

## ТЕМА №1. Теоретические основы построения систем вооружения зенитных ракетных войск.

### ЗАНЯТИЕ № 5. Принципы построения РЛС, используемых в системах вооружения ЗРВ.

#### Учебные вопросы

1. Задачи, решаемые РЛС в системах вооружения ЗРВ.
2. Состав и технические характеристики РЛС.
3. Структурные схемы РЛС, используемых в системах вооружения ЗРВ.

#### 1. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ РЛС В СИСТЕМАХ ВООРУЖЕНИЯ ЗРВ

Рассмотрим упрощенную структуру радиолокационной системы, входящей в состав зенитной ракетной системы (ЗРС) (рисунок 1, 2).

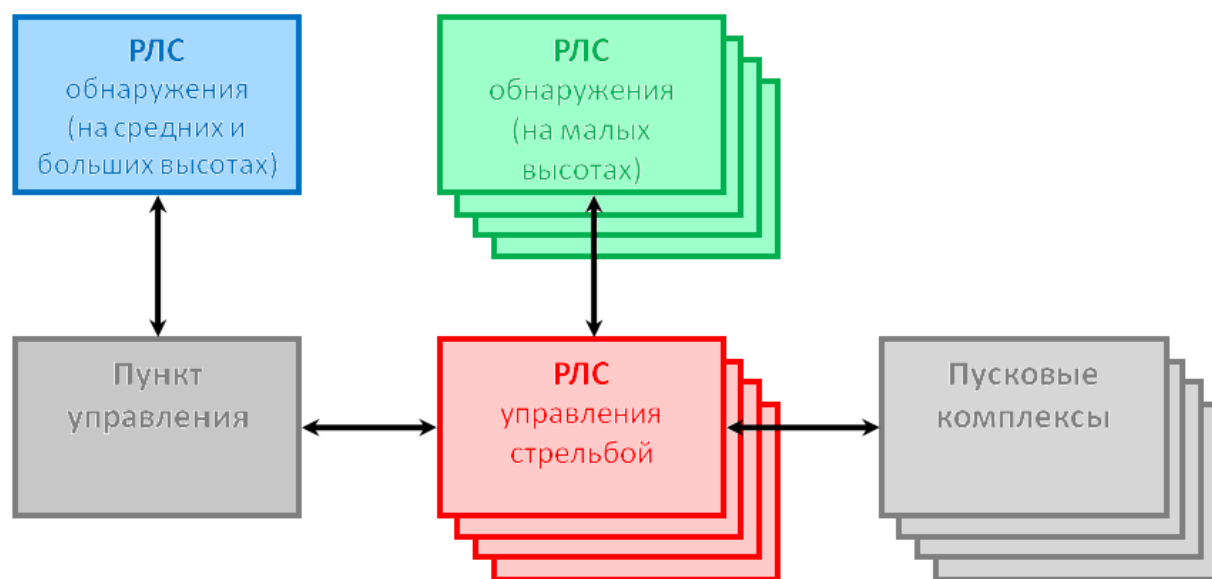


Рис.1. Упрощенная структура радиолокационной системы, входящей в состав ЗРС

Основными ее элементами являются радиолокационные станции (РЛС) обнаружения и управления стрельбой, системы сбора информации и управления, а также пусковые комплексы.

**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 (рисунок 2 а, б) должна обеспечивать возможность оценки воздушной обстановки в зоне действия всей ЗРС, поэтому их дальность действия максимальна (300 и более километров), а обзор по 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 задач распределения целей между РЛС управления стрельбой и выдачи им целеуказания пунктом управления.

