

**MICROWAVE LANDING
SYSTEM (MLS).
СИСТЕМЫ ПОСАДКИ
САНТИМЕТРОВОГО
ДИАПАЗОНА.**

Цель лекции: Изучение MLS.

Вопросы лекции:

1. Термины и определения;
2. Назначение;
3. Основные параметры СП СД;
4. Формирование посадочной информации в СП СД;
5. Принцип действия угломерной подсистемы СП СД;
6. Принцип действия дальномерной подсистемы СП СД (DME/P);
7. Параметры СП СД;
8. Бортовая аппаратура СП СД.
9. Microwave Landing System (MLS).

1. Термины и определения.

Данные вспомогательные — информация, которая содержит сведения о метеообстановке, состоянии ВПП и др.

Данные основные — информация, которая непосредственно связана с управлением ЛА на этапе захода на посадку и посадки и с характеристиками наземного оборудования СП СД.

Линия выдерживания курса (глиссады) — линия, угловое положение которой относительно горизонтальной плоскости (оси ВПП) определяется средней погрешностью выдерживания траектории.

Линия курса (глиссады) СП СД — одно из геометрических мест точек в горизонтальной (вертикальной) плоскости под определенными углами к оси ВПП (горизонту) с вершинами в точке отсчета.

Погрешность выдерживания траектории (PFE) — погрешность определения координат, которая может привести к отклонению ЛА от заданной траектории.

Погрешность выдерживания траектории шумовая (PFN) — погрешность, которая может привести к отклонению ЛА от линии выдерживания курса (глиссады).

Погрешность управления шумовая (CMN) — погрешность, которая может повлиять на пространственное положение ЛА, но не вызывает изменения его траектории относительно заданной.

Преамбула — начальная часть функции СП СД, содержащая сигналы для начала работы бортового приемного устройства и опознавания функции.

Режим «FA» — режим работы дальномерной подсистемы СП СД (DME/P) в определенной части зоны действия СП СД, охватывающей конечный участок захода ЛА на посадку и ВПП.

Режим «IA» — режим работы дальномерной подсистемы СП СД (DME/P) во всей зоне действия СП СД, кроме той ее части, где используется режим «FA».

Сектор пропорционального наведения — объем воздушного пространства, в котором измеренная угловая координата прямо пропорциональна угловому отклонению бортовой антенны от линии нулевого значения углов.

Сигнал внезонной индикации ОСІ — сигнал за пределами угловых границ зоны действия СП СД, предназначенный для исключения приема ложной информации.

Стандарты I и II для DME/P — нормы на точностные параметры DME/ P для обеспечения посадки ЛА с обычным (неукороченным) взлетом и посадкой (I) и с укороченным или вертикальным взлетом и посадкой, а также выравнивания и посадки совместно с угломерной подсистемой СП СД (II).

Точка опорная при заходе на посадку — точка под минимальным углом глиссады, находящаяся на высоте (15 ± 3) м над порогом ВПП.

Точка опорная с обратным курсом — точка, находящаяся на высоте (15 ± 3) м над серединой оси ВПП.

Точка отсчета — точка на оси ВПП, наиболее близкая к фазовому центру антенны угломестного радиомаяка захода на посадку.

Функция — определенная задача, решаемая СП СД (определение курсового угла, угла места, дальности и т. д.).

2. Назначение.

Радиомаячные системы посадки сантиметрового диапазона (MLS – microwave landing system) предназначены для получения информации об углах отклонения ЛА от заданной траектории посадки в вертикальной и горизонтальной плоскостях, дальности до расчетного места приземления, метеоусловиях, состоянии ВПП, категории метеоминимума и т. п.

MLS разработаны с целью замены ILS, обладающих следующими основными недостатками:

- малые размеры сектора, в пределах которого обеспечивается пропорциональная зависимость информативного параметра сигнала от отклонения ЛА от номинальной траектории снижения;
- непригодность для самолетов с вертикальным и укороченным взлетом и посадкой;
- зависимость параметров каналов курса и глиссады от характера местности вблизи радио маяка и от метеоусловий;
- малое число частотных каналов;
- высокая стоимость монтажно-строительных работ и эксплуатации.

Полный комплект наземного оборудования состоит из угломерной и дальномерной подсистем.

Угломерная подсистема УПС состоит из четырех каналов (два для измерения углов в азимутальной плоскости и два – в угломестной). В состав каждого канала входит один из следующих маяков:

- азимутальный РМА-1, предназначенный для определения углового положения самолета относительно курса посадки ПК;
- азимутальный РМА-2, предназначенный для определения углового положения самолета относительно курса посадки при уходе ЛА на второй круг (маяк обратного курса);
- угломестный РМУМ-1, предназначенный для определения угла в вертикальной плоскости при снижении ЛА;
- угломестный РМУМ-2, предназначенный для определения угла в вертикальной плоскости при выравнивании ЛА. *См. функции на стр.4.*

Маяки работают поочередно. Сигналы, синхронизирующие их работу, вырабатываются аппаратурой на КДП. Она же преобразует дополнительные данные в модулирующие сигналы, передаваемые на борт. В число таких данных входят:

- отметка момента начала отсчета (стартовый сигнал);
- обозначение функции маяка;
- метеоусловия;
- координаты антенн маяков;
- тест для проверки бортовой аппаратуры и т. п.

Дальномерная подсистема ДПС использует модернизированное оборудование DME системы VOR\DME. В упрощенных MLS вместо дальномерной подсистемы может использоваться маркерный канал ILS.

Бортовое оборудование предназначено для измерения углов относительно оси ВПП в горизонтальной и относительно поверхности земли в вертикальной плоскостях, дальности до точки приземления и формирования на борту заданной траектории полета. Бортовое оборудование состоит из вычислителя и аппаратуры угломерной и дальномерной подсистем. В состав последних входят: антенно-фидерные устройства и элементы предварительного усиления сигналов; устройства преобразования, декодирования и обработки угломерных, дальномерных и дополнительных сигналов; запросчик дальногомера; индикаторные устройства.

В зависимости от вида информативного параметра MLS делятся на временные и частотные.

TRSB (time reference scanning beam) основана на использовании маяков с узкой сканирующей ДНА. В системе применяется временное кодирование информации. **Принята качестве международной.**

DMLS (doppler microwave landing system) основана на использовании доплеровского сдвига частоты, пропорционального измеряемому углу.

3. Основные параметры СП СД:

Зона действия:

по дальности, к м . . . 37

по азимуту (относительно оси ВПП), градус ± 60

по углу места, градус 0...20

Погрешность (2 σ), м:

п о дальности 30,5

п о азимуту1 4,1

по углу места1 . . . 0,4

Частота получения информации, число измерений/с:

азимут 13 или 39

обратный азимут . . . 6,5

угол места....39

Диапазон частот, МГц:

угломерной подсистемы...5000...5750

дальномерной подсистемы.. 960...1215

В зависимости от комплектации СП СД могут использоваться в условиях минимума I, II или III категорий ICAO.

Бортовая аппаратура УПС общая для всех функций, связанных с определением угловых координат ЛА. Разделение функций в БА достигается применением временного уплотнения с поочередной работой наземных РМ.

Вторая подсистема (DME/P) по принципу действия аналогична каналу дальности СБН типа VOR/DME и отличается от последней только элементами, обеспечивающими повышенную точность ДПС.

Угломерные радиомаяки содержат передатчик, управляемый сигналами с КДП, антенную систему, устройства контроля и управления. Наиболее ответственным элементом РМ, определяющим точность системы, является антенная система. Наибольшее применение находят фазированные антенные решетки, отражательные и линзовые антенны. Фазированные антенные решетки (ФАР) состоят более чем из 80 модулей, каждый из которых имеет собственный излучатель и фазовращатель. Антенны защищены от воздействия осадков обтекателями. Управление положением луча в пространстве электронное. Управляющие сигналы в цифровой форме подаются на фазовращатели ФАР. Одновременное изменение фазовых сдвигов на некоторую постоянную величину приводит к повороту фронта волны, а следовательно, и ДН. При точном контроле амплитуды и фазы колебаний, питающих модули ФАР, обеспечивается узкая ДН в рабочей плоскости при малом уровне боковых лепестков и широкая ДН в плоскости, перпендикулярной рабочей. Так, например, при размерах ФАР, равных 3,66 м в горизонтальной и 1,22 м в вертикальной плоскостях, ширина ДН в азимутальной плоскости около 1° и в угломестной плоскости — порядка нескольких градусов.

