

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

Занятие № 6. Принципы построения РЛС, используемых в системах вооружения ЗРВ

Учебные вопросы

1. Задачи, решаемые РЛС в системах вооружения ЗРВ.
2. Структурная схема РЛС с квазинепрерывным зондирующим сигналом.
3. Особенности построения антенных систем, используемых в системах вооружения ЗРВ.

1. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ РЛС В СИСТЕМАХ ВООРУЖЕНИЯ ЗРВ

Совокупность сведений о наличии и количестве целей в отдельных элементах пространства, об их координатах, параметрах движения и характеристиках называют радиолокационной информацией (РЛИ).

Техническими средствами получения РЛИ являются радиолокационные станции (РЛС), которые, как правило, объединены со средствами передачи данных и управления в радиолокационные системы.

Каждая РЛС содержит большое число взаимосвязанных устройств, которые можно рассмотреть на примере типовой РЛС (рис. 1).

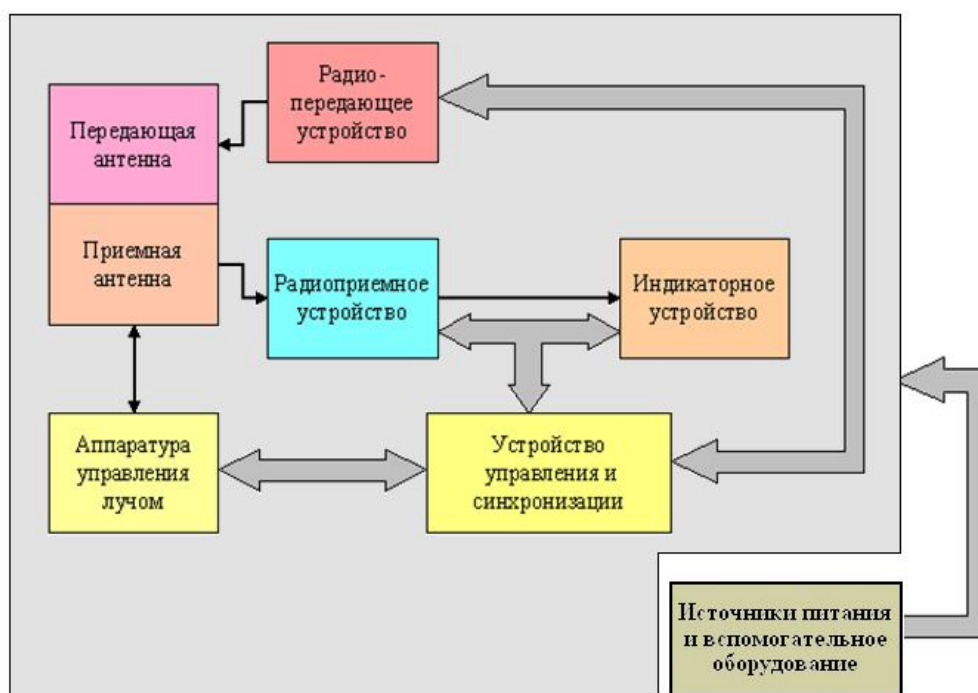


Рис.1. Упрощенная структурная схема типовой РЛС

Состав и назначение элементов типовой РЛС

Антенная система (АС) (в общем случае включает приемную и передающую антенны) и *аппаратура правления лучом*. Предназначены для формирования диаграмм направленности на передачу и прием и управления их положением в пространстве. Как правило, к антенной системе относят волноводные тракты между АС приемником и передатчиком.

Радиопередающее устройство (РПУ) предназначено для формирования зондирующего сигнала (ЗС) с заданным законом модуляции. В общем случае РПУ может использоваться не только для формирования ЗС, но и для генерации других сигналов, например импульсных последовательностей для передачи команд управления на борт ракеты.

Радиоприемное устройство (РПрУ) предназначено для усиления и выделения принятых от целей (ракет) сигналов на фоне помех, решения задач автоматического обнаружения и измерения координат объектов. В общем случае РЛС может иметь в своем составе несколько приемных устройств, в зависимости от круга задач решаемых станцией.

