбор сигналов А или СДЦ (ПРЛ) на основе динамической цифровой карты помех;
- применение алгоритма безвесовой (критерийной) обработки двоичных квантованных сигналов ПРЛ при автоматическом выборе критериев и конца пакетов ДКС в зависимости от текущей помеховой обстановки;
- применение алгоритма критерийной обработки декодированных координатных сигналов ВРЛ;
- применение СВ, обеспечивающего выполнение ряда операций обработки информации ПРЛ и ВРЛ программным способом.

Первая особенность связана с применением одного из методов стабилизации уровня ложных тревог, который заключается в автоматической подстройке порога квантования по амплитуде аналогового сигнала ПРЛ в зависимости от текущей помеховой обстановки. Метод реализуется с помощью двухканальной схемы амплитудного квантования. Аналоговый сигнал ПРЛ подается одновременно на входы двух квантователей с регулируемыми

порогами: «медленным» и «быстрым» в зависимости от постоянной времени регулирования.

Выбор того или иного канала квантования производится с помощью анализатора помеховой обстановки, который сравнивает число единиц в двоично-квантованных сигналах на выходах квантователей за определенный интервал времени. При превышении числа единиц канала с «быстрым» порогом числа единиц канала с «медленным» порогом в определенное число раз производится выбор первого канала и ДКС с выхода этого канала поступает в тракт дальнейшей обработки.

Вторая особенность связана с выбором для межпериодной обработки одного из ДКС типа А или СДЦ. Этот выбор производится автоматически с помощью динамической цифровой карты помех. Заполнение карты осуществляется в течение одного обзора путем сравнения уровня помех на выходах каналов А и СДЦ. Если в некоторой ячейке секторизации уровень помех на выходе канала А превышает уровень помех на выходе канала СДЦ в определенное число раз, то в соответствующую ячейку памяти карты помех записывается логическая единица.

Третья особенность состоит в том, что в качестве признака, по которому можно отличить цель от помех, используется плотность единиц ДКС в определенном интервале времени.

В этом случае АПОИ производит проверку входного радиолокационного сигнала по совокупности критериев, отфильтровывая сначала все сигналы, амплитуда которых меньше определенного уровня, затем все оставшиеся сигналы, которые не удовлетворяют критерию длительности импульсов, и, наконец, от оставшихся отфильтровываются сигналы, которые не удовлетворяют критерию протяженности пакета единиц ДКС по азимуту. Реализация такой критерийной обработки в сравнении с весовой обработкой позволяет существенно упростить аппаратуру и обеспечить заданные требования по качеству функционирования и универсальности АПОИ. При критерийной обработке обнаружение цели и измерение ее координат производятся после проверки принятого сигнала по критерию протяженности пакета единиц ДКС по азимуту для заданного кольца дальности. Здесь используется критерий обнаружения  $k$  из  $n$ . Указанные особенности АПОИ обеспечивают адаптивные свойства этой аппаратуры. В табл. 5.1 приведены данные АПОИ, находящихся в настоящее время на эксплуатации.

Параметры АПОИ

Таблица 5.1

| Параметр   | СХ-1100<br>Datasaab<br>Швеция | Вуокса СССР                 | АПОИ-2                       |
|--|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Вероятность обнаружения при $P_{л.т.}=10^{-6}$   | 0,9                           | 0,92                        | 0,96                         |
| Вероятность дробления пакетов  | 0,04                          | 0,02                        | 0,001                        |
| Среднеквадратическая погрешность определения координат цели:<br>ПРЛ по азимуту<br>ПРЛ по дальности<br>ВРЛ по азимуту<br>ВРЛ по дальности | -<br>400<br>-<br>400 м        | 13'<br>200<br>30'<br>200 м  | 8'<br>200<br>15'<br>250 м    |
| Разрешающая способность<br>ПРЛ по азимуту<br>ПРЛ по дальности<br>ВРЛ по азимуту<br>ВРЛ по дальности                                      | 63И<br>220 м<br>63И<br>800 м  | 43И<br>400 м<br>43И<br>1 км | 83И<br>400 м<br>83И<br>600 м |
| Вероятность потерь правильной дополнительной информации  | 0,05                          | 0,04                        | 0,08                         |
| Вероятность искажения дополнительной информации  | $10^{-2}$                     | $10^{-2}$                   | 0,02                         |
| Число целей на одном азимуте   | 1024                          | 63                          | 63                           |
| Число каналов обработки  | 2                             | 3                           | 4                            |
| Наработка на отказ   | 900 ч                         | 1400 ч                      | 4000 ч                       |

## 5.2. Устройство квантования сигналов ПРЛ

На рис. 5.2 показана структурная схема квантования сигналов первичной РЛС, являющаяся одним из основных элементов АПОИ (рис. 5.1)

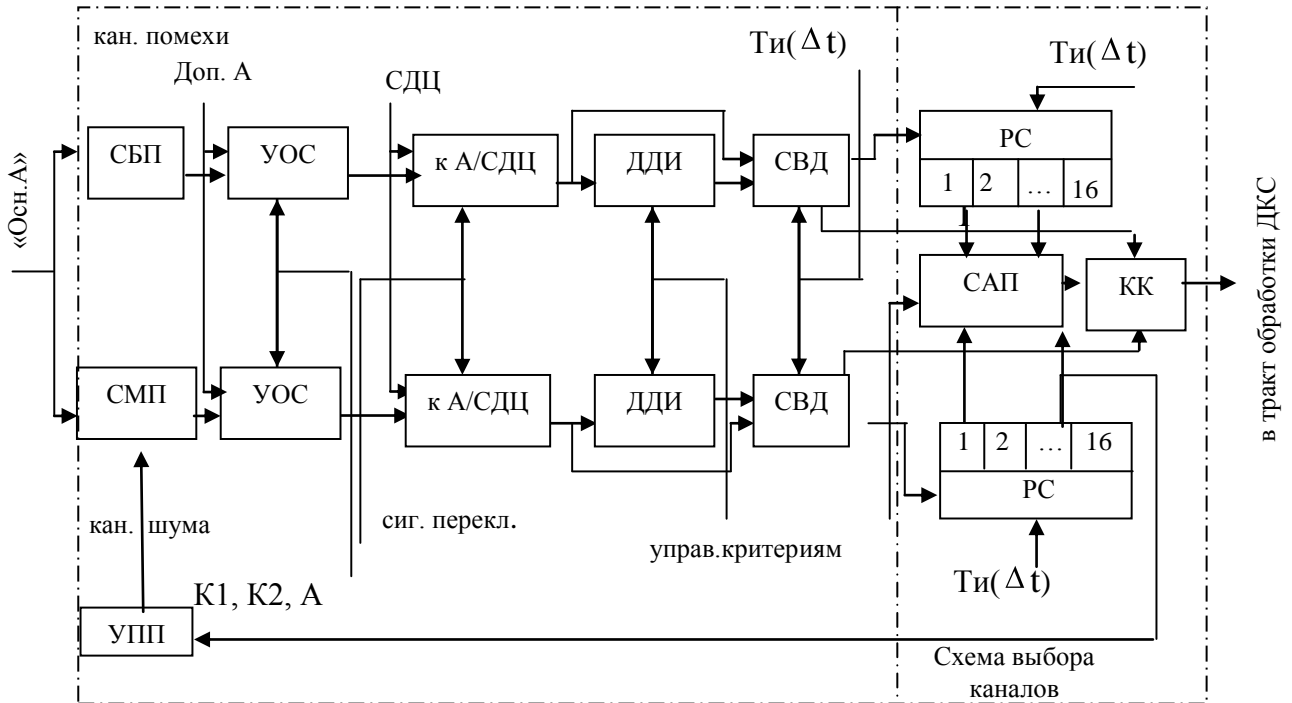


Рис. 5.2 Схема устройства квантования сигналов первичной РЛС

В устройстве квантования сигнала Осн.А можно выделить два одинаковых по структуре канала: помехи и шума. Различие данных каналов заключается в способе формирования пороговых уровней квантования видеосигнала по амплитуде. Видеосигнал Осн.А поступает одновременно на входы схем «быстрого» порога СБП и схем «медленного» порога СМП, на выходах которых формируются квантованные по амплитуде на два уровня сигналы. Квантованные сигналы проходят последовательно устройства объединения сигналов УОС и коммутаторы А/СДЦ, в которых осуществляется объединение сигнала Осн.А с квантованным сигналом Доп.А и затем выбор одного из двух квантованных сигналов объединенного сигнала А и СДЦ. Управление работой УОС производится с помощью сигналов, поступающих от ПРЛ. Управление работой коммутатора А/СДЦ осуществляется с помощью сигналов, поступающих от цифровой карты помех АПОИ.