Функции угломерной подсистемы — передача азимутального угла при заходе на посадку с низкой и высокой скоростью повторения функции (функции Аз-1 и АзС-1), азимутального угла при уходе ЛА на второй круг или при взлете ЛА (Аз-2), угла места при заходе на посадку (УМ-1) и при выравнивании (УМ-2), основных (ОД) и вспомогательных (ВД) данных, а при дальнейшем развитии СП СД азимутального угла в пределах 360° (Аз-360). Функции Аз-1 и АзС-1 предусматривают определение в пределах

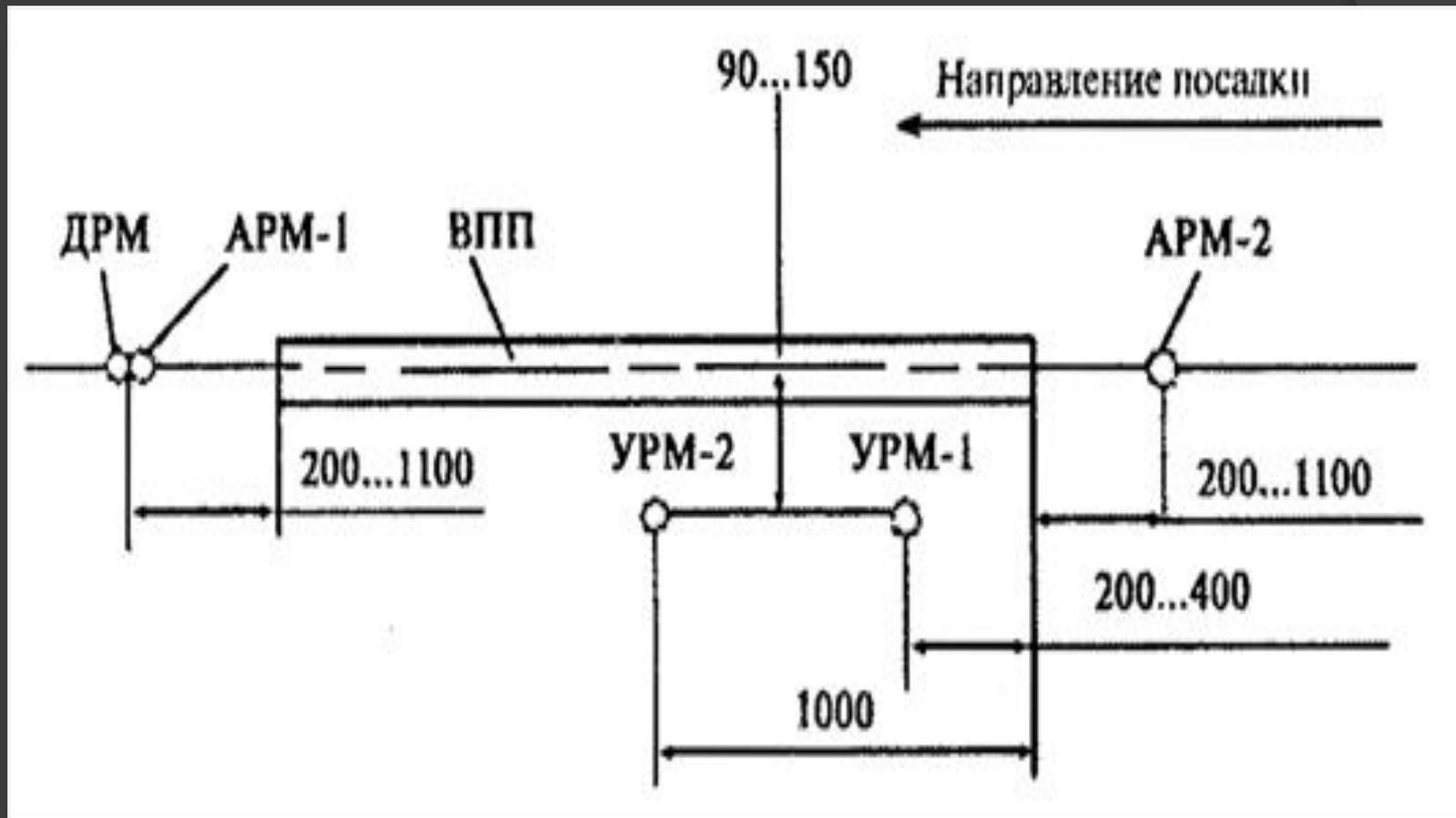
зоны действия стороны нахождения ЛА относительно оси ВПП. При выходе ЛА за пределы СПН направление полета указывается с помощью сигналов клиренса.

Состав СП СД — азимутальные, угломестные и дальномерные РМ, устройства передачи основных и вспомогательных данных, а также оборудование дистанционного управления и контроля. В зависимости от решаемых задач и условий данного аэродрома состав наземного оборудования может соответствовать основной или расширенной комплектации.

Основная комплектация СП СД — азимутальный АРМ-1 и угломестный УРМ-1 радиомаяки захода на посадку, а также дальномерный радиомаяк ДРМ.

Расширенная комплектация СП СД, помимо РМ основной комплектации, включает азимутальный РМ обратного азимута АРМ-2 и угломестный РМ выравнивания УРМ-2, если рельеф местности не позволяет для выравнивания ЛА перед посадкой использовать радиодальномер.

Размещение наземного оборудования СП СД различно при обслуживании одной (рис.13.1) или двух ВПП.



Размещение радиомаяков СП СД при обслуживании одного направления посадки

4. Формирование посадочной информации в СП СД.

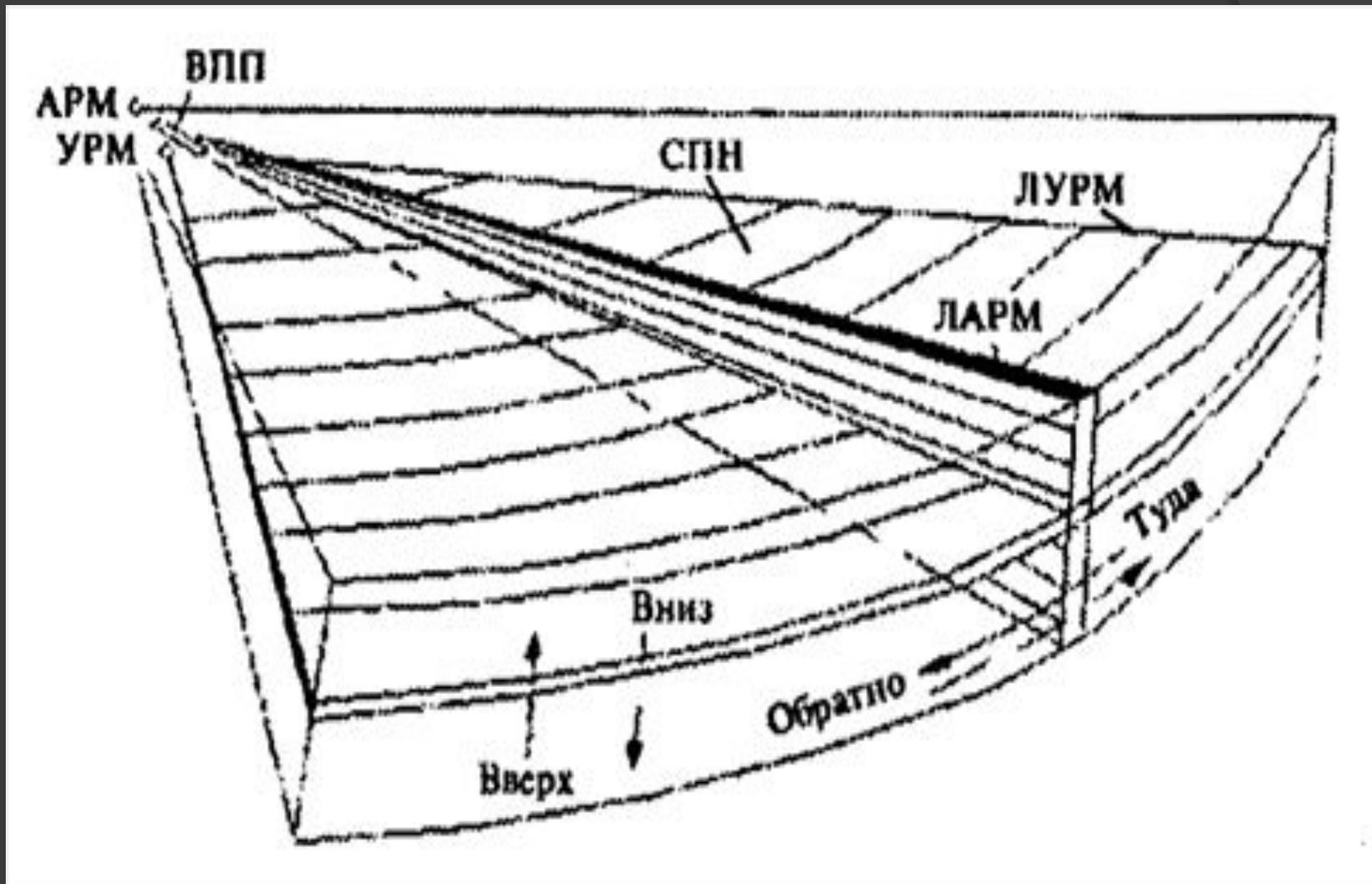
Определение положения ЛА осуществляется по результатам измерения угла в азимутальной плоскости φ и угла места θ . Соответствующие РМ имеют ДН (лучи ЛАРМ и ЛУРМ на рис. 13.2), сканирующие с постоянной скоростью (скорость сканирования) в пределах СПН.