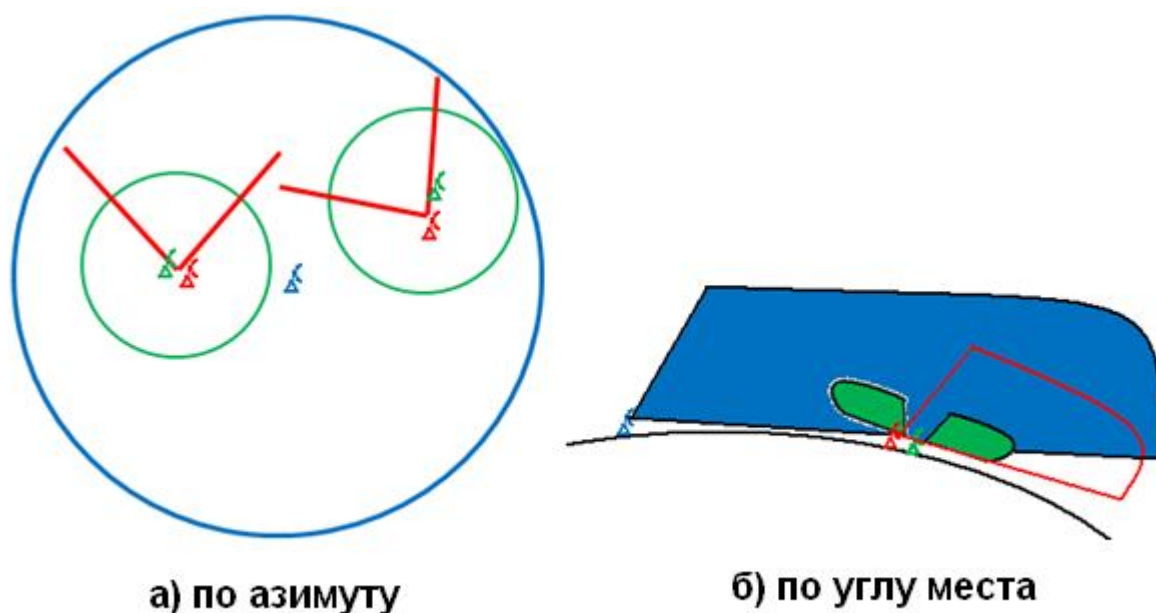


Рис.2. Взаимная ориентация зон видимости РЛС на местности

**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, измерения координат целей (азимут, радиальная скорость

и дальность). 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 со сложными зондирующими сигналами (ЗС) и предназначены для поиска целей по данным целеуказания или в режиме автономного поиска, точного измерения их координат (две угловых координаты, дальность и радиальная скорость), определения их 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, в пределах которого обеспечивается высокий темп обновления информации об объектах (период обращения к каждому из объектов составляет доли секунд).

## 2. СОСТАВ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЛС

Техническими средствами получения радиолокационной информации (РЛИ) являются 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 (рисунок 3).