Квантованный сигнал А (или СДЦ) поступает на вход дискриминатора длительности импульсов (ДДИ), в котором осуществляется селекция по длительности. На выходе ДДИ формируется сигнал разрешения на дальнейшую работу.

Со входа ДДИ сигнал А (СДЦ) подается также на схему временной дискретизации СВД, где осуществляется:

- «привязка» стандартных импульсов к соответствующим тактовым импульсам ТИ;
- формирование кода поправки для точного измерения дальности;
- формирование признака перекрытия при попадании переднего фронта входного сигнала в зону перекрытия, находящуюся в конце каждого элемента дальности.

Сигнал ДКС, код поправки и маркер перекрытия поступают далее на соответствующие регистры сдвига, с помощью которых осуществляется их запоминание на определенное время.

### *5.3. Устройство обработки и объединения сигналов ПРЛ и ВРЛ*

К устройствам обработки и объединения сигналов ПРЛ и ВРЛ относятся: устройства обработки сигналов ПРЛ, Метео, ВРЛ, проверки кодов ВРЛ и специализированный вычислитель. Устройство обработки сигналов ПРЛ (рис. 5.3) выполняет следующие функции: обнаружение сигналов целей; измерение дальности и азимута каждой цели; устранение «дробления» полезного сигнала из-за перекрытия входным видеосигналом двух смежных элементов дальности.

Первая функция выполняется с помощью критерийного цифрового обнаружения, использующего критерий плотности «единиц» ДКС и критерий протяженности пачки ДКС по азимуту. При этом сигнал считается обнаруженным, если выполняются оба названных критерия.

Особенностью современных АПОИ является использование алгоритмов безвесовой (критерийной) обработки пачки сигналов, отраженных от цели. Это объясняется тем, что на практике пачка ДКС, полученная в результате амплитудного квантования отраженных сигналов, является прерывистой в силу действия помех и алгоритмы безвесовой обработки оказываются более эффективными по сравнению с алгоритмами весовой обработки. Кроме того, такие алгоритмы характеризуются простотой технической реализации и универсальностью. При безвесовой обработке производится обнаружение и фиксация начала пачки ДКС по критерию «к» из «п», фиксация конца пачки ДКС по критерию -  $\ell$  нулей подряд. Обнаружение начала пачки ДКС осуществляется отдельно для каждого элемента дальности с помощью устройства «движущегося окна», ДОК, счетчика Сч и цифрового порогового устройства (ПУ). Входной ДКС предварительно обрабатывается в схеме предотвращения пропуска цели, состоящей из логической схемы ИЛИ и триггера Тг.

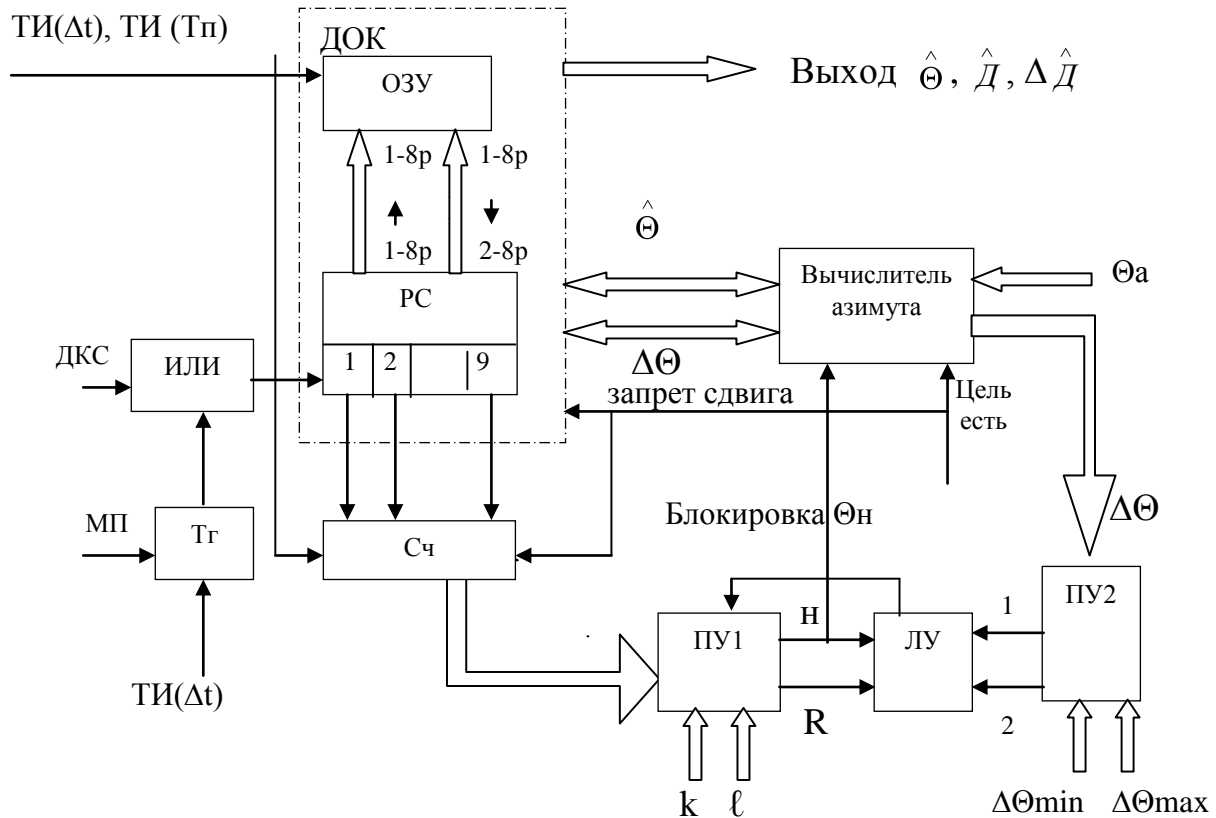


Рис. 5.3 Структурная схема устройства обработки сигналов ПРЛ:  
РС - регистр сдвига; ВА - вычислитель азимута

Рассмотрим работу устройства «движущегося окна». При вращении антенны РЛС по азимуту с постоянной скоростью формируется пачка из  $n$  ДКС, соответствующая одной цели. Максимальное число  $n$  определяется шириной ДНА в горизонтальной плоскости, периодом повторения зондирующих импульсов и скоростью вращения антенны РЛС. Момент появления первого ДКС пачки заранее не известен, так как зависит от измеряемых дальности и азимута цели. Устройство ДОК выполняет функцию хранения ДКС, полученных в смежных периодах зондирования, и обеспечивает выдачу хранимой информации для любого элемента дальности при неизвестном времени появления пачки ДКС. По мере перемещения диаграммы направленности по азимуту хранимая в регистре сдвига ДОК информация обновляется путем сдвига вправо содержимого всех разрядов в такт с импульсами ТИ ( $T_p$ ) и затем помещается в освободившийся первый разряд ДКС, полученного в текущем периоде зондирования. Очевидно, содержимое регистра сдвига полностью обновляется за  $n$  периодов зондирования. Регистр сдвига можно рассматривать как «движущееся окно», которое перемещается по азимуту синхронно с вращением антенны РЛС и обеспечивает «просмотр»  $n$  смежных азимутальных позиций для одного элемента (кольца) дальности.

