

Тема №1. Теоретические основы построения систем вооружения зенитных ракетных войск.

Занятие № 7. Общие сведения о радиоприемных устройствах, используемых в системах вооружения ЗРВ.

Учебные вопросы

1. Назначение и состав радиоприемного устройства РЛС.
2. Технические характеристики радиоприемных устройств РЛС.
3. Структурные схемы радиоприемных устройств, используемых в системах вооружения ЗРВ.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА РЛС

Радиоприемное устройство (РПрУ) радиолокационной станции решает следующие основные задачи:

- выделение сигналов, отраженных от воздушных объектов, из множества других сигналов (частотная селекция);
- усиление отраженных сигналов и их преобразование по частоте;
- детектирование высокочастотных сигналов и преобразование их к виду, удобному для отображения на экране индикаторного устройства;
- обработка сигналов с целью подавления помех.

Приемная система радиолокационной станции обнаружения воздушных объектов выполняется, как правило, по схеме супергетеродинного приемника. Структурная схема супергетеродинного приемника приведена на рисунке 1.

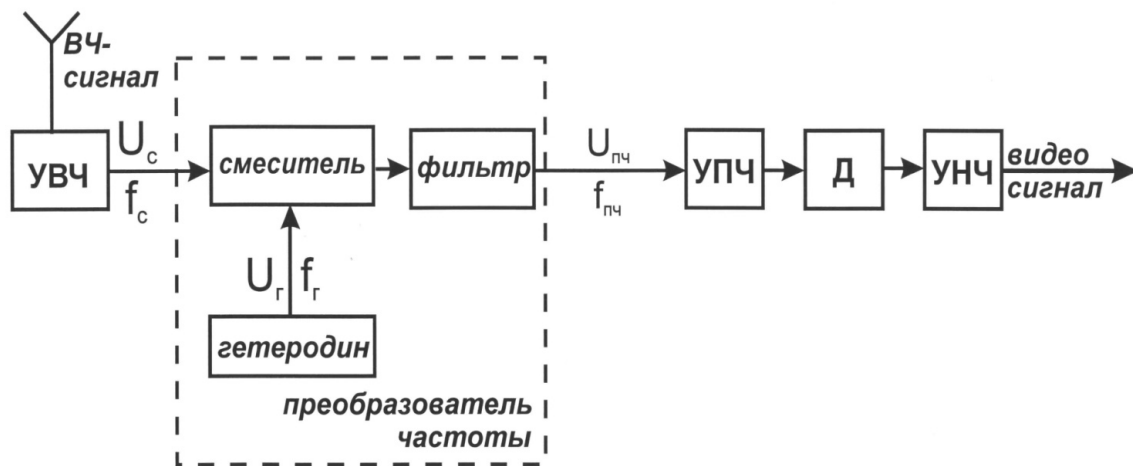


Рис.1. Структурная схема типового супергетеродинного приемника

Отличительной особенностью супергетеродинного приема является перенос спектра принимаемого сигнала из области высокой частоты (единицы - десятки гигагерц) в область промежуточной частоты (единицы - десятки мегагерц) с помощью местного маломощного генератора (гетеродина).

Достоинство - при изменении несущей частоты сигнала нет необходимости менять параметры настройки оптимального приемника, достаточно изменить частоту гетеродина.

Это дает возможность строить приемники радиосигналов с хорошими показателями чувствительности и избирательности, так как основное усиление сигнала осуществляется в постоянном диапазоне частот.

На вход усилителя высокой частоты (УВЧ) поступает смесь сигналов и помех от антенны. УВЧ выполняет предварительную селекцию по частоте, тем самым, обеспечивая защиту приемника от *зеркальных каналов приема* (рис. 2).

- f_{Γ} - частота дополнительного генератора - гетеродина;
- f_1 - частота принимаемого канала;
- f_2 - частота соседнего канала;
- f_3 - частота зеркального канала;
- $f_{ПЧ}$ - частота настройки каскадов промежуточной частоты.