Индикаторное устройство (ИУ) предназначено для наглядного отображения информации о воздушной обстановке и состоянии аппаратуры РЛС. Следует обратить внимание на то, что в состав индикаторных устройств входит большинство органов управления локатором, то есть ИУ представляют собой рабочие места операторов РЛС.

Устройство управления и синхронизации (УУиС) предназначено для управления режимами работы РЛС, синхронизации работы всех ее элементов и строится, как правило, с использованием вычислительной техники. УУиС включает в себя генераторы опорных сигналов (как импульсных так и гармонических), специализированные вычислители и ЭВМ общего назначения. Именно вычислительные средства УУиС используются для решения задач следающего измерения координат объектов, расчета их траекторий, пуска и наведения ракет.

Источники питания и вспомогательное оборудование (на рис.1 не показаны) обеспечивают формирование необходимых питающих напряжений для аппаратуры РЛС, вентиляцию и охлаждение аппаратуры, освещение рабочих мест, связь.

Основные тактические характеристики РЛС:

зона видимости – область пространства, в пределах которой обнаружение (измерение координат) целей осуществляется с заданными показателями качества (D и F);

определяемые координаты и параметры движения целей – к ним относятся азимут, угол места, дальность, радиальная скорость, возможности по анализу траекторий и т.д.;

разрешающая способность – характеризует возможности обнаружения и измерения координат (параметров движения) одной из целей в присутствии других, разрешающая способность рассматривается по каждой из определяемых координат, и если цели разрешаются хотя бы по одной из них, то они считаются наблюдаемыми отдельно;

точность измерения координат – определяется возможностями измерителя и может не совпадать со значением разрешающей способности по соответствующей координате;

помехозащищенность – способность РЛС эффективно работать (выполнять боевую задачу) в условиях ведения противником радиоразведки и постановки помех, соответственно скрытность и помехоустойчивость;

надежность – способность РЛС нормально функционировать в заданных условиях эксплуатации.

Основные технические характеристики РЛС:

рабочая длина волны λ или несущая частота f_0 излучаемых сигналов;

закон модуляции зондирующего сигнала;

мощность излучаемых сигналов;

чувствительность РПрУ;

основные параметры антенных устройств (форма и ширина диаграммы направленности, коэффициент усиления антенны и др.);

способы обзора пространства;

масса и габариты РЛС;

мощность, потребляемая от источников питания.

Поскольку технические и тактические характеристики тесно связаны между собой, часто говорят о тактико-технических характеристиках – ТТХ.

Рассмотрим упрощенную структуру радиолокационной системы, входящей в состав ЗРС (рис. 2, 3).