Регистр сдвига обеспечивает хранение информации только для одного элемента дальности. Для числа элементов дальности  $N = T\pi / \Delta t$  требуется иметь большое число таких регистров. В ряде современных АПОИ для всех элементов дальности используется общий регистр сдвига. В этом случае хранение информации для всех элементов осуществляется в восьмиразрядных ячейках ОЗУ, а регистр сдвига используется поочередно для обновления этой информации. Требуемый объем памяти ОЗУ составляет  $Q = (n-1)N$  (бит), где  $n$  – число периодов зондирования;  $N$  – число элементов дальности. Обработка пачки ДКС, полученной в некотором элементе дальности, производится подсчетом числа единиц на  $n$  смежных азимутальных позициях и сравнением полученной суммы с пороговым значением  $k$ . Если сумма равна или больше  $k$ , то на выходе порогового устройства ПУ вырабатывается признак начала пачки  $H$  (логическая единица).

Вычисление оценки азимута цели  $\hat{\theta}$  производится в вычислителе азимута (рис. 5.3) следующим образом. С выхода ПУ1 в вычислитель азимута поступает признак начала пачки  $H$ , который используется как сигнал отсчета азимута  $\theta_n$ . При этом из регистра  $\theta_a$  текущий азимут антенны переписывается в соответствующую данному элементу дальности ячейки ОЗУ.

При наличии сигнала «Цель есть» на выход устройства обработки сигналов ПРЛ поступает оценка дальности  $D$  вместе с поправкой точной дальности  $\Delta D$ , определяемые по номеру элемента дальности, в котором обнаружена цель, и оценка азимута  $\hat{\theta}$  при наличии признака перекрытия и сигнала «Цель есть». Устройство обработки сигналов Метео обеспечивает формирование сигналов «контуров» метеообразований для передачи в центр УВД.

Первичная обработка метeosигналов производится отдельно для двух уровней квантования по амплитуде с целью получения контуров метеообразований с двумя градациями по мощности. При формировании сигналов границ метеообразований используется цифровой обнаружитель типа « $k$  из  $n$ ».

В устройстве проверки кодов канала ВРЛ производится проверка правильности кодов ИКАО с целью очистки входного сигнала от несинхронных помех. Проверка кодов России не производится.

В устройстве обработки сигналов ВРЛ используется та же величина элементов дальности и такая же система критериев, что и в устройстве обработки сигналов ПРЛ. На входе канала ВРЛ формируются коды азимута, дальности и азимутальной ширины пачки ДКС, признанной в качестве отметки от цели, и коды дополнительной информации, которые передаются в специализированный вычислитель для объединения с информацией первичной РЛС.

Основные функции специализированного вычислителя (СВ):

- прием и временное хранение информации ПРЛ и ВРЛ;
- отождествление пачек ДКС ПРЛ и ВРЛ;
- отождествление пачек ДКС ВРЛ и дополнительной информации;
- формирование выходных сообщений;
- формирование информации для устройства управления критериями.

Вспомогательные функции СВ:

- генерирование контрольных сигналов для ряда других устройств АПОИ;
- прием и обработка управляющей информации из центра УВД.

#### *5.4. Устройство управления, контроля и трансляции АПОИ*

В состав канала управления и контроля АПОИ входят устройства: синхронизации; управления критериями; управления и автоматического встроенного контроля (АВК).

Устройство синхронизации обеспечивает формирование различных синхронизирующих и тактовых импульсов, например, масштабные импульсы и импульсы формирования кода поправки. Источником опорного колебания является общий задающий генератор с кварцевой стабилизацией частоты ( 16 МГц). Различные тактовые последовательности формируются из опорного сигнала делением частоты с помощью делителей.

Устройство управления критериями обеспечивает прием из специализированного вычислителя различных критериев обработки для каналов ПРЛ и ВРЛ, которые вырабатываются в вычислителе. Критерии могут изменяться независимо для четырех зон по дальности.

Устройство управления в АВК обеспечивает управление работой аппаратуры и ее диагностирование. В частности, с помощью этого устройства осуществляются: индикация состояния аппаратуры в рабочем режиме; контроль и ввод информации в режиме отладки; выдача сигналов о состоянии аппаратуры на пульт оператора; прием от СВ информации о контрольных точках и генерация сигналов имитации целей для каналов ПРЛ и ВРЛ; обнаружение некоторых типов отказов и контроль общей работоспособности аппаратуры. Контроль отдельных устройств производится по определенной программе подключением их к выходам имитатора сигналов. Имеются три типа имитатора – координатных сигналов (ИКС), дополнительной информации ВРЛ (ИДИ) и синхросигналов (ИСС).

Для задания контрольных точек для СВ служат тестовые программы. Обработанная радиолокационная информация с выхода СВ через устройство сопряжения поступает в АПД, которая обеспечивает ее трансляцию по узкополосным проводным линиям связи в центр УВД. От каждой радиолокационной позиции передача информации обычно осуществляется по



двум стандартным телефонным каналам связи со скоростью 1200 или 2400 бит/с.

В зависимости от скорости передачи информации используется двух или четырехфазная дифференциальная модуляция несущей частоты сигнала, равной 1800Гц.

## **6. Радиолокационные системы, обеспечивающие безопасную работу аэропортов**

### *6.1 Радиолокационные станции обзора летного поля Назначение и общие сведения о РЛС обзора летного поля*



Радиолокационные станции обзора летного поля (ОЛП) осуществляют наблюдение за самолетами, идущими на посадку при удалении от начала ВПП на 4 км и с высоты 50 м, за движением самолетов по ВПП и рулежным дорожкам; контроль за взлетающими самолетами; наблюдение и контроль за автотранспортом, пересекающим ВПП и движущимся по рулежным дорожкам.

Высокая разрешающая способность по дальности и азимуту обеспечивается в связи с использованием миллиметрового диапазона длин волн. Для обеспечения высокой разрешающей способности по дальности станция должна работать короткими импульсами, а индикатор иметь достаточно большой диаметр экрана и небольшие масштабы развертки. Для получения высокой разрешающей способности по азимуту РЛС ОЛП имеет узкую ДНА в горизонтальной плоскости. Координаты дальность и азимут, измеряемые РЛС ОЛП, равноценны при определении взаимного расположения объектов, поэтому разрешаемое расстояние по углу должно быть примерно равно разрешаемому расстоянию по дальности.

Для обеспечения хорошего кругового обзора всего летного поля и уменьшения мертвой зоны обзора РЛС ОЛП устанавливаются на вышках высотой в несколько десятков метров непосредственно на аэродроме. Все объекты, находящиеся на земной поверхности и наблюдаемые из точки размещения РЛС ОЛП под различными углами места  $\beta$  удалены от радиолокатора на расстояние  $r=h/\sin\beta$ , где  $h$  - высота установки антенны РЛС.

Уменьшение длительности импульса и времени восстановления приемника позволяет уменьшить минимальную дальность действия.

Диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости имеет форму  $\cos^2\beta$  и ширину луча  $48^\circ$ , ширина луча антенны в горизонтальной плоскости  $0,2^\circ$ .

В горизонтальной плоскости пределы зоны обзора составляют  $360^\circ$  благодаря круговому вращению антенны в горизонтальной плоскости. В гражданской авиации применяется импульсная РЛС ОЛП «Обзор-2», структурная схема которой приведена на рис. 6.1.

Основными составными частями РЛС ОЛП являются антенный пост и аппаратура КДП. Антенный пост является собственно радиолокатором-источником радиолокационной информации.

Аппаратура КДП включает в себя аппаратуру приема радиолокационной информации с антенного поста, ее преобразование в телевизионный сигнал и отображение на двух рабочих индикаторах. Кроме того, в состав РЛС входят устройства телеуправления и телесигнализации (ТУ-ТС).