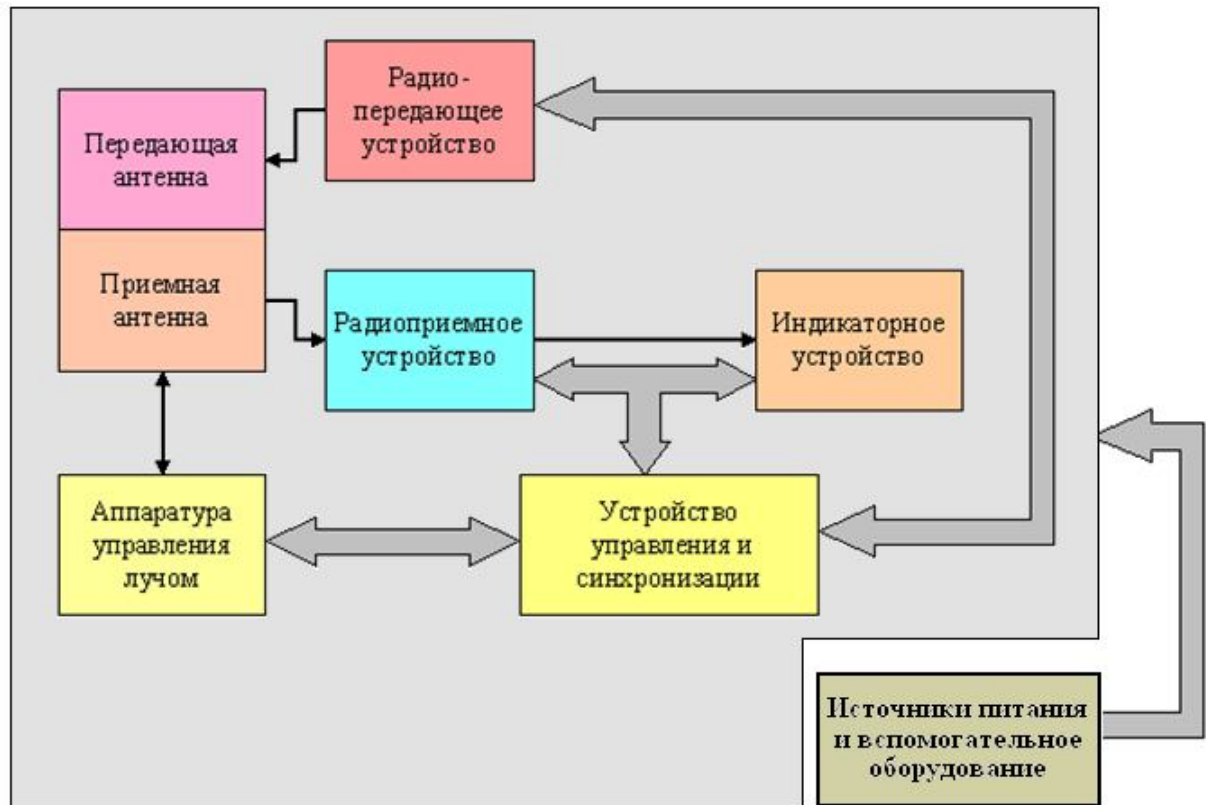


Рис.3. Упрощенная структурная схема типовой РЛС

### 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, соединяющие ее с 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 следящего измерения координат объектов, расчета их траекторий, пуска и наведения ракет.

**Источники питания и вспомогательное оборудование** 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 вероятностью не ниже заданной;

- **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 (скрытность и помехоустойчивость);

- **надежность** – способность РЛС нормально функционировать в заданных условиях эксплуатации.

#### **Основные технические характеристики РЛС:**

- **рабочая длина волны  $\lambda$  или несущая частота  $f_0$**  излучаемых сигналов ( $\lambda=c/f_0$ );

- **закон модуляции** зондирующего сигнала (немодулированные сигналы, прямоугольные импульсы, ЛЧМ сигналы и др.);

- **мощность излучаемых сигналов ( $P_{изл}$ )**;

- **чувствительность РПрУ ( $P_{пр. min.}$ )**;

- **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.

### **3. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ РЛС, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ ВООРУЖЕНИЯ ЗРВ**

Согласно рассмотренному рисунку №1 основными типами РЛС в системах вооружения ЗРВ являются РЛС обнаружения целей на средних и

больших высотах, РЛС обнаружения целей на малых высотах и РЛС управления стрельбой. Рассмотрим типовые структурные схемы этих станций.

Состав и назначение основных элементов типовых РЛС был рассмотрен в предыдущем вопросе, поэтому остановимся на некоторых особенностях построения станций.

Главной задачей **РЛС обнаружения целей на средних и больших высотах** является оценка воздушной и помеховой обстановки и своевременное обнаружение самолетов противника на большой дальности, что в свою очередь позволяет привести средства огневого подавления в готовность к бою и уничтожить противника на подступах к рубежу выполнения задачи. РЛС измеряет 3 координаты – азимут  $\beta$ , угол места  $\varepsilon$ , дальность  $D$ .

Особенностями такой РЛС (рисунок 4) являются:

1. Антенная система, представляющая собой приемо-передающую фазированную антенную решетку (ФАР) с большой площадью раскрытия.
2. Мощное радиопередающее устройство и чувствительный приемник.
3. Управление всеми режимами работы с командного пункта (КП) (пункта управления).
4. Отсутствие собственных вычислительных средств (для обработки РЛИ используются вычислительные мощности КП).