Принята следующая терминология, характеризующая движение луча: «туда», когда луч АРМ движется в направлении увеличения угла, т. е. по ходу часовой стрелки (если смотреть сверху), и «обратно», когда луч движется против хода часовой

стрелки. Нулевое значение угла φ для АРМ-1 соответствует оси ВПП. Нулевое значение совпадает с горизонтальной плоскостью, проходящей через фазовый центр антенны УРМ.

Во время движения луча «туда» и «обратно» («вверх» и «вниз») антенна излучает немодулированный сигнал.

Переходу от движения луча в прямом направлении к движению в обратном соответствует прекращение излучения (пауза). Рассмотренный цикл (т. е. прямое и обратное движение луча) периодически повторяется с частотой повторения данной функции. Для определения ПМЛА информация о φ и θ (формируемая последовательно по времени) объединяется с данными о дальности, получаемыми от прецизионного дальномерного радиомаяка DME/P.



Формирование сектора пропорционального наведения
азимутальным и угломестным радиомаяками

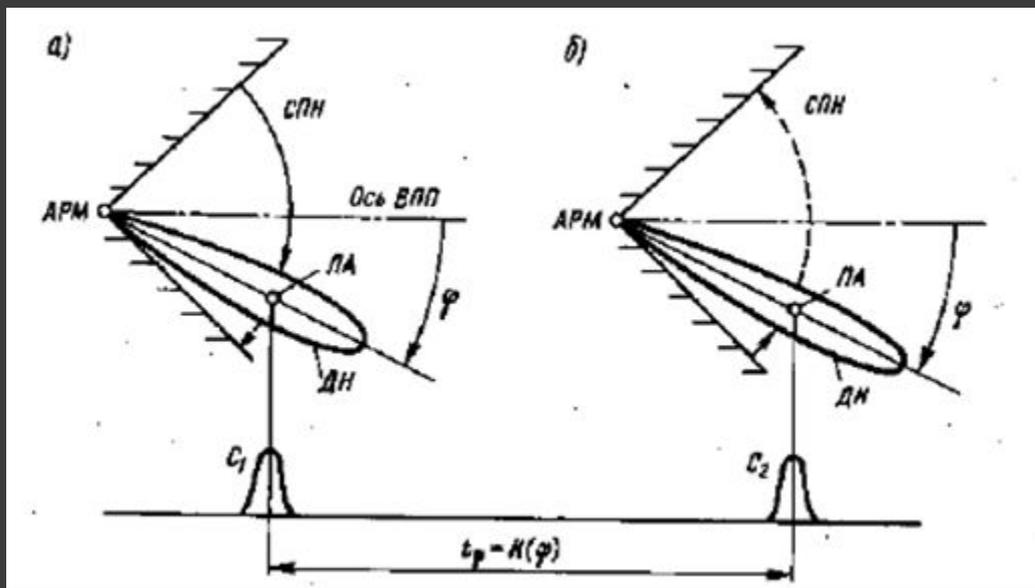
Специфика определения линий курса и глиссады — сравнение в БА измеренных значений и с заданными. Заданное значение угла наклона глиссады устанавливается в бортовом вычислителе равным оптимальному углу снижения ЛА данного типа. Малая ширина луча и сканирование ДН способствуют повышению точности и увеличению СПН (до 120° по азимуту и до 20° по углу места) при значительно меньшей подверженности СП СД влияниям неровностей местности и отражений от МО по сравнению с СП МД.

Особенность СП СД — использование временного метода определения угловых координат ЛА позволяет получить требуемую точность с помощью одноканальной многофункциональной БА. Временное разделение функций требует синхронизации работы наземной и бортовой частей СП СД.

Посадочная информация формируется УПС, наземные РМ которой идентичны по принципу действия и отличаются только антеннами и параметрами зоны действия.

Угловое положение ЛА определяется по сигналам и принятым от антенны РМ при сканировании ДН «туда» и «обратно» (рис.13.3).

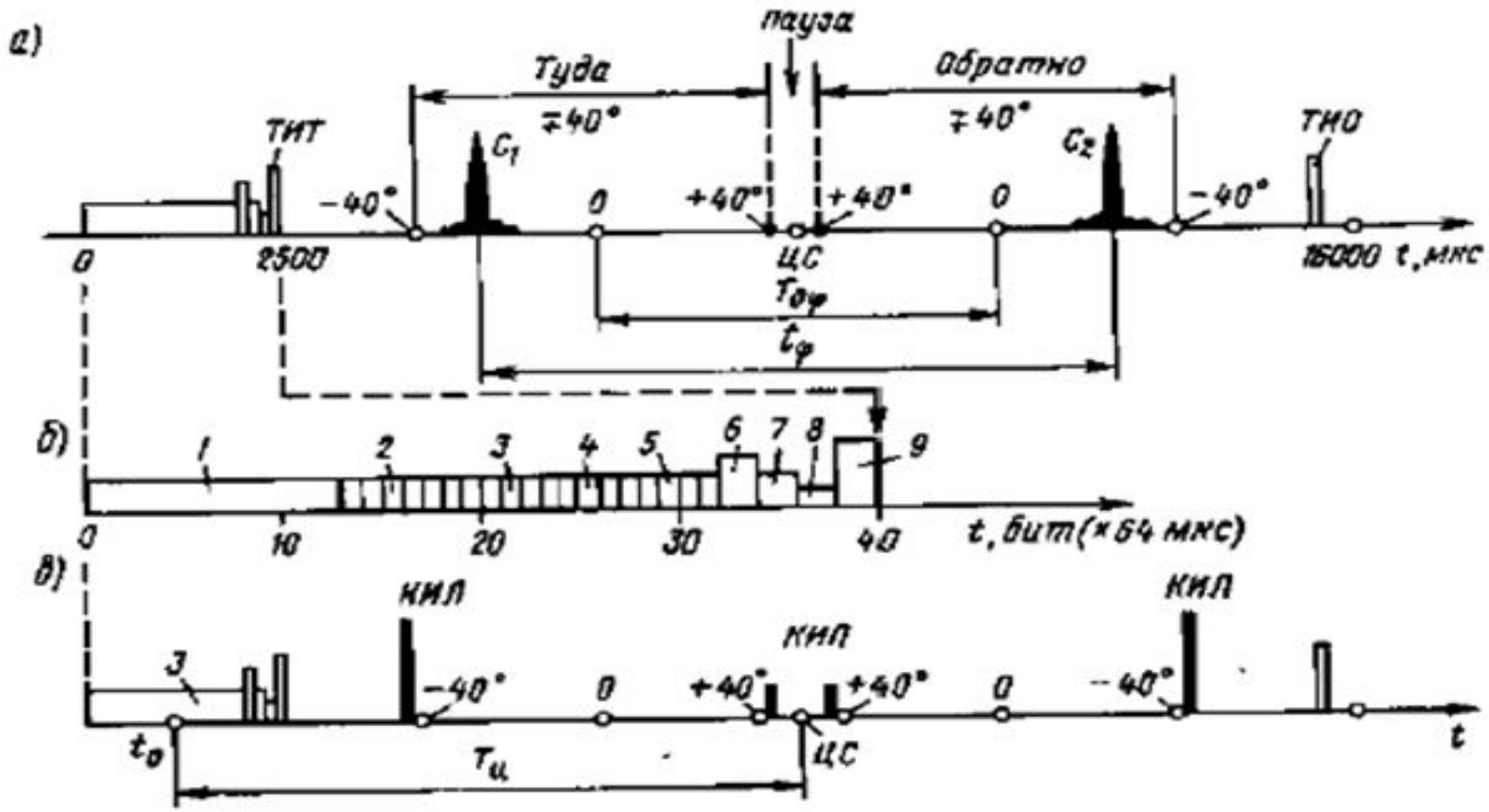
Сигналы, принимаемые бортовым приемником при прямом (а) обратном (б) сканировании ДН АРМ.