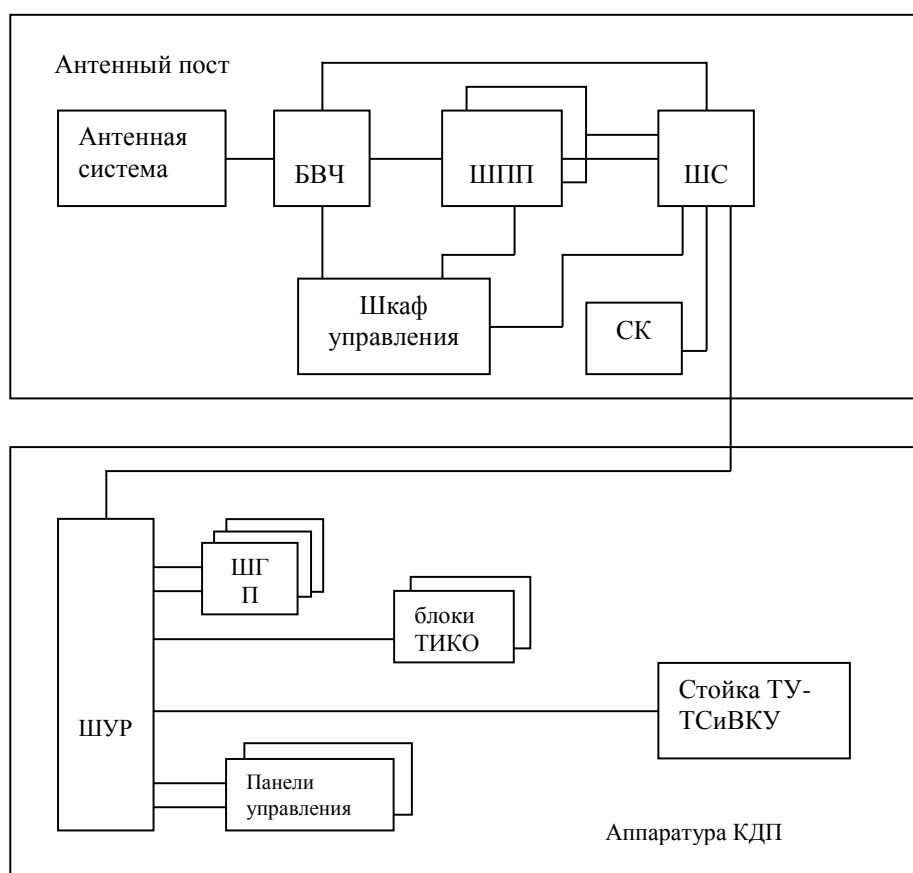


Рис. 6.1. Структурная схема РЛС ОЛП

Антенная система, шкаф приемо-передатчика (ШПП) и блок высокой частоты (БВЧ) предназначены для генерирования коротких радиочастотных импульсов, излучения их в пространство, приема отраженных сигналов, их усиления и детектирования.

Продетектированные сигналы усиливаются до уровня, обеспечивающего работу аппаратуры кодирования и трансляции, расположенной в шкафу синхронизации (ШС), и после преобразования совместно с синхроимпульсами и сигналами углового положения антенны, вращающейся со скоростью 60 об/мин,

по двум независимым каналам транслируются на КПД. Одновременно эти сигналы для контроля качества преобразования подаются на контрольный индикатор, расположенный в стойке контроля (СК).

Устройства управления обеспечивают возможность управления аппаратурой РЛС дистанционно с КДП, централизованно из антенного поста, а также с каждого из устройств антенного поста.

В режимах дистанционного и централизованного управления, устройства управления обеспечивают возможность автоматического включения аппаратуры РЛС по сигналам с панелей дистанционного или централизованного управления. В этих режимах осуществляется автоматическое включение резервных комплектов аппаратуры по сигналам от устройств встроенного контроля.

На КДП радиолокационная информация, синхроимпульсы и сигналы углового положения антенны поступают на шкаф управления и распределения *ШУР*, где они разделяются, преобразуются и поступают на шкафы графekonных преобразователей ШГП. В ШГП радиолокационная информация преобразуется в телевизионный сигнал и через шкаф управления и распределения подается на два рабочих телевизионных индикатора (ТИК) и на стойку выносного контрольного устройства (ВКУ) и телеуправления-телесигнализации (ТУ-ТС) для отображения на контрольном телевизионном индикаторе.

Включение резерва аппаратуры антенного поста в работе предусмотрено при централизованном или дистанционном режимах управления РЛС и в зависимости от типа аппаратуры осуществляется автоматически, полуавтоматически или вручную.

Автоматически включение резерва в работу производится по сигналам отказа устройств с помощью устройства логической автоматизации.

#### *Функциональная схема РЛС обзора летного поля*

Функциональная схема РЛС ОЛП представлена на рис 6.2. Высокочастотные сигналы формируются в передатчике РЛС с момента поступления импульса запуска, поступающего с выхода блоков синхронизации соответствующего комплекта. ВЧ-сигналы через устройства контроля и ВЧ-тракт передатчика поступают на волноводный переключатель БВЧ, затем в антенну и излучаются в пространство. Выход второго комплекта шкафа приемо-передатчика подключен к эквиваленту антенны.

Отраженные сигналы с выхода антенны по тому же тракту через устройство контроля поступают на вход приемника. Развязка между выходом передатчика и входом приемника обеспечивается волноводным переключателем.

С выхода приемника РЛС продетектированные и усиленные сигналы поступают на шкаф синхронизации, куда поступают также сигналы угловой

информации в параллельном коде (коде Грея) с датчиков угла, установленных на колонне привода вращения антенны и механически связанных с ней.

С выхода блока кодирования и трансляции информации смесь видеосигналов с синхроимпульсами и кодами углового положения антенны через схему переключений поступает на кабельную линию трансляции информации и на блок кодирования информации стойки контроля. Декодированные и сформированные в блоке декодирования информации сигналы поступают на контрольный индикатор кругового обзора, на экране которого также присутствует азимутально-дальномерная электронная сетка.