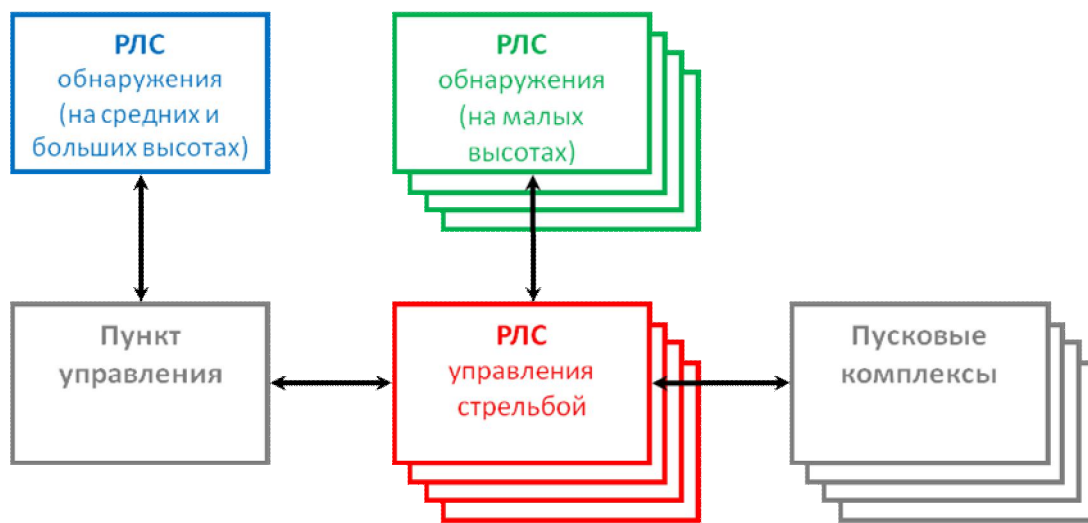


Рис. 2. Упрощенная структура радиолокационной системы, входящей в состав ЗРС

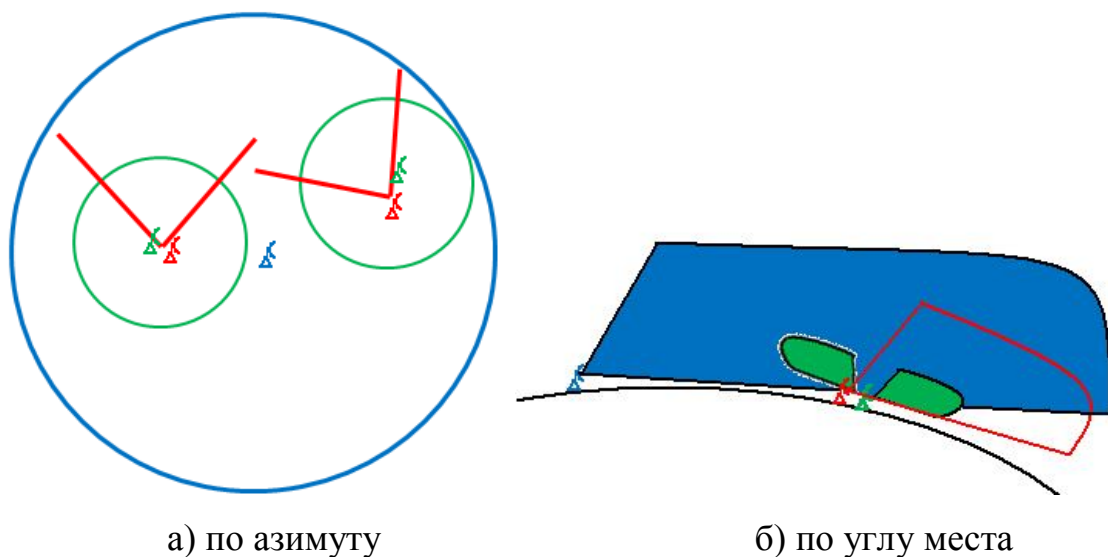


Рис. 3. Взаимная ориентация зон видимости РЛС на местности.

РЛС обнаружения (на средних и больших высотах) строятся на базе импульсных локаторов и предназначены для обзора воздушного пространства, определения сферических координат целей (азимут, угол места и дальность) и их государственной принадлежности. Зона видимости таких станций (рис. 3. а, б), должна обеспечивать возможность оценки воздушной обстановки в зоне действия всей ЗРС, поэтому их дальность действия максимальна (300 и более километров), а по обзор азимуту организуется круговой. Количество одновременно обрабатываемых целей может достигать сотен. Необходимо отметить, что на малых высотах возможности по обнаружению целей ограничены дальностью прямой видимости (несколько десятков километров). Координаты и параметры движения целей, измеренные РЛС обнаружения, служат исходными данными для решения пунктом управления задач распределения целей между РЛС управления стрельбой и выдачи им целеуказания.

РЛС обнаружения (на малых высотах) строятся на базе непрерывных доплеровских локаторов и предназначены для кругового обзора воздушного пространства на малых и предельно малых высотах, как правило, менее одного километра (рис. 3. а, б), измерения координат целей (азимут и радиальная скорость) и вычисления координаты дальности. Зона обзора таких станций определяется дальностью прямой видимости и не превышает величины 30-50 километров на высоте 50 метров (на высоте 1000 метров более 100 км). Они размещаются в непосредственной близости от РЛС управления стрельбой и обеспечивают обнаружение и измерение координат целей, появляющихся из-за линии горизонта.