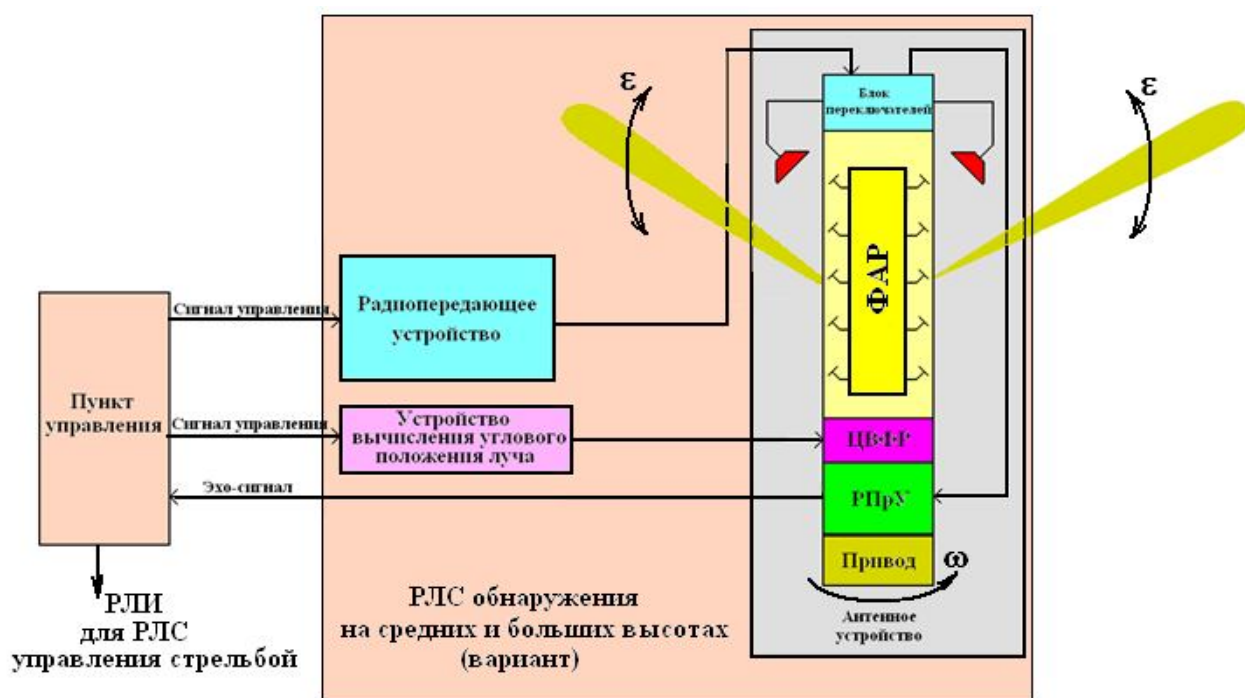


Рис.4. Вариант РЛС обнаружения целей на средних и больших высотах

Антенная система осуществляет круговое вращение с постоянной скоростью, а движение луча диаграммы направленности в вертикальной плоскости производится дискретно, в соответствии с установленной программой обзора пространства. Управление положением диаграммы направленности осуществляется устройством вычисления углового положения луча, а сопряжение этого устройства с ФАР производится с помощью цифрового вычислителя фазового распределения (ЦВФР), которое располагается в непосредственной близости от антенны. Радиоприемное устройство располагается в непосредственной близости от антенны, на опорно-поворотном устройстве с целью обеспечить минимальные потери полезного сигнала. При боевой работе управление такой РЛС, обработка принятых сигналов и отображение их на контрольных индикаторах осуществляется пунктом управления.

**РЛС обнаружения целей на малых высотах** также имеет свои особенности, исходя из основного предназначения:

1. Поскольку дальность обнаружения маловысотных целей ограничена



дальностью прямой видимости (40-50км на высоте  $H=50\text{м}$ ) необходимо повышать темп обновления информации о воздушной обстановке, который может составлять 3-4 секунды.