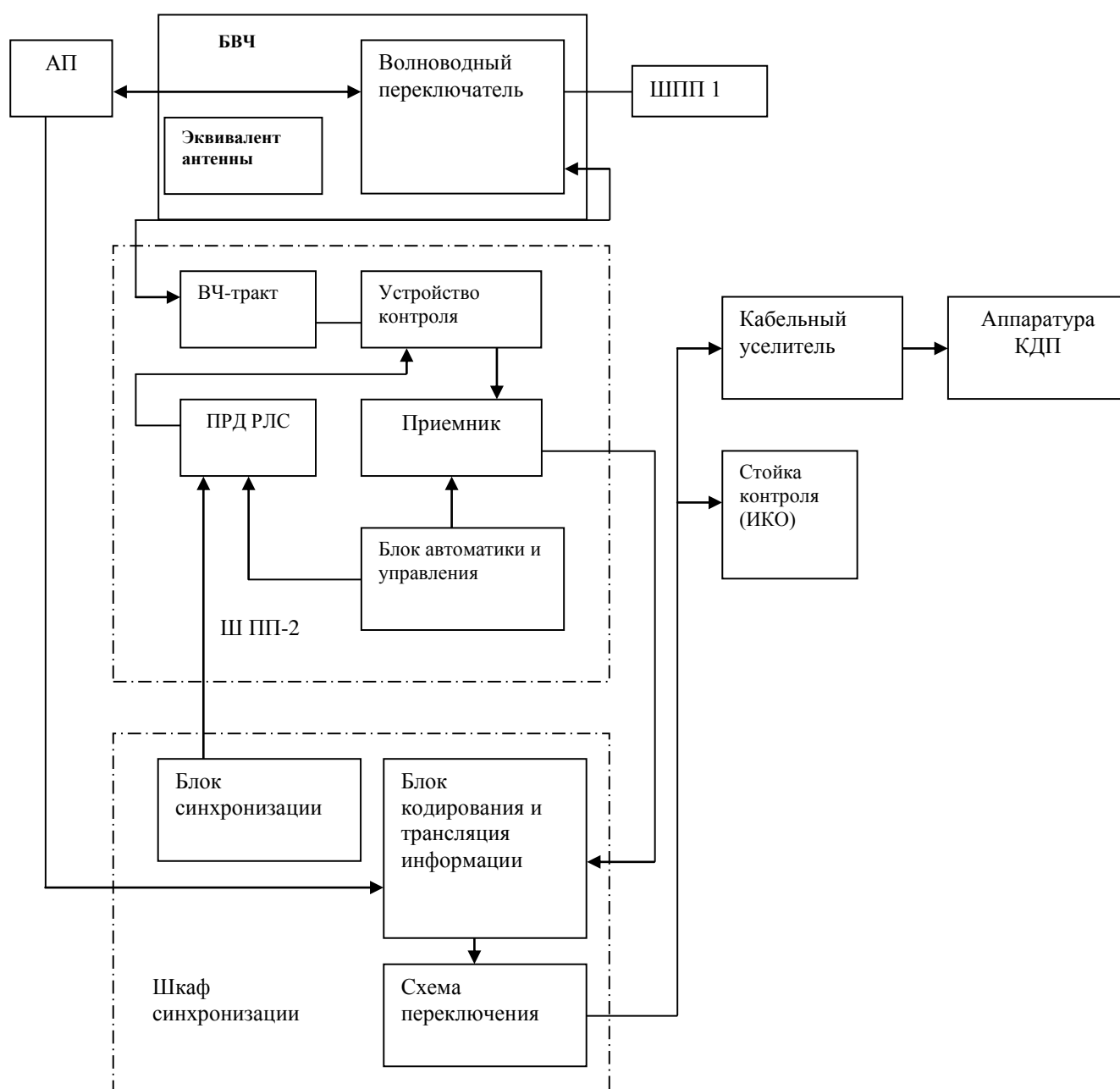


Рис. 6.2. Функциональная схема РЛС ОЛП

В шкафу синхронизации вырабатываются сигналы синхронизации и стробирования, определяющие синхронность работы всего изделия, а также преобразовываются сигналы угловой информации, используемые для формирования развертывающих напряжений в ИКО и ТИКО.

Устройства шкафа синхронизации (ШС) обеспечивают синхронность работы всех устройств РЛС. Сигналы синхронизации, угловой информации и видеосигналы поступают на ИКО, на экране которого отображается наземная обстановка на летном поле.

Декодированная видеоинформация через шкаф управления и распределения (рис. 6.1) поступает на входы трех шкафов графekonного преобразователя, куда поступают и сигналы управления ШГП.

В ШГП происходит преобразование радиолокационной информации в телевизионный сигнал. Два ШГП являются рабочими, а третий-резервный.

Особенности построения РЛС ОЛП в основном связаны с применением восьмимиллиметрового диапазона волн, оказывающего существенное влияние на структуру антенного поста и приемо-передатчика.

Антенная система предназначена для излучения электромагнитной энергии в пространство и приема отраженных от цели сигналов. Благодаря узкой ДН в горизонтальной плоскости ( $0,2^\circ$ ) антенна обеспечивает высокую разрешающую способность по азимуту. Коэффициент усиления антенны - не менее 60000.

Скорость вращения антенны 60 об/мин; уровень боковых лепестков - не более — 20 дБ; ДН в вертикальной плоскости - косекансная. Антенна может работать при вертикальной, круговой или эллиптической поляризации поля. Управление поляризацией дистанционное. Отражатель облучается Е-плоскостным рупором, помещенным в фокусе отражателя.

Поляризационная решетка, расположенная перед раскрывом рупорного облучателя, может поворачиваться параллельно плоскости раскрыва на  $+180^\circ$  со скоростью до 2 об/мин.

В случае, когда угол между пластинами и раскрывом облучателя составляет 45% антенна излучает (принимает) поле круговой поляризации.

Поле круговой поляризации используется для подавления помех от метеообразований (дождь, снег и т. п.).

При использовании круговой поляризации имеет место не полное подавление отражений от метеообразований, и можно говорить только о приеме существенно ослабленного поля, поэтому при отсутствии метеообразований используется линейная поляризация.

Приемник и передатчик (рис. 6.3) связаны между собой общей системой автоматики и управления, которая обеспечивает как работу приемо-передающих устройств в целом, так и индивидуальное включение и выключение приемника и передатчика.

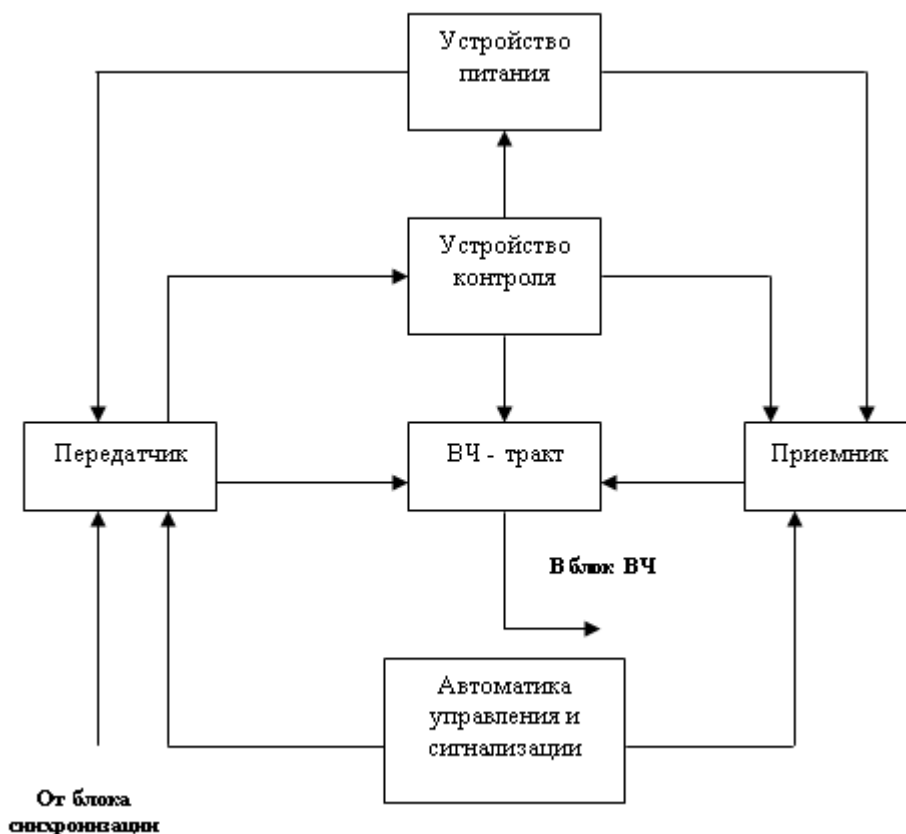


Рис. 6.3. Структурная схема ШПП

ВЧ сигнал передатчика генерируется магнетронным генератором. В подмодуляторе вырабатывается импульс управления модулятором необходимой длительности и амплитуды. В модуляторе импульс подмодулятора усиливается до амплитуды, необходимой для нормальной работы магнетронного генератора. Магнетронный генератор генерирует высокочастотные импульсы.

Уменьшенные по мощности на 50 дБ сигналы передатчика поступают через ВЧ-тракт на ответвитель с ослаблением 10 дБ и далее в приемник для работы системы АПЧ и на устройство контроля частоты и огибающей ВЧ импульсов.

Чтобы не допустить попадания высокочастотной мощности передатчика на вход приемника, между входом последнего и плечом 3 циркулятора установлен разрядник защиты приемника.

На приемник (рис. 6.4) также поступают синхронизирующие импульсы, необходимые для запуска соответствующих устройств и контроля работоспособности приемника.