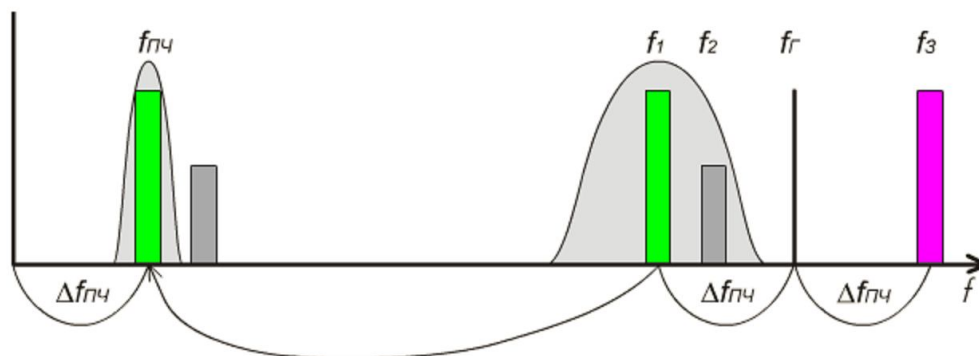


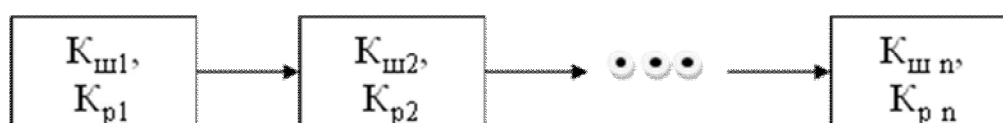
Рис. 2. Принцип частотной селекции в супергетеродинном РПрУ.

Усиление сигналов в УВЧ обеспечивает высокую чувствительность приемника в целом за счет снижения коэффициента шума.

Коэффициент шума каскада $K_{ш}$ показывает, во сколько раз ухудшится отношение сигнал/шум ($P_c/P_{ш}$) при прохождении этого каскада:

$$K_{ш} = \frac{P_{с\text{ вх}}/P_{ш\text{ вх}}}{P_{с\text{ вых}}/P_{ш\text{ вых}}} > 1$$

Коэффициент шума РПрУ $K_{ш\text{ пр}}$, состоящего из n каскадов (рис. 3), определяется через коэффициенты усиления и шума каждого каскада



$$K_{ш\text{ пр}} = K_{ш1} + \frac{K_{ш2}}{K_{p1}} + \frac{K_{ш3}}{K_{p1}K_{p2}} + \dots + \frac{K_{ш n}}{K_{p1}K_{p2} \dots K_{p n-1}}$$

Рис. 3. Принцип определения коэффициента шума многокаскадного приемника РПрУ.

Преобразователем частоты называют устройство, с помощью которого спектр принимаемого сигнала переносится, из области высокой частоты, в область промежуточной частоты. Если преобразование сигнала выполнено без искажений, то сохраняется вся информация, заложенная в параметрах модуляции принимаемого сигнала, а значение промежуточной частоты $f_{пч}$ будет равно

$$f_{пч} = |f_{Г} - f_{С}|, \quad (1)$$

где $f_{С}$ и $f_{Г}$ - частоты, соответственно, сигнала и гетеродина.

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) обеспечивает основное усиление и частотную избирательность приемника.

Детектор (Д) выделяет закон модуляции сигнала, т.е. извлекает полезную информацию.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ РЛС

Основные технические характеристики РПрУ:

Чувствительность приемника $P_{пр \min}$ это минимальная мощность сигнала на его входе, при которой еще возможен устойчивый прием и обнаружение отраженных сигналов с заданной вероятностью.

Различают предельную и реальную чувствительность.

Предельной чувствительностью приемника $P_{пр.\min}$ называют такую минимальную мощность сигнала на входе приемника, которая обеспечивает на выходе его линейной части (входе детектора) отношение по мощности сигнала к шуму, равное единице.

$$P_{пр \min} = kT_0 P_{эф} \nu (t_A - 1 + K_{ш пр})$$

где: $t_A = (K_{ш А} - 1)/T_0$ - эффективная шумовая температура антенны;

$P_{эф}$ - эффективная (шумовая) полоса пропускания РПрУ;

$K_{ш пр}$ - коэффициент шума РПрУ;

ν - коэффициент различимости;

$T_0 = 293 \text{ K}$ - стандартная шумовая температура;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/С}$ - постоянная Больцмана.

Реальной чувствительностью приемника $P_{p.min}$ называют такую мощность сигнала на его входе, которая обеспечивает на выходе линейной части приемника отношение сигнал/шум, равное коэффициенту различимости q .

Реальная и предельная чувствительность связаны зависимостью:

$$P_{p.min} = P_{пр.min} \times q$$

Коэффициент различимости численно равен минимально допустимому отношению сигнал/шум на выходе линейной части приемника, при котором сигнал на выходе приемника может быть уверенно обнаружен.