РЛС управления стрельбой строятся на базе доплеровских локаторов с квазинепрерывным ЗС и предназначены для поиска целей по данным целеуказания или автономного поиска, точного измерения их координат (две угловых координаты, дальность и радиальная скорость), определения государственной принадлежности, захвата на сопровождение и точного измерения трех координат ракет (две угловых координаты, дальность),

организации линии радиосвязи РЛС - ракета (для передачи команд управления на ракету и приема от нее бортовой информации) и подсвета цели для работы пеленгатора ракеты и радиовзрывателя. Измеренные значения координат объектов служат исходными данными для решения задач пуска и наведения ракет на цели. Зона видимости современных стрельбовых РЛС по угловым координатам ограничена размерами рабочего сектора (рис. 3 а), в пределах которого обеспечивается высокий темп обновления информации об объектах (период обращения к каждому из объектов составляет доли секунд).

2. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЛС С КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫМ ЗОНДИРУЮЩИМ СИГНАЛОМ

Рассматриваемая РЛС относится к станциям управления стрельбой зенитными управляемыми ракетами (ЗУР) и является многофункциональной. Ее упрощенная структурная схема приведена на рис. 4.

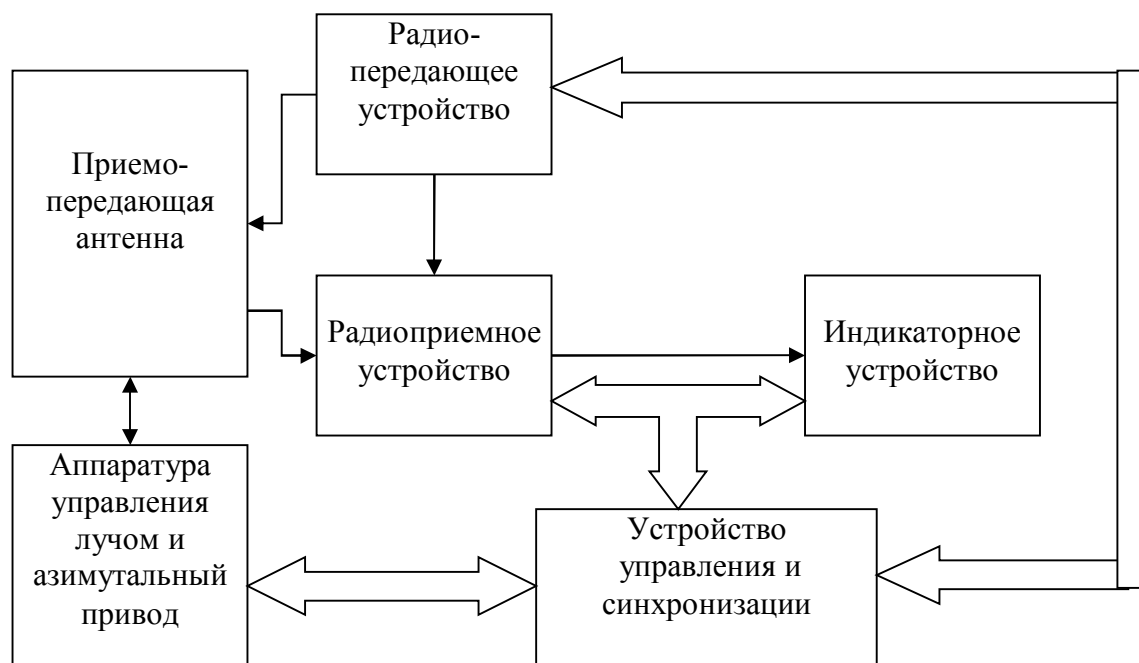


Рис. 4. Упрощенная структурная схема РЛС управления стрельбой.

Состав и характеристика элементов РЛС с квазинепрерывным ЗС

Основным элементом АС является *приемо-передающая антенна* на базе фазированной антенной решетки (ФАР) проходного типа. Возможность использования одной антенны на прием и передачу обусловлена:

- при работе по целям применением ЗС в виде когерентной пачки прямоугольных радиоимпульсов (КППРИ);
- при работе по ракетам применением импульсных кодов в линии радиосвязи РЛС-ракета.

Диаграмма направленности антенны игольчатая, ширина ее главного лепестка зависит от выбранного режима работы и может составлять величину менее одного градуса. Диапазон длин волн - сантиметровый.