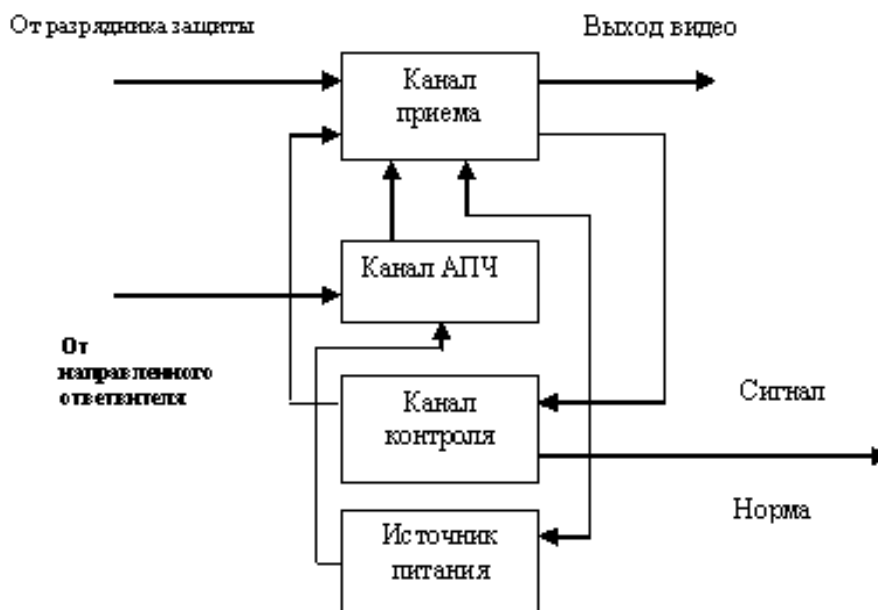


Рис. 6.4. Структурная схема приемника ОЛП

Приемник ОЛП предназначен для усиления, детектирования и трансляции принятых сигналов.

#### *Основные технические данные приемника ОЛП*

|   |       |
|---|-------|
| Чувствительность при соотношении сигнал/шум, равном единице, дБ/Вт, не менее..... | -112  |
| Избирательность по зеркальному каналу приема, дБ/Вт, не менее.....                | 50    |
| Максимальное выходное напряжение, В, не менее.....                                | 3     |
| Напряжение шумов, В:.....   | 0,3   |
| Глубина ВАРУ, дБ.....   | до 40 |

Приемник ОЛП представляет собой супергетеродин с двойным преобразованием частоты, автоматическими регулировками усиления ВАРУ и ШАРУ, автоматической подстройкой частоты первого гетеродина и непрерывным самоконтролем работоспособности. В канале приема осуществляются усиление, селекция, преобразование, детектирование принятых сигналов и их трансляция на аппаратуру КДП.

Канал АПЧ осуществляет подстройку частоты первого гетеродина так, чтобы разность частот между магнетроном передатчика и клистроном гетеродина составляла 700 МГц.

### РЛС обзора летного поля «Аксай»



Радиолокационная станция обзора летного поля «Аксай» (РЛС ОЛП «Аксай») предназначена для установки в аэропортах гражданской авиации и обеспечивает круговой радиолокационный обзор земной поверхности (с возможностью установки необходимого рабочего сектора обзора) и отображение наземной обстановки на летном поле: воздушных судов, транспортных средств, стай птиц, крупных животных, людей и других наземных предметов, находящихся на ВПП, рулежных дорожках, перроне, стоянках с твердым покрытием.

#### Технические характеристики

1. РЛС ОЛП «Аксай» обеспечивает обнаружение с вероятностью 0,9 воздушных судов и транспортных средств с эффективной отражающей поверхностью не менее 2 кв. м, находящихся на ВПП, РД с искусственным покрытием, при этом:

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| а) максимальный радиус обнаружения в плоскости земли: |                              |
| - для воздушного судна, транспортного средства        | 5000 м                       |
| - для одного человека                                 | 2000 м                       |
| б) минимальный радиус обнаружения в плоскости земли   | 50 м                         |
| в) разрешающая способность: по дальности              | 16 м                         |
|   | по азимуту 0,8 град.         |
| г) погрешность измерения координат:                   | по дальности – не более 20 м |
|   | по азимуту – не более 30 мин |

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 2. Темп обновления информации             | 1,5 с                           |
| Скорость вращения антенны                 | 39-41 об/мин                    |
| 3. Угол обзора в горизонтальной плоскости | 360 град.                       |
| 4. Длина волны                            | 3,2 см                          |
| 5. Поляризация                            | горизонтальная или вертикальная |
| 6. Среднее время наработки на отказ       | не менее 2000 ч                 |
| Средний ресурс до предельного состояния   | не менее 80000 ч                |

7. РЛС ОЛП «Аксай» обеспечивает работоспособность в условиях:
- изменение температуры окружающей среды: от – 50 до +50 град.
  - относительная влажность воздуха при температуре 25 град 98%.
  - воздействие ветровых нагрузок со скоростью воздушного потока до 30 м/с.
8. Питание от трехфазной сети напряжением 323 – 418 В частотой 50 Гц.



## 6.2. Метеорологические РЛС

Метеорологические РЛС служат для анализа метеорологической обстановки с целью повышения безопасности и регулярности навигации при УВД. При этом используются радиолокаторы сантиметрового и миллиметрового диапазонов, позволяющие наблюдать и исследовать облака и осадки, а также турбулентные атмосферные образования. Это возможно благодаря тому, что в указанных диапазонах волн уровень отраженных от атмосферных образований сигналов достаточен для их обнаружения.

Метеорологические РЛС позволяют непрерывно наблюдать за атмосферными образованиями в области пространства радиусом до нескольких сотен километров, измерять характеристики этих образований и классифицировать их, получать горизонтальные и вертикальные разрезы атмосферы, определять структуру облачных слоев и измерять их высоту. Информация, полученная метеорологическими РЛС, передается в метеослужбу аэропорта и руководителю полетов и используется при организации и управлении воздушным движением. Промышленностью выпускаются метеорологические РЛС типов МРЛ-1, МРЛ-2 и МРЛ-5.

### *Принцип работы и структурная схема типовой метеорологической РЛС*



Метеорологические РЛС представляют собой обычные импульсные РЛС, имеющие ряд особенностей, связанных с условиями распространения и отражения электромагнитных волн. Объекты зондирования состоят из большого числа мелких частиц (капли дождя, льдинки и пр.), расположенных относительно близко друг от друга и занимающих некоторый объем пространства. Под действием ветра и силы тяжести эти частицы находятся в непрерывном движении и вследствие этого изменяются их относительное расположение и ориентация. Каждая частица отражает радиоволны, и радиолокационная станция принимает результирующий отраженный сигнал.

Оптимальными при обнаружении ближней и дальней границ дождя на больших расстояниях являются волны длиной 2...3 см. На небольших расстояниях наиболее эффективна длина волны, лежащая в области миллиметровых волн. Только при обнаружении дальней границы очень сильных дождей на расстоянии 250 км оптимальными становятся волны длиной 4...5 см.

Обнаружение различных атмосферных образований вызывает необходимость использования в метеорологических РЛС одновременно нескольких длин волн (например, 2 см, 3 см, 8 мм, 4 мм, 2 мм).

Рассмотрим структурную схему метеорологической РЛС (рис. 6.5).