2. Для снижения влияния отражений ЗС от неподвижных местных предметов и подстилающей поверхности используется скоростной (доплеровский) канал обнаружения, позволяющий выбрать только сигналы, отраженные от подвижных объектов, т.е. целей.

Обзор пространства осуществляется непрерывным излучением сигнала передающего устройства при постоянной высокой скорости вращения антенной системы в азимутальной плоскости (рисунок 5).

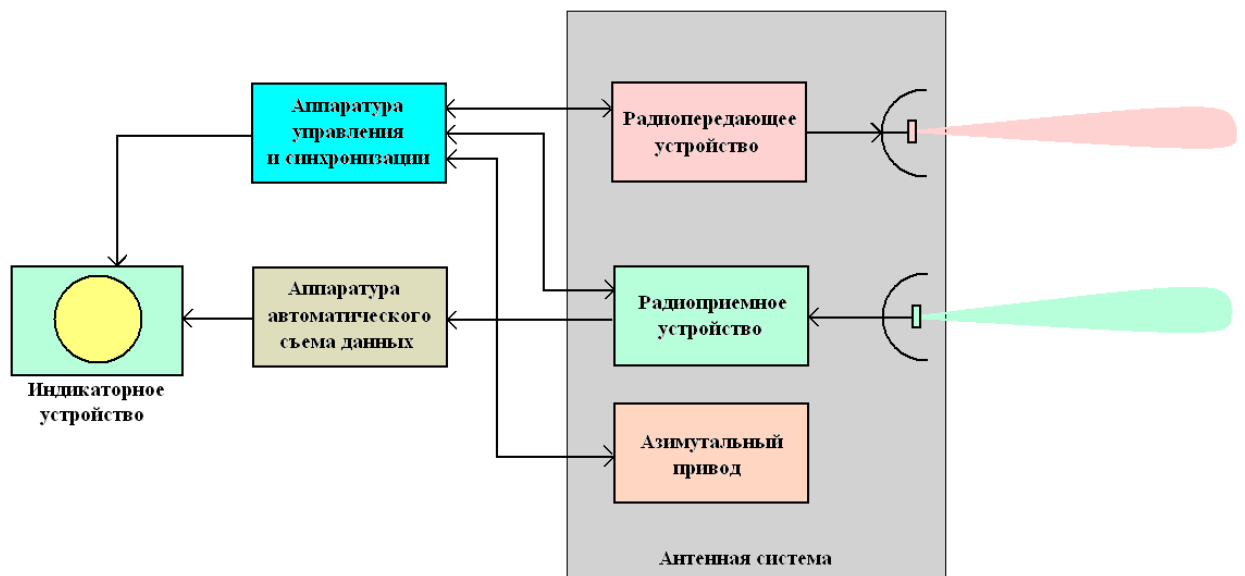


Рис.5. Вариант РЛС обнаружения целей на малых высотах

Приемное устройство также располагается в непосредственной близости от приемного облучателя антенной системы с целью уменьшения потерь полезного сигнала. Управление работой передатчика и приемника, а также оценка принятого сигнала осуществляется специальной аппаратурой, которая располагается в отдельной кабине. Вся система РЛС полностью автономна и может работать как отдельная система. Однако при использовании специальной аппаратуры сопряжения работа РЛС может осуществляться под управлением других станций. Роль такой станции может выполнять РЛС управления стрельбой.

**РЛС управления стрельбой** зенитными управляемыми ракетами (ЗУР) является многофункциональной. Она представляет собой более сложную структуру (рисунок 6).