Рабочее положение АС – наклонное (т.е не вертикальное). ФАР, совместно с *аппаратурой управления лучом*, обеспечивает возможность электронного перемещения луча в вертикальной и наклонной плоскостях, относительно нормали проведенной к антенному полотну. Максимальное отклонение луча в обеих плоскостях ограничено размерами рабочего сектора. Время переноса луча составляет сотни микросекунд.

Для изменения положения рабочего сектора применен азимутальный привод, обеспечивающий механический разворот антенной системы и контейнера с приемопередающей аппаратурой.

Для определения государственной принадлежности целей в состав АС входит ФАР наземного радиозпросчика.

Для защиты от активных шумовых помех (АШП), действующих по боковым лепесткам ДН, используются дополнительные слабонаправленные компенсационные антенны, также реализованные на базе ФАР.

РПУ собрано по многокаскадной схеме и обеспечивает формирование различных видов сигналов в различных режимах работы РЛС:

- при поиске и визировании цели формируется КППРИ – ЗС;
- при захвате и визировании ракеты формируется пачка запросных импульсов;

- при передаче команд управления на борт ракеты формируется их импульсный код;

- при подсвете цели для работы бортовой аппаратуры ракеты (пеленгатора или радиовзрывателя) формируются одиночные радиоимпульсы большой длительности.

Для обеспечения требуемой дальности обнаружения и возможности «силовой борьбы» с постановщиками активных помех передатчик формирует сигналы с высокой энергией, импульсная мощность может составлять десятки киловатт, средняя - единицы киловатт.

Для обеспечения требуемой точности измерения радиальной скорости целей в РПУ обеспечивается высокая стабильность частоты ЗС, кроме того сигнал с возбuditеля передатчика используется в приемнике в качестве гетеродинного, для компенсации остаточных уходов частоты.

В целях повышения скрытности работы и помехоустойчивости РЛС в РПУ предусмотрена возможность быстрой смены номинала частоты ЗС.

РПРУ многофункционального локатора представляет собой совокупность нескольких специализированных приемников:

- 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.

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

Для защиты от АПП, 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 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.

ИУ обеспечивает наглядное отображение информации о воздушной обстановке, командах, поступающих с пункта управления, и состоянии аппаратуры.

Информация о воздушной обстановке отображается:

- по данным пункта управления и РЛС обнаружения маловысотных целей на индикаторах кругового обзора в координатах азимут-дальность и азимут-скорость соответственно;
- по данным собственных РПрУ на растровых (прямоугольных двухкоординатных) индикаторах в координатах дальность-скорость и дальность-угол.

Информация о состоянии аппаратуры отображается на информационных табло (мнемотабло) и светодиодных индикаторах на передних панелях блоков ИУ. Там же размещены органы управления аппаратурой.

УУиС управляет режимами работы многофункциональной РЛС, синхронизирует все ее элементы и строится на базе вычислительного

комплекса. УУиС включает в себя генераторы опорных сигналов (как импульсных, так и гармонических), специализированные вычислители и ЭВМ общего назначения.

Устройство управления в реальном масштабе времени собирает информацию:

- о состоянии и режимах работы всех элементов аппаратуры;
- о положении всех органов управления на рабочих местах операторов;
- о командах, поступающих с пункта управления.

На основе анализа собранной информации в соответствии с программами, хранящимися в памяти ЭВМ, УУиС обеспечивает:

- формирование и выдачу во все элементы аппаратуры цифровых команд управления режимами работы;
- формирование и выдачу на ИУ цифровой информации о состоянии и включенных режимах работы аппаратуры.

Вычислительные средства УУиС используются для решения задач автоматического сопровождения целей, пуска и наведения ракет и информационного обмена с пунктом управления.

3. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ ВООРУЖЕНИЯ ЗРВ

АС с электронным перемещением луча называются *фазированными антенными решетками*. Решетками потому, что конструктивно *управляемые излучатели* (УИ) располагаются в виде решетчатой структуры, образуя антенное полотно, а фазированными потому, что имеется возможность управлять начальной фазой сигнала каждого УИ.