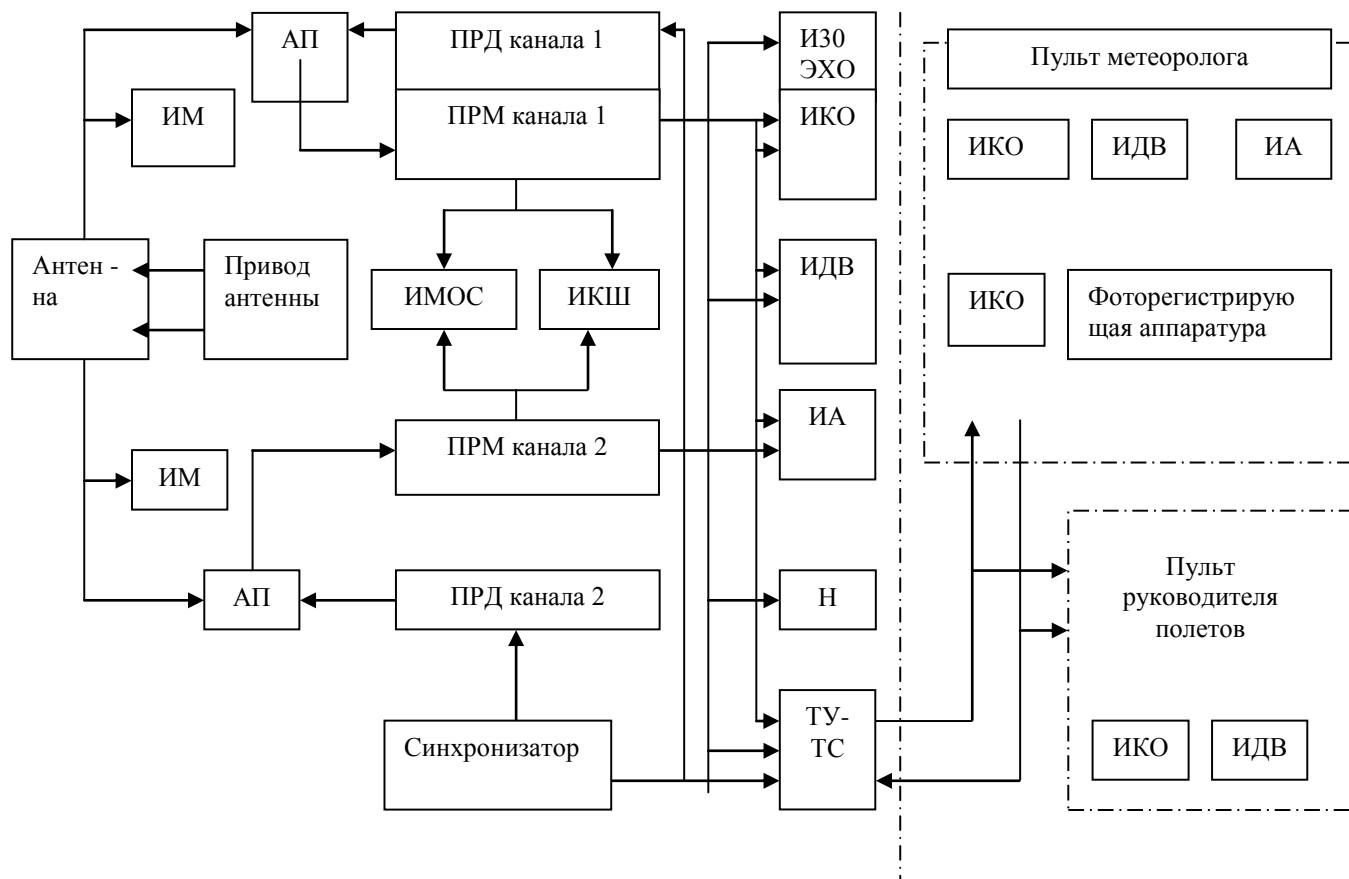


Рис. 6.5. Структурная схема метеорологической РЛС

Станция работает в двух частотных диапазонах - миллиметровом и сантиметровом. Радиолокатор имеет два высокочастотных канала: канал 1-для генерирования и приема сигналов миллиметрового диапазона волн, канал 2-для генерирования и приема сигналов сантиметрового диапазона. Каждый канал имеет свой передатчик ПРД и приемник ПРМ, связанные с общей приемопередающей антенной А.

Антенная система выполнена в виде круглого параболического отражателя, в фокусе которого размещен рупорный облучатель. Ввиду того, что для обоих каналов применяется общая антенна, ширина диаграммы направленности получается различной для каналов 1 и 2. В станции используется игольчатая диаграмма направленности с круглым сечением. Ширина диаграммы направленности в миллиметровом диапазоне 13 секунд, а в сантиметровом 44 секунды. Антенна может вращаться в горизонтальной плоскости в пределах  $360^\circ$  и качаться в вертикальной плоскости в пределах

1...105°. За исключением высокочастотной аппаратуры, все остальные устройства являются общими для обоих каналов станции.

В метеорологических РЛС применяются три типа индикаторов: индикатор кругового обзора (ИКО), индикатор дальность-высота (ИДВ) и амплитудный индикатор (ИА).

Схема формирования сигналов Изо-Эхо позволяет на экране ИКО выделять области наиболее интенсивных атмосферных образований. Индикатор имеет масштабы дальности 25, 100 и 300 км.

Индикатор «Дальность - высота» имеет масштабы по высоте 2,5; 5; 10 и 20 км и по дальности 5, 10, 20, 40 км.

В качестве ИА используется двухлучевой амплитудный индикатор, который имеет две линии развертки, смещенные друг относительно друга по вертикали. Масштабы дальности по одной развертке равны 0,5, 1; 5; 10; 20; 40 и 100 км, а по другой - 5, 10, 20, 100, 300 км. Двухлучевой амплитудный индикатор позволяет наблюдать сигналы каналов 1 на одной развертке и сигналы канала 2 - на другой. Для повышения дальности обнаружения малоинтенсивных атмосферных образований сигналы, принятые по каналу 2 станции, подаются на накопительное устройство Н, связанное с самописцем.

Так как мощность принимаемого радиолокатором сигнала зависит не только от эффективной площади рассеяния гидрометеора и расстояния до него от РЛС, но также и от мощности излучаемого сигнала и коэффициента шума приемного устройства, то для правильного ее измерения в состав радиолокатора входят измерители мощности излучаемого ИМ и отраженного ИМОС сигналов каналов 1 и 2 станции и измеритель коэффициента шума ИКШ.

Метеорологический радиолокатор имеет следующие режимы работы.

*Режим кругового обзора.* В этом режиме антенна вращается в горизонтальной плоскости с частотой 6 об/мин при постоянном угле наклона в вертикальной плоскости. На индикаторе кругового обзора создается общая картина состояния атмосферы в зоне действия станции.

*Режим ступенчатого обзора.* В этом режиме антенна вращается в горизонтальной плоскости, а ее наклон в вертикальной плоскости изменяется после каждого оборота антенны. Величину изменения наклона антенны после каждого оборота можно регулировать от 0 до 5°. Указанным образом наклон антенны в вертикальной плоскости в данном режиме изменяется в пределах от 1 до 11°. На ИКО создается общая картина состояния атмосферы в зоне действия станции под различными углами места.

*Режим вертикального обзора.* Антенна качается в вертикальной плоскости с частотой 2 качания в одну минуту при постоянном азимуте. На ИДВ отображается вертикальный разрез атмосферных образований при выбранном азимуте.

*Режим вертикального зондирования.* В этом режиме антенна неподвижна, но может быть установлена в любом направлении в горизонтальной плоскости

и под любым углом в пределах  $1...105^\circ$ . Радиолокатор в данном режиме просматривает узкий выбранный сектор пространства.

Метеорологический радиолокатор используется для обнаружения и наблюдения различных атмосферных образований, измерения их координат и количественных характеристик. Наблюдение за состоянием атмосферы в зоне действия станции осуществляется в сантиметровом диапазоне волн в режимах кругового или ступенчатого обзора. По индикатору кругового обзора наблюдают за обнаруженными гидрометеорами и измеряют их координаты (азимут и удаление). По характеру отметок на ИКО, а также на ИДВ и ИА может быть произведена классификация атмосферных образований на очаги гроз, ливней и зоны обложных осадков.

Максимальная дальность обнаружения ливней и гроз 250...300 км, а интенсивных обложных осадков 100 км. По ИКО можно определить скорость и направление перемещения гидрометеоров по центру метеообразования за определенный интервал времени.

Наблюдение за вертикальной структурой атмосферных образований осуществляется в горизонтальной плоскости в направлении интересующего гидрометеора, и включается режим вертикального обзора. Радиолокатор работает поочередно на миллиметровом и сантиметровом диапазонах волн. По ИВД определяются высота облачных слоев и вертикальная протяженность на удалении до 40 км.

Измерение нижней границы облаков с помощью метеорологического радиолокатора становится невозможным при выпадении осадков. Влияние осадков уменьшается в световом диапазоне волн. Поэтому в состав метеорологической РЛС входит светолокатор, работающий в световом диапазоне, который используется для получения более надежных данных о нижней границе облачных слоев.

Мощность принимаемого сигнала может быть определена по ИА. Более точно средняя мощность любого отраженного сигнала, выделенного на ИА с помощью строга, определяется измерителем мощности отраженного сигнала. Интенсивность осадков может быть оценена по ИКО с помощью схемы «Изо-Эхо».