Чувствительность приемника тем выше, чем меньше величина $P_{пр.min}$. В современных приемниках РЛС $P_{пр.min} = 10^{-13} - 10^{-14} \text{ Вт}$.

Чувствительность приемника РЛС ограничивается его собственными шумами. Они возникают в антенно-волноводном тракте, сопротивлениях, электронных лампах и полупроводниковых приборах.

Причинами шумов являются беспорядочное тепловое движение электронов в проводниках, неравномерное излучение электронов катодами в электронных лампах и т.д. С увеличением температуры уровень собственных шумов возрастает. Интенсивность шумов весьма мала. Однако проходя через приемник с большим усилением, они создают на его выходе напряжение, способное привести в действие оконечное устройство. На экране индикатора они наблюдаются в виде шумовой дорожки.

Динамический диапазон приемника показывает отношение максимального и минимального входных сигналов, в пределах которого он еще обеспечивает нормальную работу. Важность динамического диапазона связана с наличием на его входе помех и большого разброса амплитуд полезных сигналов. Количественно динамический диапазон оценивается выраженным в децибелах отношением максимального входного сигнала,

обработка которого приемником производится еще с допустимыми искажениями, к чувствительности приемника,:

$$Д=10 \times \lg (P_{\text{пр. max}} / P_{\text{пр. min}})$$

Динамический диапазон приемных систем современных РЛС должен быть не менее 70 - 80 дБ. Его расширение достигается за счет повышения чувствительности приемника, применения схем регулирования усиления и использования специальных усилительных приборов.

Усилительные свойства приемника характеризуются **коэффициентом усиления**. Различают коэффициент усиления по мощности K_P и коэффициент усиления по напряжению K_U .

Коэффициент усиления по мощности – это отношение мощности сигнала на выходе приемника $P_{\text{вых.}}$ к мощности на его входе $P_{\text{вх.}}$:

$$K_P = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}$$

Коэффициент усиления по напряжению определяется аналогично:

$$K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$$

Коэффициент усиления определяется в относительных единицах или децибелах:

$$K_{U\text{дб}} = 20 \lg K_U$$

$$K_{P\text{дб}} = 10 \lg K_P$$

В современных приемниках общее усиление может достигать $K_P = (0,1-10) \times 10^{13}$ или соответственно $K_P = 120 - 140$ дБ.

Избирательность показывает возможность устойчивого приема полезного сигнала в условиях наличия других сигналов. (Избирательность может быть пространственная, частотная, временная и т. п.).

Частотную избирательность позволяет оценить ширина его амплитудно-частотной характеристики. Амплитудно-частотной характеристикой называют зависимость модуля коэффициента усиления от частоты (рисунок 4).

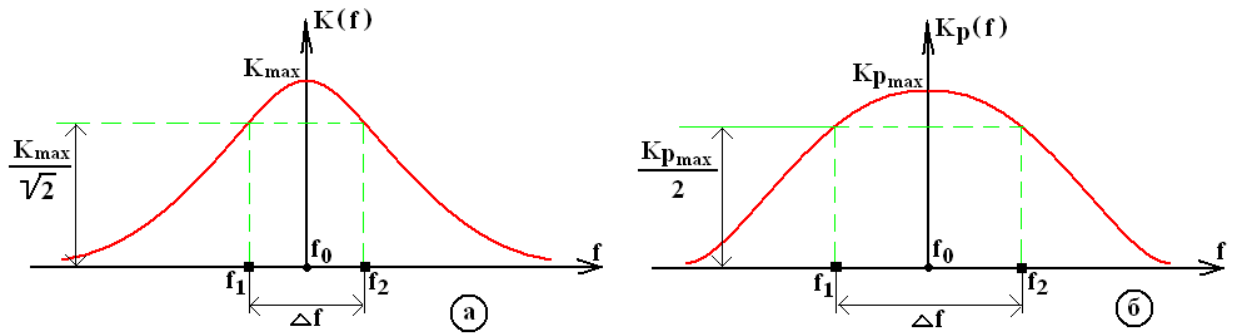


Рис.4. Амплитудно-частотная характеристика

Количественно частотная избирательность приемника характеризуется его **полосой пропускания** Δf . Полоса пропускания определяется как разность частот f_2 и f_1 , для которых K уменьшается в $\sqrt{2}$, а K_p – в два раза от своего максимального значения. Избирательность приемника тем выше, чем ближе форма его амплитудно-частотной характеристики к П-образной.