В общем случае антенное полотно представляет собой каркас, в котором расположены антенные элементы и линии связи, для управления каждым УИ. Всего в составе ФАР может быть несколько тысяч таких излучателей. Они идентичны по своим характеристикам, одинаково

ориентированы в пространстве и располагаются на некотором фиксированном расстоянии друг от друга, образуя строки и столбцы антенной решетки.

УИ, в рассматриваемой РЛС, состоит из управляемого ферритового фазовращателя (ФВ), двух диэлектрических (ситалловых) излучателей и схемы управления (рис. 5).

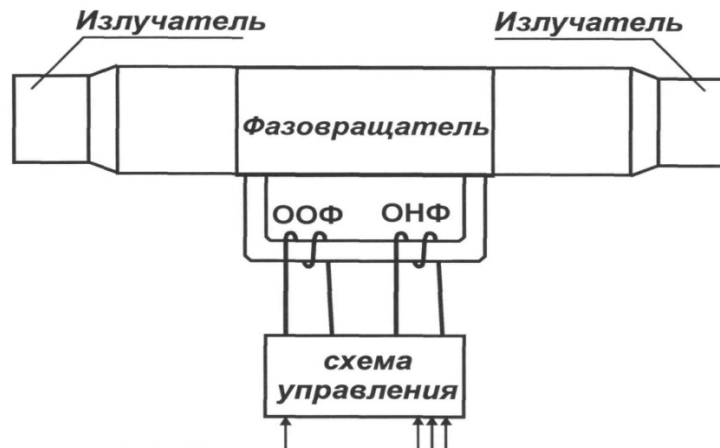


Рис. 5. Структура излучающего элемента

Изменение фазового сдвига ФВ происходит по командам, формируемым специальным вычислительным устройством - *цифровым вычислителем фазы (ЦВФ)*.

Энергия, необходимая для формирования зондирующего сигнала, подводится к ФАР с помощью *передающего облучателя*, как правило, это *слабонаправленный пирамидальный передающий рупор*.

Процесс работы ФАР на передачу можно представить следующим образом.

СВЧ сигнал передатчика излучается передающим облучателем в виде сферической электромагнитной волны в направлении антенного полотна ФАР.

ЦВФ рассчитывает для заданного углового положения луча требуемое фазовое распределение на антенном полотне. Это распределение можно представить суммой двух компонентов:

- первый компонент необходим для преобразования сферической слабонаправленной падающей волны в плоскую узконаправленную, ориентированную по нормали к антенному полотну;
- второй компонент необходим для наклона полученного узконаправленного луча в выбранном угловом направлении.

При прохождении полотна ФАР сферическая волна преобразуется в плоскую, имеющую необходимый наклон, что ориентирует луч в выбранном направлении (рис. 6).

Действие **1** и **2** компонентов фазового распределения

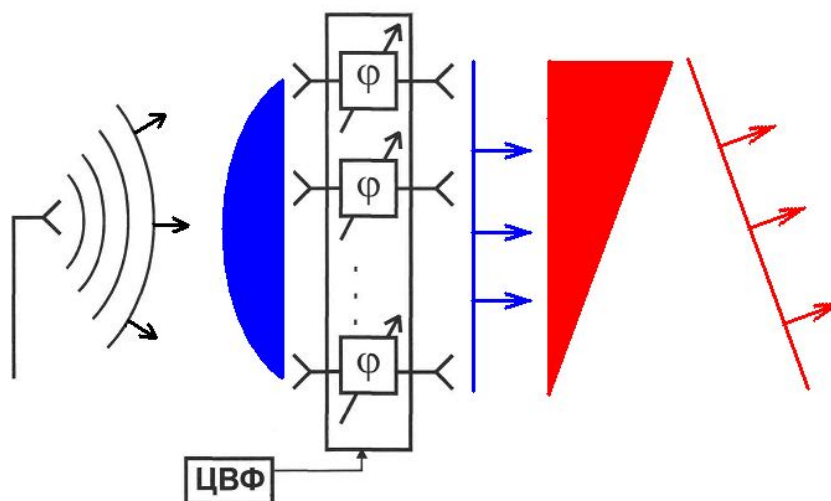


Рис. 6. Принцип работы ФАР.