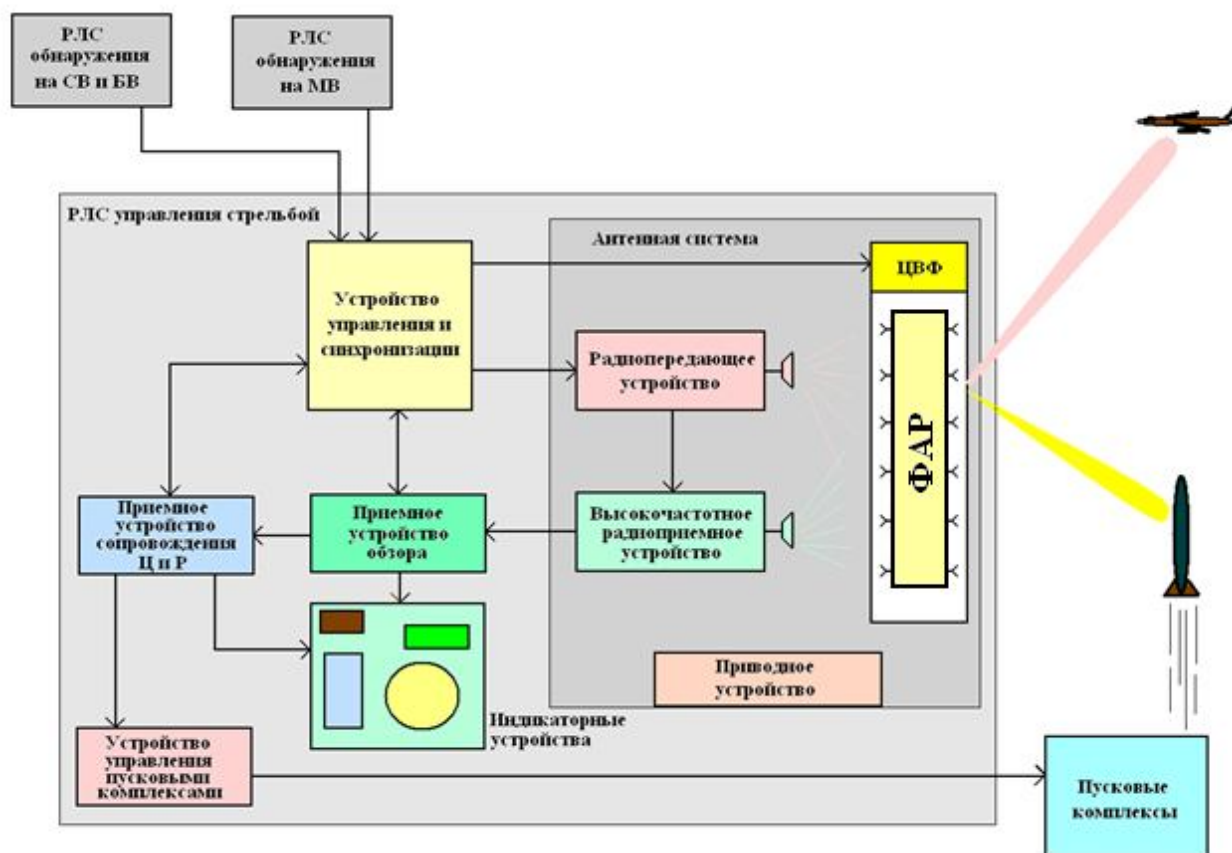


Рис.6. Вариант РЛС управления стрельбой

Круг задач такой станции гораздо шире. Это и обзор пространства, и сопровождение отдельных воздушных объектов, захват и наведение ракет. Учитывая это, антенная система РЛС строится на базе фазированных антенных решеток, что позволяет дискретно и с большой скоростью изменять положение диаграммы направленности в пространстве.

Основным элементом **антенной системы** (АС) является приемопередающая антенна на базе фазированной антенной решетки проходного типа. Возможность использования одной антенны на прием и передачу обусловлена применением импульсных сигналов при работе по целям и ракетам. При этом излучение и прием сигналов происходит в разные моменты времени.

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

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 радиозапросчика.

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

**Радиопередающее устройство (РПУ)** собрано по многокаскадной схеме и обеспечивает формирование различных видов сигналов для различных режимов работы РЛС:

- при поиске и визировании цели формируется сложный импульсный 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.

**Радиоприемное устройство (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 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.

**Индикаторные устройства (ИУ)** обеспечивают 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.

**Устройство управления и синхронизации (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 электронно-вычислительную машину (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.

#### ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ:

Используя конспект лекций, а также рекомендованную литературу, повторить учебный материал.