Информативный параметр УПС — интервал времени между импульсами и при постоянной скорости сканирования пропорционален углу в азимутальной плоскости.

Информация о положении ЛА вне СПН в горизонтальной плоскости передается с помощью импульсов клиренса, указывающих направление полета (например, «Лети вправо»), необходимое для выхода в СПН. Импульсы клиренса (50 мкс) передаются в моменты начала сканирования «туда» и конца сканирования «обратно» («Лети влево») и конца сканирования «туда» и начала сканирования «обратно» («Лети вправо»). Нужное направление полета указывается превышением амплитуды пары импульсов, например «Лети вправо», не менее чем на 15 дБ над амплитудой другой пары («Лети влево»).

Сигналы СП СД, принимаемые при полете в СПН (рис.13.4.а), содержат преамбулу, секторный сигнал и тест-импульсы, излучаемые слабо направленной антенной РМ, которая обслуживает всю зону действия, и сигналы угловой информации.



Сигналы, принимаемые бортовым приемником при работе азимутального радиомаяка захода на посадку с СПН $\pm 40^\circ$ (а), состав преамбулы и секторных сигналов (б) и сигналы (в), принимаемые в секторе клиренса

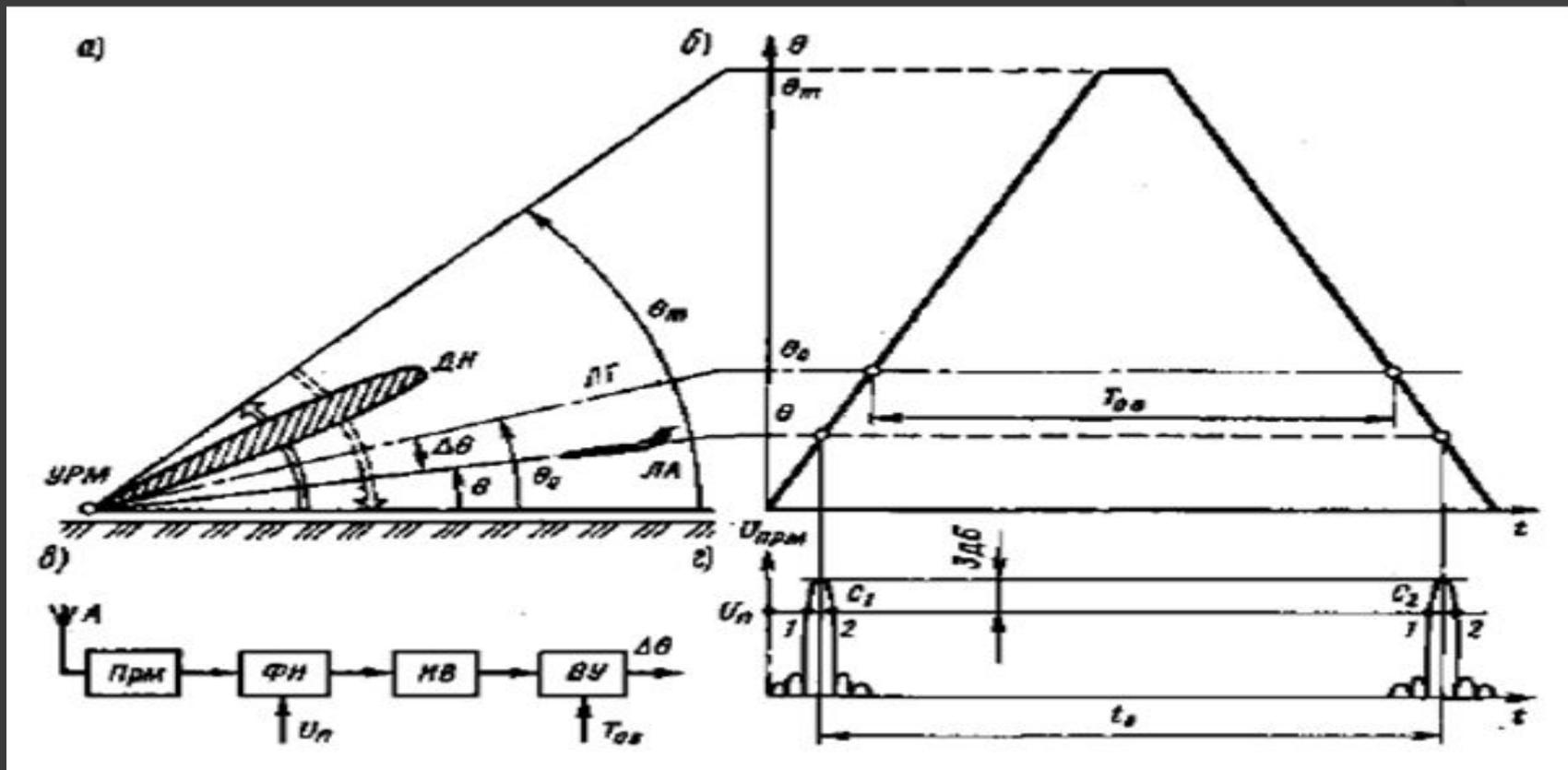
Преамбула (рис. 13.4, б) состоит из посылки несущей частоты 1 , кода опорного времени 2 и кода опознавания функции 3 . Посылка 1 служит для поддержания работы системы слежения за несущей частотой в бортовом приемнике. Код опорного времени определяет момент начала отсчета времени в БА. Код опознавания функции необходим для организации соответствующих переключений в БА при переходе от одной функции к другой.

Секторный сигнал содержит следующие сигналы: 4 — сигнал опознавания места установки наземного оборудования (только для азимутальных функций); 5 — сигнал выбора бортовой антенны, с помощью которого выбирается та из антенн, которая принимает максимальный сигнал; $6, 7, 8$ — задний, левый и правый импульсы внезонной индикации ОСІ; 9 — тест-сигнал «Туда» ТИТ. Тест-сигнал «Обратно» ТИО излучается в конце периода сканирования. Амплитуда импульсов ОСІ должна быть больше, чем у любого сигнала наведения вне СПН, и по крайней мере на 5 дБ меньше уровня сигнала клиренса в пределах сектора клиренса или угломерного сигнала в СПН. Эти признаки ОСІ используются для исключения ложной индикации при полетах ЛА вне указанных секторов.

Сигналы угловой информации формируются на борту ЛА при прохождении луча ДН соответствующего РМ через место расположения антенны ЛА. Принимаемые сигналы представляют собой радиоимпульсы, огибающая которых повторяет форму ДН антенны РМ. При скорости сканирования $= 0,02$ °/мкс длительность этих импульсов составляет $50...200$ мкс при ширине ДН, равной $1...4$ °. При полете вне СПН бортовая антенна принимает импульсы клиренса КИЛ и КИП (рис.15.4, в). Все сигналы угловой информации симметричны относительно центра сканирования ЦС.

5. Принцип действия угломерной подсистемы.

Принцип получения информации об угловом отклонении ЛА от заданной траектории захода на посадку один и тот же в азимутальном и в угломестном каналах УПС. Однако в последнем возможна установка в БА оптимального для данного класса ЛА угла глиссады (рис. 5).