Аналогично фазированная антенная решетка работает и при приеме отраженного от цели сигнала. При этом падающая плоская волна преобразуется в сферическую, поскольку состояние фазовращателей осталось прежним.

Приемный и передающий облучатели входят в состав блока облучателей. Так как оба они должны находиться в фокусе антенны, а в одной точке расположить два облучателя невозможно, то для обеспечения их пространственного разнеса и развязки между приемными передающим трактами используется *поляризационный фильтр* (рис. 7).

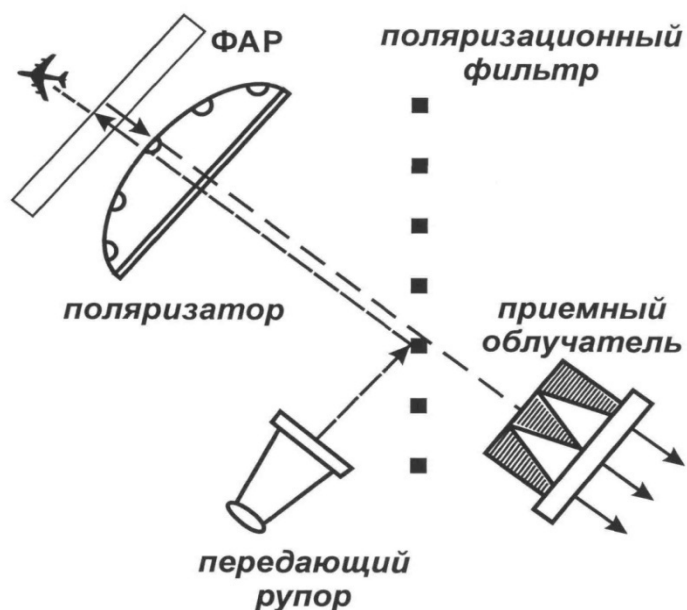


Рис. 7. Принцип действия поляризационного фильтра.

Он представляет собой систему металлических струн, натянутых параллельно вектору напряженности электрического поля излучаемой ЭМВ. Расстояние между струнами выбрано таким, чтобы падающий на них зондирующий сигнал (волна с горизонтальной поляризацией) отражался в плоскость антенной решетки, а принимаемый отраженный (это волна с вертикальной поляризацией) проходил практически без потерь в приемный облучатель.

После отражения от поляризационного фильтра СВЧ энергия от передатчика проходит через поляризатор, преобразующий линейную поляризацию волны в круговую.

Поляризатор представляет собой систему плоских параллельных металлических пластин, образующих сферическую поверхность. Пластины расположены под углом 45° к направлению вектора электрического поля падающей волны, которую можно представить в виде суммы двух составляющих: параллельной плоскости поляризатора и перпендикулярной ей.

Первая из них проходит между пластинами как в волноводе и изменяет свою скорость, а вторая (перпендикулярная) проходит через устройство без

изменения фазовой скорости. В результате на выходе поляризатора между ними возникает фазовый сдвиг. Ширина пластин выбрана такой, чтобы этот сдвиг составлял 90° и обеспечивал тем самым образование волны с круговой поляризацией и левым направлением вращения.

В пространстве ЗС отражается от цели. При этом сохраняется круговая поляризация, но направление ее вращения меняется на противоположное.

При работе АС на прием на поляризатор падает волна с круговой поляризацией и правым направлением вращения, которая после прохождения через него преобразуется в волну с линейной вертикальной поляризацией, проходит через поляризационный фильтр и фокусируется в приемной облучателе. Принцип действия поляризационного фильтра показан на рис. 6.

В рассматриваемой РЛС используется *суммарно-разностная обработка* принимаемых сигналов, поэтому приемный облучатель имеет три канала: один суммарный и два разностных и называется *моноимпульсным приемным облучателем* (МПО). Конструктивно он представляет собой систему рупоров, состоящую из основного облучателя и четырех дополнительных рупоров (рис. 8).