Диапазон рабочих частот определяется значением крайних частот, обрабатываемых приемником. Он определяется следующими требованиями:

- приемник должен допускать настройку на любую частоту диапазона;
- характеристики приемника в этом диапазоне должны изменяться в заданных пределах.

Зачастую диапазон рабочих частот называют по длине волн, обрабатываемых приемником. В диапазоне СВЧ, например, различают приемники сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов.

Помехоустойчивостью приемника называют его способность обеспечивать достоверное выделение полезного сигнала при действии различного рода помех.

Таким образом, качество выполнения приемной системой задач в составе РЛС определяется ее техническими характеристиками, основными из которых являются: чувствительность, динамический диапазон, коэффициент усиления, избирательность, диапазон рабочих частот, помехоустойчивость.

К основным эксплуатационным характеристикам радиоприемников относятся:

Электромагнитная совместимость (ЭМС) - это возможность совместной работы радиоэлектронной аппаратуры с другой аппаратурой, которая создает мешающее радиоизлучение.

Надежность работы, которая оценивается средним временем или вероятностью безотказной работы. Эта характеристика зависит как от выбранной структурно-функциональной схемы приемника, так и от надежности отдельных элементов схемы, их количества, облегченных режимов работы наиболее важных элементов, в особенности электронных приборов. Главным направлением повышения надежности является использование интегральной техники, а также дублирование и резервирование наименее надежных элементов или целых узлов приемника.

Габариты и масса приемника. Линейные размеры, занимаемый объем, а также масса часто являются одними из основных характеристик приемников, устанавливаемых на летательных аппаратах, особенно малоразмерных.

Ремонтопригодность, определяющая характер устранения неисправностей, т.е. возможность замены элементов, целых блоков или приемника в целом.

К основным производственно - экономическим характеристикам радиоприемников относятся: стоимость приемника, сроки морального износа, соответствие мировым стандартам, степень унификации.

3. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ ВООРУЖЕНИЯ ЗРВ

3.1. РПрУ импульсной РЛС

Используется в РЛС обнаружения на средних и больших высотах, для работы на максимально возможных дальностях в условиях постановки противником помех. Диапазон длин волн – дециметровый.

Основные требования, предъявляемые к ее РПрУ:

- оптимальная обработка и измерение параметров импульсного ЗС двух видов: простой прямоугольный радиоимпульс и радиоимпульс с линейной частотной модуляцией;
- высокая чувствительность;
- возможность быстрой перестройки частоты.

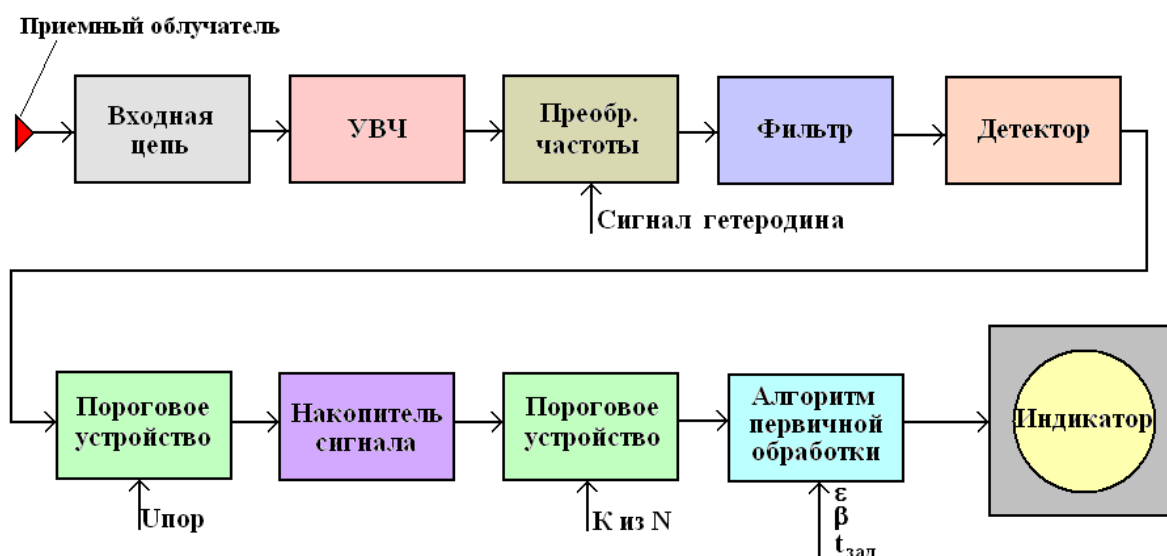


Рис.5. Структурная схема радиоприемного устройства РЛС обнаружения целей на средних и больших высотах (вариант)