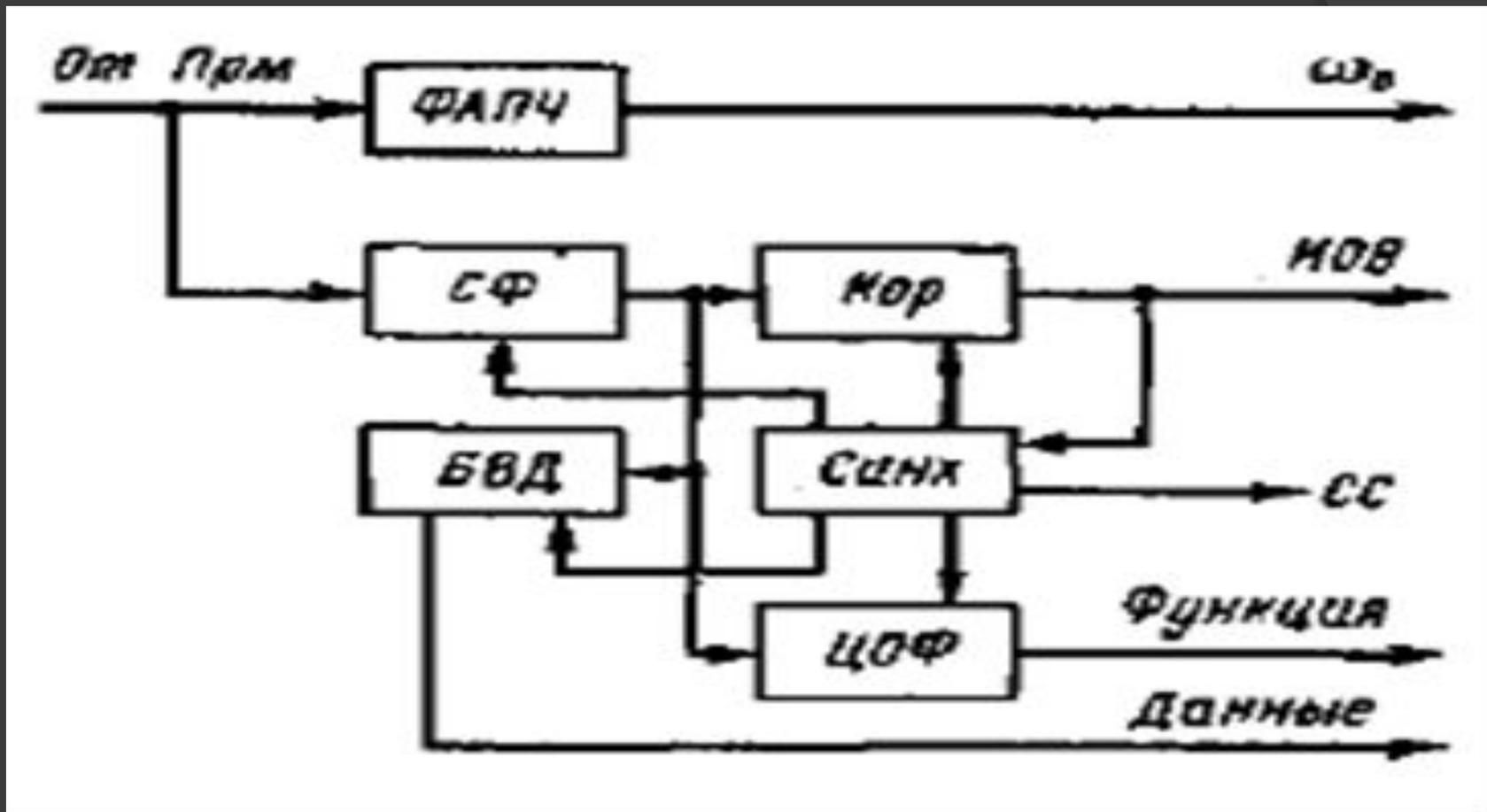
Зона сканирования ФАР (а), временная диаграмма сканирования (б), структурная схема приемного устройства (в) и принимаемые импульсы (г) в угломестном канале СП СД.

Сигналы С1 и С2, принимаемые во время прямого и обратного хода ДН угломестного РМ, которая сканирует в пределах СПН (угла), с выхода Прм поступают на формирователь импульсов ФИ. Импульсы ФИ соответствуют точкам 1 и 2 пересечения напряжением сигнала порогового уровня U_n . Измеритель времени ИВ по полученным сигналам определяет интервал времени .

***Требуемый угол глиссады** задается вводом в бортовой вычислитель интервала , равного значению при полете ЛА по заданной траектории. В вычислительном устройстве ВУ образуется разность $=2\Delta\theta/$, которая несет информацию об отклонении $\Delta\theta$ от заданной траектории и используется для индикации положения ЛА на приборах экипажа и управления при автоматизации посадки.*

Основные процессы при получении угломерной информации включают обработку преамбулы, выделение угломерных сигналов и измерение угловых координат.

***Обработка преамбулы** начинается с подстройки генераторов БА по посылке несущей частоты (1 на рис.13.4) с помощью, например, быстродействующей ФАПЧ (рис. 13.6).*

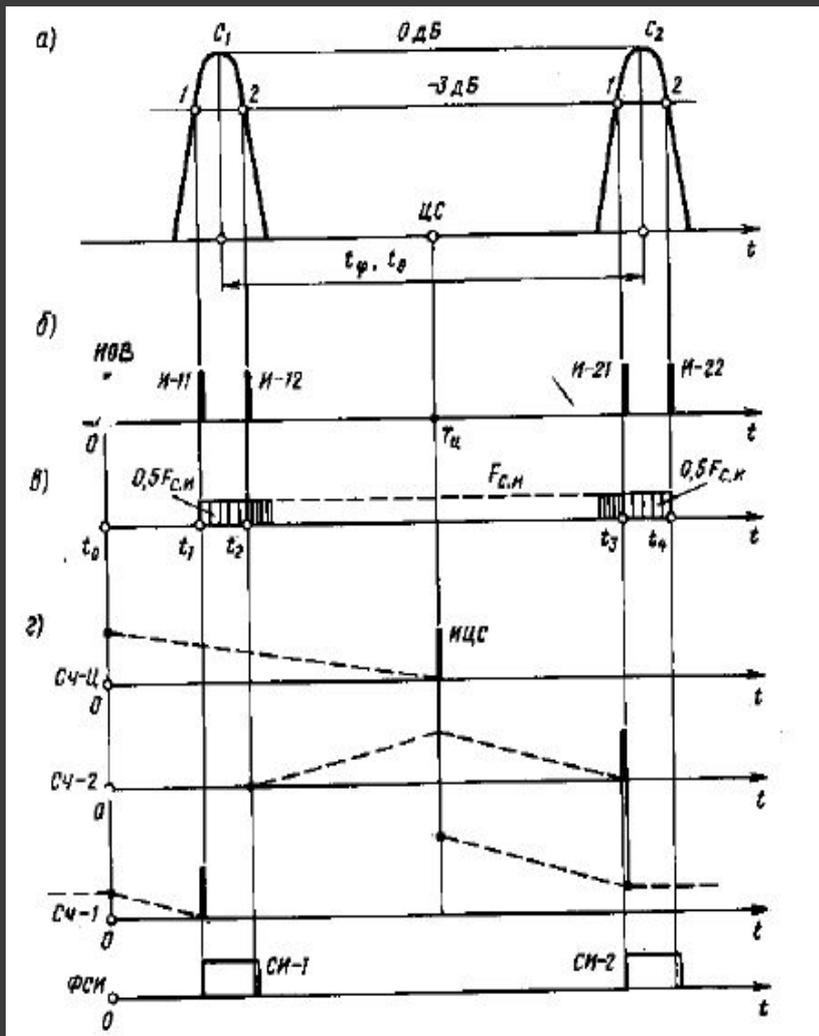


Структурная схема обработки
преамбулы и данных

Фильтр СФ согласован с сигналом, имеющим фазокодированную модуляцию. Подобные сигналы применяются при синхронизации и опознавании функций, а также при передаче основных и вспомогательных данных. В корреляторе Кор декодируется код опорного времени (2 на рис.15.4) и вырабатывается импульс опорного времени ИОВ, определяющий момент начала отсчета в БА. Сигнал с Кор служит для установки синхронизатора Синх, вырабатывающего синхросигналы СС. Подлежащая выполнению функция определяется при декодировании сигнала опознавания функции в цепи ЦОФ. Данные выделяются блоком БВД.

Выделение угломерных сигналов основано на их отличительных признаках: максимальной интенсивности, определенной длительности и форме и симметрии относительно известного момента соответствующего центру сканирования ЦС (рис. 13.7). При обнаружении другой пары сигналов и , удовлетворяющих условию симметрии относительно ЦС и имеющих больший уровень, чем используемые при измерении, аппаратура переключается на определение угловых координат по этим сигналам.

Измерение углового положения ЛА выполняется цифровым методом. Интервал между максимумами сигналов и , и определяется по числу счетных импульсов, заполняющих интервал При этом на интервалах ... частота следования счетных импульсов снижается в два раза. Управляют счетчиком импульсы И, формируемые в моменты достижения напряжением сигнала порогового уровня.