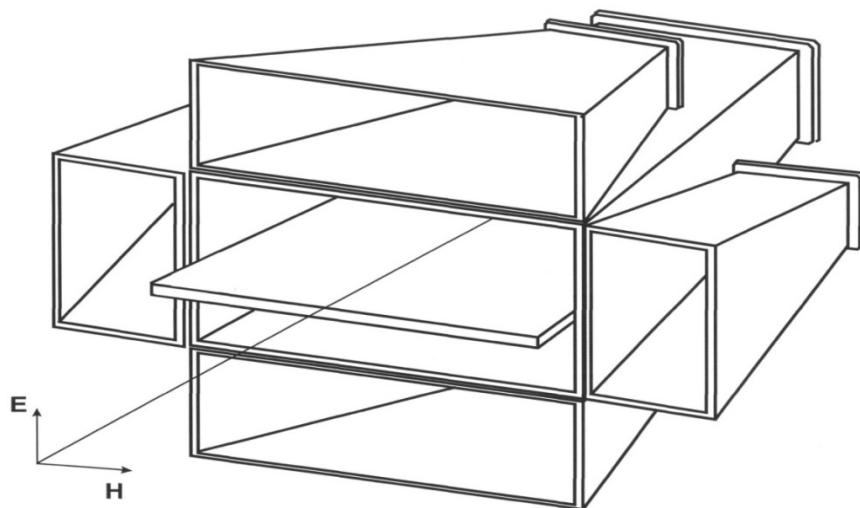


Рис. 8. Внешний вид моноимпульсного приемного облучателя.

Основным двухрупорным облучателем является сдвоенный прямоугольный волновод с общей стенкой в Н-плоскости. При своем возбуждении он формирует в каждой плоскости пеленгации по две

парциальные (то есть частичные) приемные диаграммы направленности (рис. 9), разнесенные в пространстве на половину ширины и имеющие единый фазовый центр.

Дополнительные рупоры располагаются попарно вертикально и горизонтально относительно основного облучателя и участвуют только в формировании разностных диаграмм. МПО имеет три выходных канала, сигналы которых с помощью волноводных тройников формируются из сигналов, принимаемых различными ДН приемного облучателя.

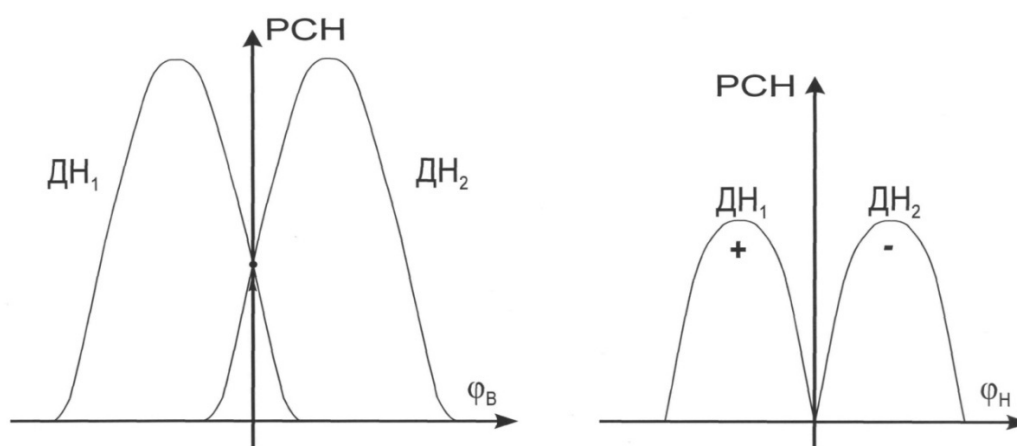


Рис. 9. Парциальные диаграммы направленности МПО.

Выход Σ основного облучателя формирует суммарный сигнал на основе принимаемой всеми рупорами СВЧ энергии.

Выход $\Delta\varphi_v$ формирует разностный сигнал в вертикальной плоскости.

Выход $\Delta\varphi_n$ - формирует разностный сигнал в наклонной плоскости.

Таким образом, с выходов МПО по приемному волноводному тракту, также состоящему из трех каналов, на входное приемное устройство сопровождения одновременно поступает три сигнала - суммарный и два разностных.

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

Повторить материал занятия.