Построено по схеме супергетеродинного приемника. Реализует обработку обоих видов зондирующих сигналов с помощью оптимальных фильтров. Приемник способен обнаруживать цели в автоматическом режиме, для чего в состав приемника включены пороговые устройства (факт превышения принятым сигналом порога воспринимается как обнаружение цели). Для повышения качества обнаружения сигналов в РПрУ применяется последетекторное (некогерентное) накопление сигналов и повторная проверка на превышение порога.

Особенностью данной РЛС является отсутствие собственных вычислительных средств, поэтому для дальнейшей обработки РЛИ применяются вычислительные мощности командного пункта ЗРС.

3.2. РПрУ непрерывной РЛС

Используется в РЛС обнаружения на малых высотах на дальности прямой видимости в условиях постановки противником помех. Диапазон длин волн – сантиметровой.

Основные требования, предъявляемые к РПрУ:

- оптимальная обработка и измерение параметров ЗС двух видов: немодулированный непрерывный сигнал и непрерывный сигнал с линейной частотной модуляцией;
- высокая чувствительность;
- возможность быстрой перестройки частоты.

Приемное устройство такой станции имеет вид, показанный на рисунке 6.

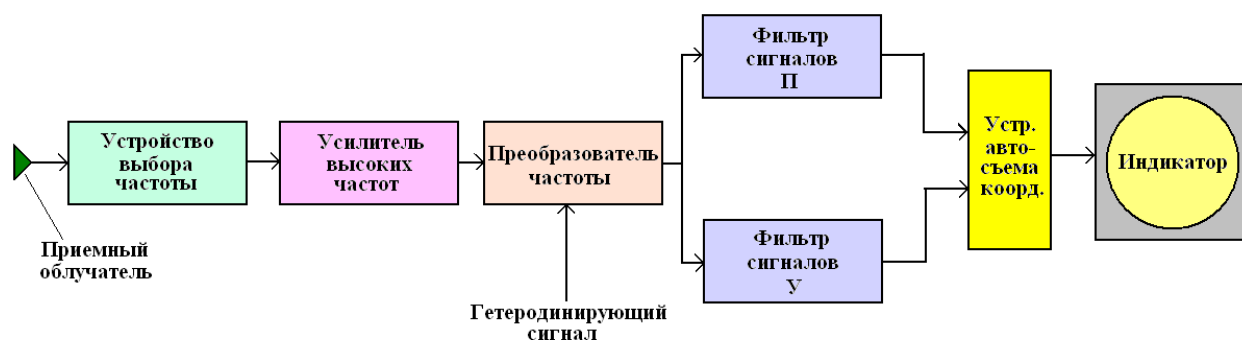


Рис.6. Структурная схема радиоприемного устройства станции обнаружения целей на малых высотах (вариант)

Основными элементами приемника являются усилитель высоких частот, преобразователь частоты принятого сигнала и линейка частотных фильтров.

Задача **усилителя высоких частот** – усиление принятого сигнала до величины, необходимой для дальнейшей уверенной его обработки (извлечения полезной информации).

Преобразователь частоты позволяет понизить частоту принятого сигнала до некоторого промежуточного значения, на котором могут работать

последующие каскады приемника. Полезная информация при этом сохраняется.

Линейка частотных фильтров представляет собой набор фильтровых каналов, настроенных на различные резонансные частоты. Количество таких фильтров зависит от того, какие пределы разрешения воздушных объектов по тем или иным координатам заложены в технические характеристики станции.

Получив на выходе приемного устройства необходимый полезный сигнал можно отобразить его на экране контрольного индикатора. При этом станция может не только определить наличие воздушного объекта, но и оценить некоторые его характеристики. Например, скорость полета и направление движения относительно РЛС.

3.2. РПрУ РЛС управления стрельбой

Используется в качестве многофункциональной РЛС управления стрельбой в условиях постановки противником помех. Диапазон длин волн – сантиметровый.