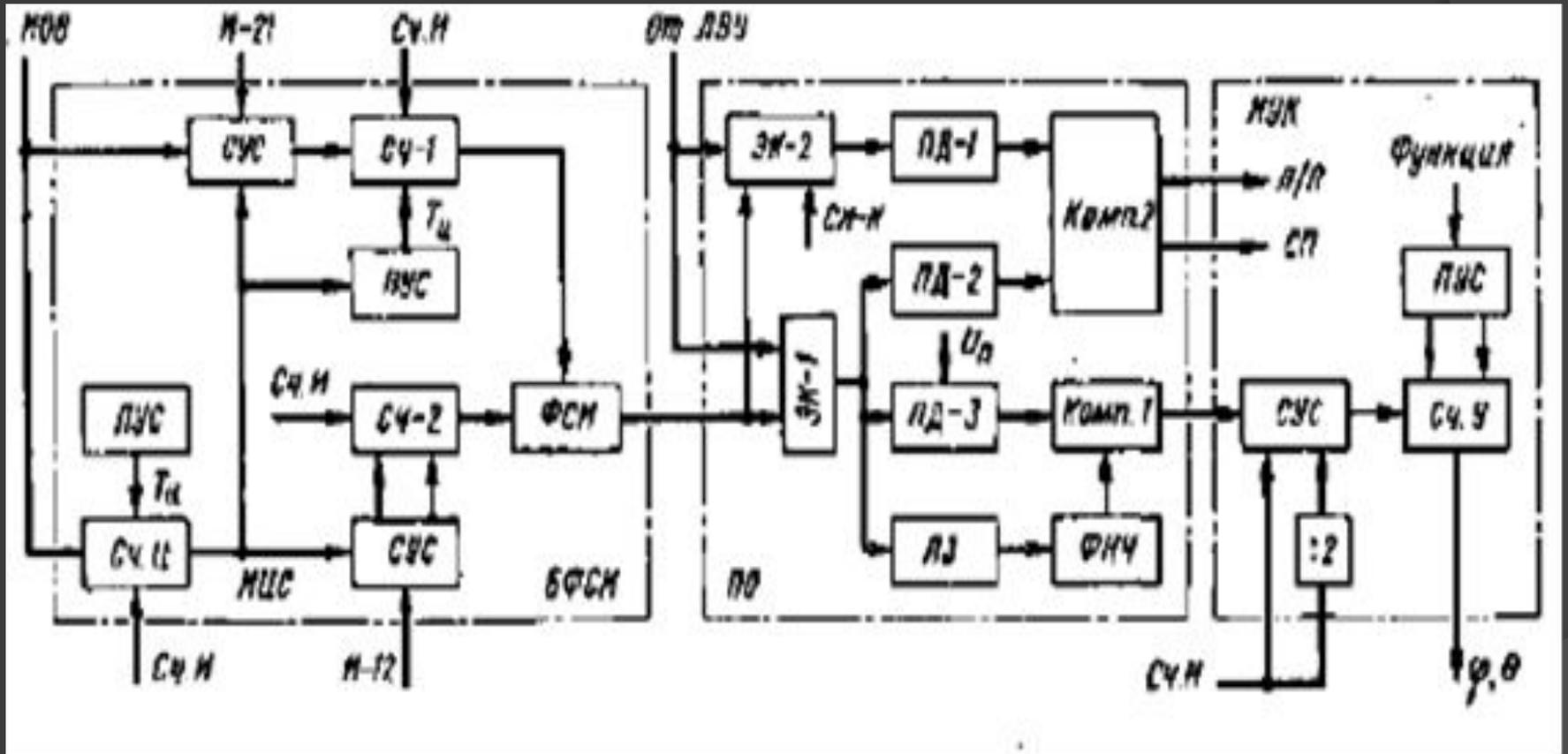


Графики сигналов, иллюстрирующие формирование угловой информации:
 а — принимаемые сигналы; б — измерительные импульсы; в — последовательность счетных импульсов; г - формирование стробимпульсов с помощью счетчиков (штриховой линией показано изменение числа, записанного в счетчиках)

Структурная схема канала обработки угломерных сигналов (рис.13.8.) состоит из блока формирования стробирующих импульсов, процессора огибающей и измерителя угловых координат.

Блок формирования стробирующих импульсов БФСИ содержит счетчики Сч-1 и Сч-Ц, которые запускаются импульсом ИОВ. Счетчик Сч-1 по сигналу схемы управления СУС начинает обратный счет с числа, сохранившегося от предыдущего приема той же функции (см. рис. 15.7, з). В момент, когда содержимое Сч-1 становится близким нулю, генерируется импульс для формирователя стробирующих импульсов ФСИ. Стробимпульс СИ-1 слегка опережает импульс И-11 и открывает электронный ключ ЭК-1 обработки импульса. Счетчик Сч-Ц также работает в режиме обратного счета, начиная с введенного устройством предварительной установки ПУС числа, соответствующего . В момент обнуления Сч-Ц вырабатывает импульс ИЦС, запускающий Сч-1, который ведет обратный счет с числа, пропорционального . Число, сформировавшееся за время до И-21, запоминается до следующего приема той же функции. Для формирования стробимпульса СИ-2 служит Сч-2, который запускается импульсом И-12 и ведет прямой счет до момента после чего схема управления счетчиком СУС переводит его в режим обратного счета. В момент, близкий к обнулению, Сч-2 вырабатывает импульс запуска СИ-2, чем обеспечивается выделение сигнала, симметричного относительно ЦС. Счетные импульсы Сч.И на счетчики подаются от синтезатора частот или специального генератора.

Структурная схема канала обработки угломерных сигналов



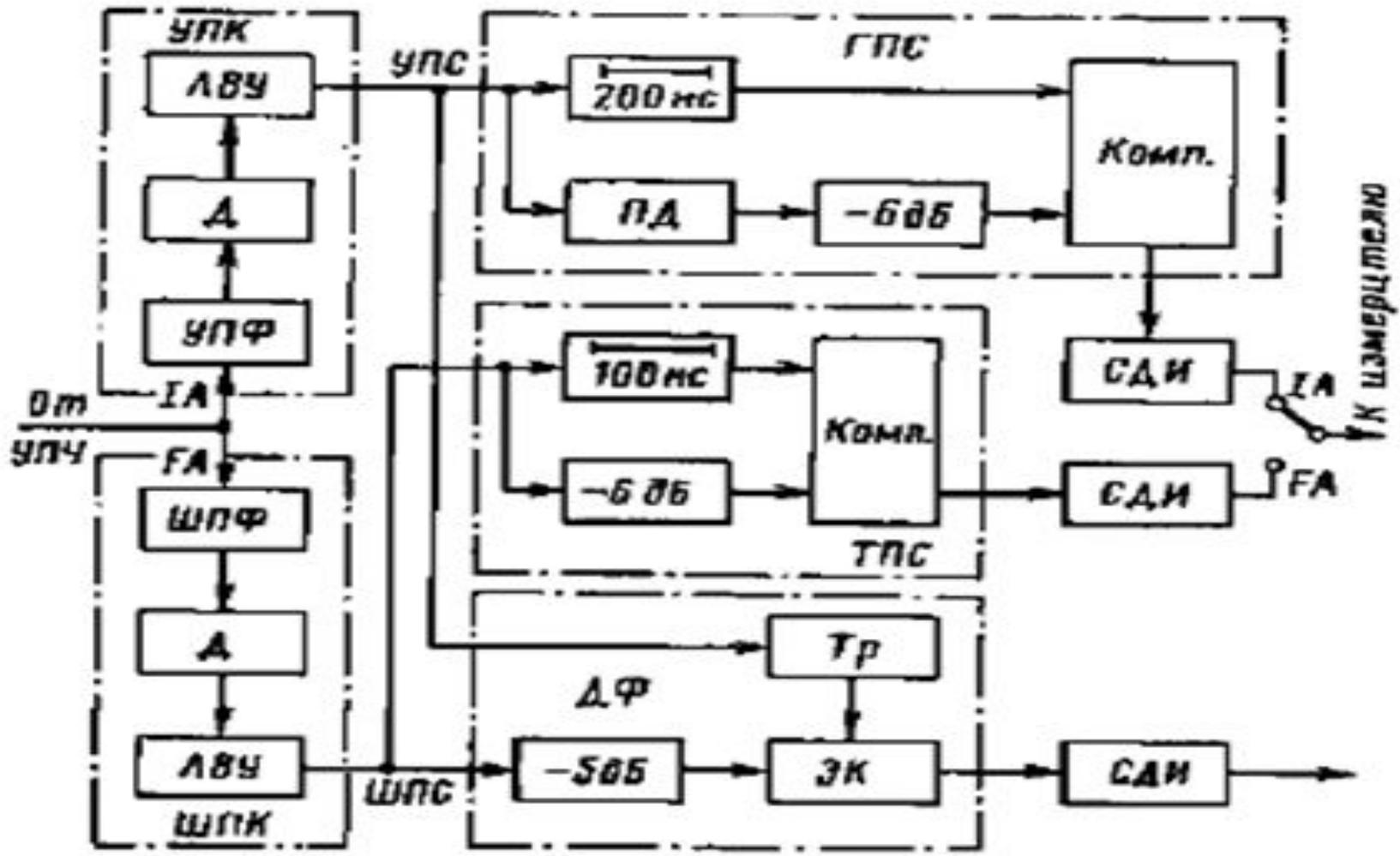
Процессор огибающей ПО получает сигналы от логарифмического видеоусилителя ЛВУ. Задача ПО — выделение сигналов и а также обработка сигналов клиренса. Огибающая сигнала запоминается в линии задержки ЛЗ на приборах с зарядовой связью, проходит фильтр ФНЧ с полосой 26 кГц и поступает на компаратор Комп. 1, куда подается запомненное значение сигнала с пикового детектора ПД-3, уменьшенное на значение порога С компаратора снимается импульс, передний фронт которого совпадает с И-11 (или И-21), а задний — с И-12 (И-22). Ключ ЭК-2, пиковые детекторы ПД-1, 2 и компаратор Комп. 2 служат для обработки сигналов клиренса, а также для сравнения угломерных сигналов по интенсивности. Ключ ЭК-2 открывается стробимпульсами клиренса СИ-К, которые формируются тем же БФСИ (или ему подобным) и СИ-1, 2. Сравнение амплитуд принятых сигналов, запомненных в ПД-1 или ПД-2, выполняется Комп. 2, который выдает сигнал указания направления полета «Л/П» или сигнал СП подтверждения правильности выбора угломерных сигналов.