#### *Общие сведения о метеорологическом радиолокаторе МРЛ-5*

Метеорологический радиолокатор градозащиты и штормового оповещения МРЛ-5 предназначен для обнаружения зон облаков, гроз и градовых очагов в облаках. Метеорологическая информация, получаемая от радиолокатора МРЛ-5, используется для обслуживания пунктов активных воздействий на градовые очаги с целью предотвращения градобитий, штормового оповещения аэропортов и крупных населенных пунктов.

Метеорологический радиолокатор производит: обнаружение градовых очагов в облаках, измерение их координат и определение физических характеристик; обнаружение и определение местоположения очагов гроз и

ливневых осадков в радиусе до 300 км; определение горизонтальной и вертикальной протяженности метеообразований; определение верхней границы облаков любых форм и их нижней границы при отсутствии выпадающих из них осадков; измерение средней мощности радиоэхо от облачных образований и т.д.

Радиолокатор МРЛ-5 работает в следующих режимах:

- режим обзора (режим автоматического кругового обзора от 0 до 360° с регулируемой частотой вращения 0...6 об/мин; режим автоматического вертикального сканирования от 1 до 95°;
- режим ручного управления с регулируемыми скоростями 0...36°/с по азимуту и 0...75°/с по углу места; режим автоматического секторного сканирования в диапазоне 45° по азимуту и углу места);
- программный режим двух видов (автоматический круговой обзор со ступенчатым изменением угла места через 0,5; 1,5 и 3°) и автоматическое вертикальное сканирование со ступенчатым изменением азимута через 0,5; 1,5 и 3°).

#### *Основные технические характеристики МРЛ-5*

Ширина диаграммы направленности антенны на уровне 0,5 по мощности в обеих плоскостях в градусах:

канал 1 в режиме штормооповещения и градозащиты.....1,5

Уровень боковых лепестков ДНА менее 20 дБ в обоих каналах:

несущая частота, МГц:

канал 1.....9595 ± 15

канал 2 .....2950 ± 15.

Импульсная мощность передатчика, кВт, не менее:

канал 1.....250

канал 2 .....800

Длительность зондирующего импульса, мкс .....1 и 2

Частота повторения зондирующих импульсов, Гц 500 и 250

Предельная чувствительность приемного устройства, дБ/Вт, не менее:

канал 1.....-136

канал 2.....-139

Динамический диапазон приемного устройства, дБ, не менее:

канал 1.....70

канал 2 .....160

Типы индикаторов: два совмещенных индикатора

ИКО-ИДВ и типа А

Масштабы индикатора:

в режиме ИКО (дальность), км.....25, 50, 100 и 300

в режиме ИДВ (дальность-высота)....6,25/12,5, 12,5/2, 25/50 и 50/100

Погрешность коррекции мощности отраженных сигналов по дальности, дБ:

от 10 до 100 км при частоте повторения 500 Гц.....± 1

от 30 до 300 км при частоте повторения 250 Гц.....±2

Погрешность отсчета координат:

по углу места,..... ± 0,1

по высоте и дальности, км.....±0,2

Мощность, потребляемая аппаратурой от трехфазной

сети 220/380 В, 50 Гц, кВ А.....18

Метеорологический радиолокатор МРЛ-5 работает в двух диапазонах длин волн. При этом режим штормооповещения может осуществляться на каждом из имеющихся каналов, а режим обеспечения градозащиты реализуется главным образом при совместной работе обоих каналов.

Интенсивность радиоэхо метеоцелей и их координаты, измеренные на любом канале, позволяют определить тип метеоцели и обнаружить опасные метеорологические образования.

Определение количественных характеристик градовых очагов производится автоматически с помощью специальной измерительной аппаратуры.

Индикация углового положения антенны и вычисление координат цели осуществляются цифровыми вычислительными устройствами. Предусмотрено сопряжение радиолокатора МРЛ-5 с аппаратурой автоматической обработки радиолокационной метеоинформации, а также размещение в составе аппаратуры автоматического пеленгатора гроз.

Система управления обеспечивает работу радиолокатора на одном из двух режимов управления: «Работа» и «Настройка».

Цифровая аппаратура угловой информации и вычисления координат обеспечивает информацию на световом табло угла места и азимута с точностью до десятых долей градуса, а также наклонной, горизонтальной дальности и высоты цели, выбранной с помощью маркера дальности на экране индикатора с точностью до 200 м.

Устройство обработки, размещенное в пульте метеоролога, определяет логарифм отношения мощности радиоэхо обоих каналов радиолокатора и производит его индикацию на стрелочном приборе. Значение этого отношения используется для определения диаметра градовых частиц.

Устройство обработки формирует также разностный видеосигнал обоих каналов радиолокатора, который воспроизводится на индикаторах для опознавания градового очага. Управление устройством производится с его лицевой панели. Фоторегистрирующая аппаратура, состоящая из камеры и командного прибора, предназначена для документирования результатов наблюдений метеоцели. Аппаратура действует синхронно с вращением и сканированием антенны.

В состав аппаратуры радиолокатора входит радиостанция УКВ связи, с помощью которой сообщаются координаты градового очага на соответствующую оружейную установку. Управление станцией осуществляется с пульта управления, установленного рядом со столом метеоролога.

Аппаратура рассчитана на работу при температуре воздуха 5...40 °С, отрицательной влажности воздуха 90... 95% при температуре + 30 °С.

### Литература

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. - М.: Радиотехника, 2007.
2. Кузнецов А.А., Козлов А.И., Криницин В.В. и др. Радиолокационное оборудование автоматизированных систем УВД. - М.: Транспорт, 1995.
3. Перевезенцев Л.Т., Зеленков А.В., Огарков В.Н. Радиолокационные системы аэропортов: учебник для вузов гражданской авиации / под ред. Л.Т. Перевезенцева. - М.: Транспорт, 1981.
4. Лушников А.С. Наземные радиоэлектронные средства обеспечения полетов воздушных судов: учеб. пособие. - Ульяновск: УВАУ ГА, 2001.
5. Тучков Н.Т. Автоматизированные системы и радиоэлектронные средства управления воздушным движением: учеб. для вузов - М.: Транспорт, 1994.



## Содержание

|  |     |
|--|-----|
| Введение.....  | 3   |
| 1. Тактико-технические характеристики РЛС ГА.....                          | 4   |
| Тактические характеристики РЛС.....  | 4   |
| Нормы ИКАО на тактико-технические характеристики РЛС.....                  | 7   |
| Методы защиты приемного тракта РЛС от помех.....                           | 10  |
| 2. Радиолокационные системы управления воздушным движением.....            | 15  |
| Первичные трассовые РЛС.....   | 15  |
| Первичные аэродромные РЛС.....   | 35  |
| Посадочные радиолокационные станции.....                                   | 45  |
| 3. Вторичные радиолокаторы управления воздушным движением.....             | 48  |
| Состав ВРЛ.....  | 51  |
| Антенно-фидерная система ВРЛ.....  | 54  |
| Передающее устройство ВРЛ.....   | 55  |
| Аппаратура декодирования и обработки информации ВРЛ.....                   | 56  |
| Дешифраторы каналов УВД и RBS.....   | 57  |
| Приемное устройство ВРЛ.....   | 58  |
| Перспективные системы вторичной радиолокации.....                          | 62  |
| 4. Аэродромные радиолокационные комплексы.....                             | 77  |
| 5. Системы обработки и трансляции радиолокационной информации.....         | 81  |
| Аппаратура первичной обработки информации.....                             | 81  |
| Устройство квантования сигналов ПРЛ.....                                   | 86  |
| Устройство обработки и объединения сигналов ПРЛ и ВРЛ.....                 | 87  |
| Устройство управления, контроля и трансляции АПОИ.....                     | 90  |
| Радиолокационные системы, обеспечивающие безопасную работу аэропортов..... | 91  |
| Радиолокационные станции обзора летного поля.....                          | 91  |
| Метеорологические РЛС.....   | 99  |
| Литература.....  | 106 |