Основные требования, предъявляемые к ее РПрУ:

- оптимальная обработка и измерение параметров различных видов сигналов:

при поиске цели КППРИ;

при визировании цели КППРИ;

при захвате и визировании ракеты пачка ответных импульсов;

при приеме бортовой информации ракеты - ее импульсный код;

- высокая чувствительность;

- возможность быстрой перестройки частоты.

Радиоприемное устройство многофункционального лоатора представляет собой совокупность нескольких специализированных приемников (рис. 7):

– для параллельного обзора пространства по координатам дальность-скорость при поиске целей используется многоканальный корреляционно-фильтровой приемник;

– для измерения координат целей используется корреляционно-фильтровой приемник, реализующий дискриминаторы для всех измеряемых координат;

– для захвата ракет, измерения их координат, приема бортовой информации по линии связи ракета-РЛС используется широкополосный приемник с некогерентным накоплением сигналов.

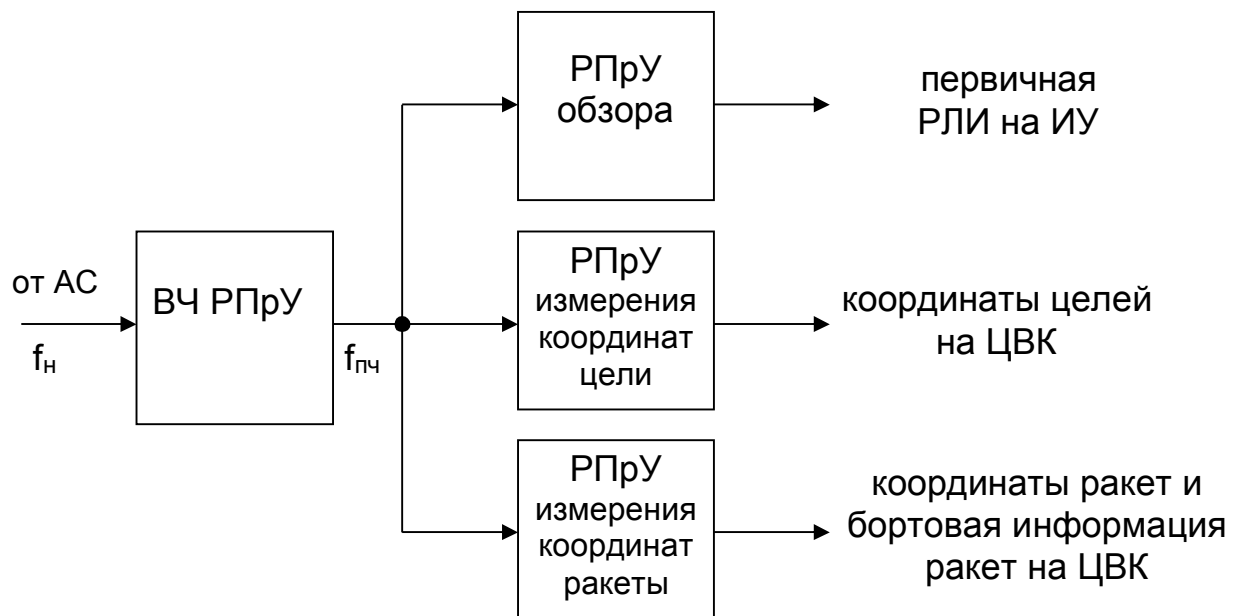


Рис. 7. Структура РПрУ

Перестройка частоты всех приемников осуществляется синхронно с изменением несущей частоты ЗС.

Для защиты от АШП, действующих по боковым лепесткам ДН, в высокочастотной части РПрУ реализован многоканальный квадратурный автокомпенсатор помех. В случае воздействия АШП по главному лепестку ДН, приемник, совместно с вычислительными средствами УУиС, обеспечивает определение направления на помехопостановщик (определяет *пеленг* постановщика помехи).

Для защиты от пассивных помех (ПП) в состав всех каналов целевых приемников включены частотно-временные селекторы.

Во всех приемниках используются цепи автоматической регулировки усиления (АРУ) и автоматической регулировки фазы (АРФ):

- в измерительных приемниках для устранения аппаратных (т.е. вносимых некорректными настройками аппаратуры) ошибок в измерении координат;

- в обзорном приемнике (используется только АРУ по шумам) для стабилизации уровня ложных тревог при автоматическом принятии решения о наличии или отсутствии цели.