Измеритель угловых координат ИУК содержит точный счетчик СчУ, который определяет интервал между центрами импульсов описанным выше способом. Для управления счетчиком служит схема СУС, пропускающая счетные импульсы на СчУ либо непосредственно, либо через делитель частоты в 2 раза.

6. Принцип действия дальномерной подсистемы СП СД (DME/P).

Получение информации о дальности основано на принципе «запрос-ответ». Отличительная особенность ДПС — меры по повышению точности DME (примерно в 3 раза): применение сигналов запроса и ответа с более крутыми фронтами, широкополосная обработка и использование точных пороговых схем.

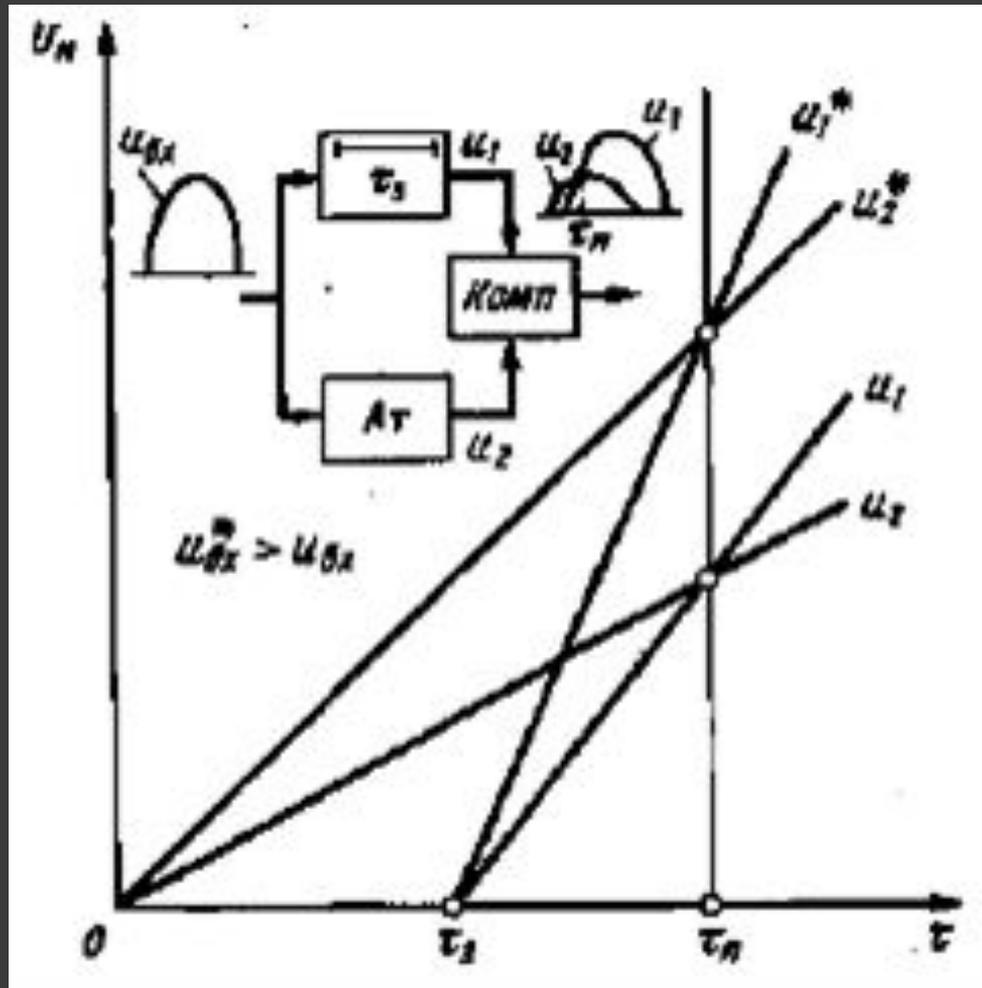
Сигналы ДПС в режиме «FA» имеют огибающую типа \cos^2 , где числитель соответствует форме переднего, а знаменатель - заднего фронта импульса (в стандартном DME огибающая имеет форму \cos). Принятые запросчиком сигналы с выхода УПЧ (рис.15.9) разделяются полосовыми фильтрами УПФ и ШПФ на узкополосный УПК (полоса 0,35 МГц) и широкополосный ШПК (3,5 МГц) каналы. В каждый канал входит детектор Д и логарифмический видео усилитель ЛВУ, формирующие узкополосный УПС и широкополосный ШПС видеосигналы.



Структурная схема каналов обработки сигналов в DME/P

Широкополосная обработка необходима для сохранения крутого переднего фронта. Расширение спектра сигнала приводит к перекрытию спектров соседних по частоте каналов ДПС (разнос каналов по частоте 1 МГц) и требует применения специальной схемы — дискриминатора Ферриса ДФ для получения нужной избирательности по соседнему каналу. Уменьшенный по амплитуде примерно на 5 дБ ШПС передается на устройства обработки через ключ ЭК только в том случае, если ЭК открыт триггером Тр, на который действует УПС, точно соответствующий выбранному частотному каналу. На выходе ДФ, как и на выходе других схем формирования сигналов, установлен селектор длительности импульсов СДИ, не пропускающий импульсы длительностью менее 2 мкс и подавляющий импульсные помехи.

Пороговые схемы ТПС (точная) и ГПС (грубая) предназначены для получения импульса, по которому измеряется дальность. Схема ТПС построена по принципу «задержка и сравнение». Отличительная особенность схемы — отсутствие зависимости порогового значения времени задержки от амплитуды сигнала (рис. 13.10).



Формирование точки отсчета дальности в схеме задержки и сравнения

Импульсы, задержанный и прошедший через аттенюатор A_t , сравниваются в компараторе Комп. Схема ТПС (см. рис.13. 9) вырабатывает импульс, соответствующий пороговому уровню—18 дБ, и используется для точного измерения дальности в режиме «FA». Грубая пороговая схема ГПС основана на сравнении в компараторе Комп задержанного сигнала с пороговым уровнем, задаваемым пиковым детектором ПД и аттенюатором —6 дБ. Эта схема включается в режиме «IA» и формирует импульс при достижении огибающей входного сигнала уровня 0,5(—6 дБ) амплитудного значения. Снижение порогового уровня в ТПС способствует повышению точности из-за большей крутизны фронта входного сигнала, но требует увеличения отношения действующих значений сигнала и шума.

Повышение точности измерения дальности в DME/P достигается уменьшением влияния следующих дестабилизирующих факторов: шумов приемника; дискретности отсчета дальности; нестабильности частоты счетных импульсов; нестабильности фиксации временного положения ответных импульсов; нестабильности фиксированной временной задержки сигнала в аппаратуре; искажений переднего фронта принимаемых импульсов; принимаемых сигналов опознавания ДРМ.

Увеличение отношения сигнал/шум достигается ограничением дальности действия ДРМ в режиме «FA» и использованием малошумящих элементов и схем в высокочастотной части приемника запросчика. Среднее квадратичное значение флюктуационной погрешности может быть уменьшено до 3 м.

Погрешность дискретности отсчета уменьшается при увеличении частоты счетных импульсов. При частоте около 50 МГц и стабильности ее не хуже эта погрешность около 3 м.

Погрешность определения временного положения импульса ответа определяется чувствительностью и стабильностью схемы фиксации относительного уровня сигнала и может быть доведена до 1,5 м.

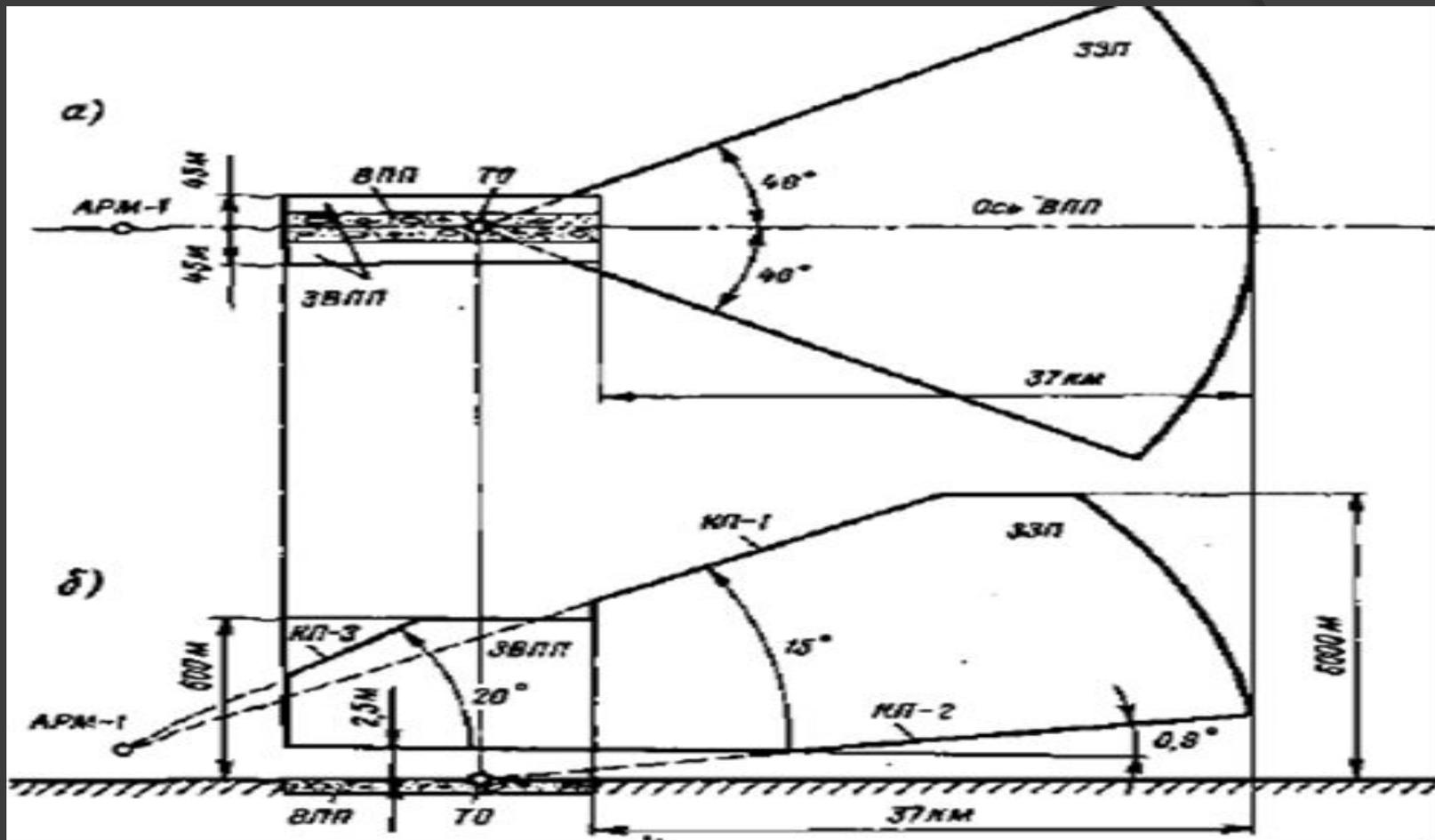
Стабильность задержки сигнала в аппаратуре запросчика поддерживается с помощью специального контрольного сигнала. Наибольшую нестабильность вносит тракт УПЧ. Для нестабильности задержки увеличивают полосу пропускания УПЧ, а требуемую избирательность по соседнему каналу обеспечивают, применяя дискриминатор Ферриса.

7. Параметры СП СД.

Нормы ИСАО на угломерную подсистему регламентируют параметры, от которых зависит правильность функционирования СП СД.

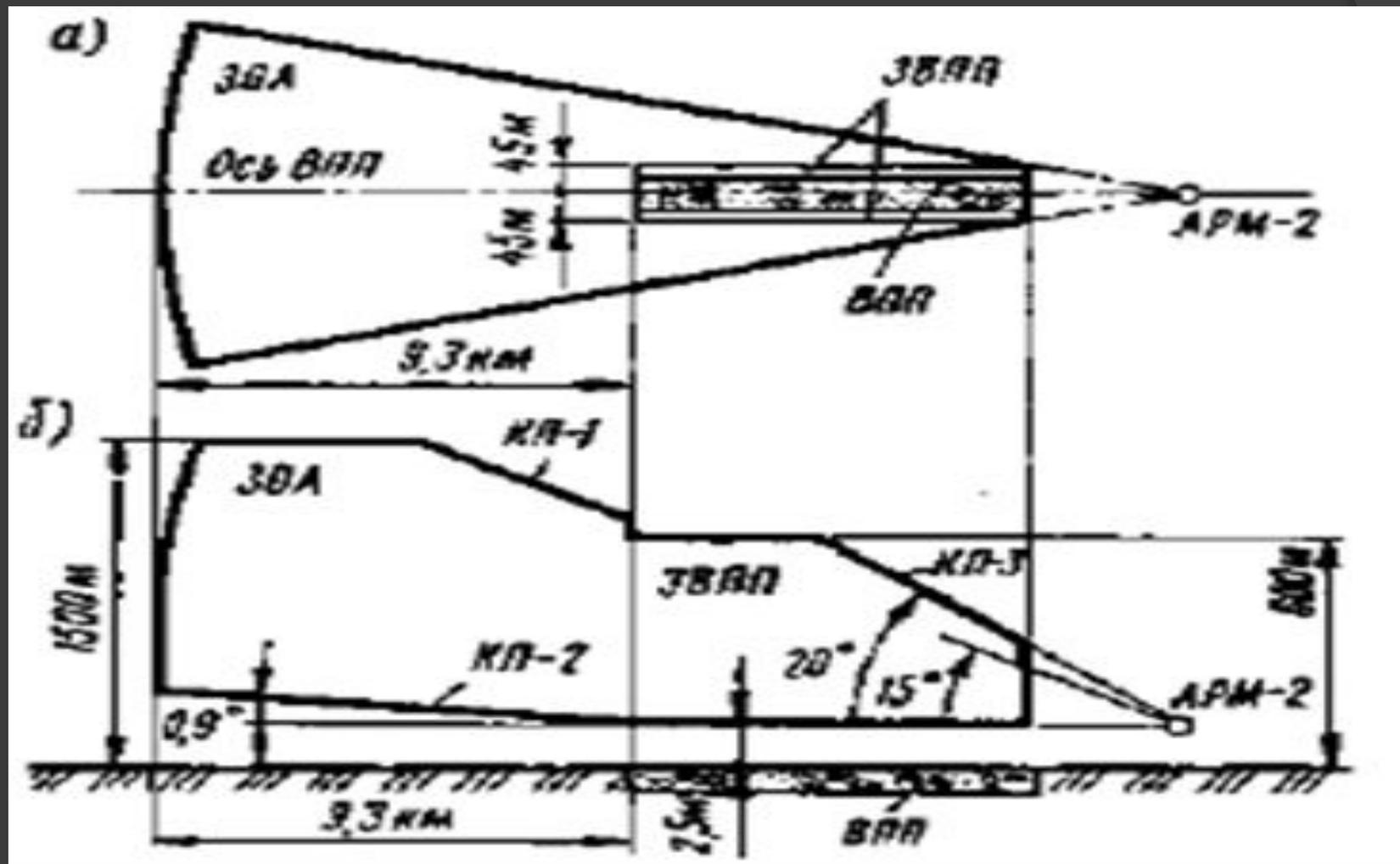
Зона действия УПС формируется радиомаяками АРМ-1, АРМ-2, УРМ-1 и УРМ-2. Каждый из этих РМ обеспечивает информацию об угловом положении ЛА в определенной части зоны действия, т. е. в зонах захода на посадку (ЗЗП), обратного азимута (ЗОА) и ВПП (ЗЗПП). Зоны действия РМ (рис. 11—14) ограничены в вертикальной плоскости коническими поверхностями КП (ТО—точка отсчета).

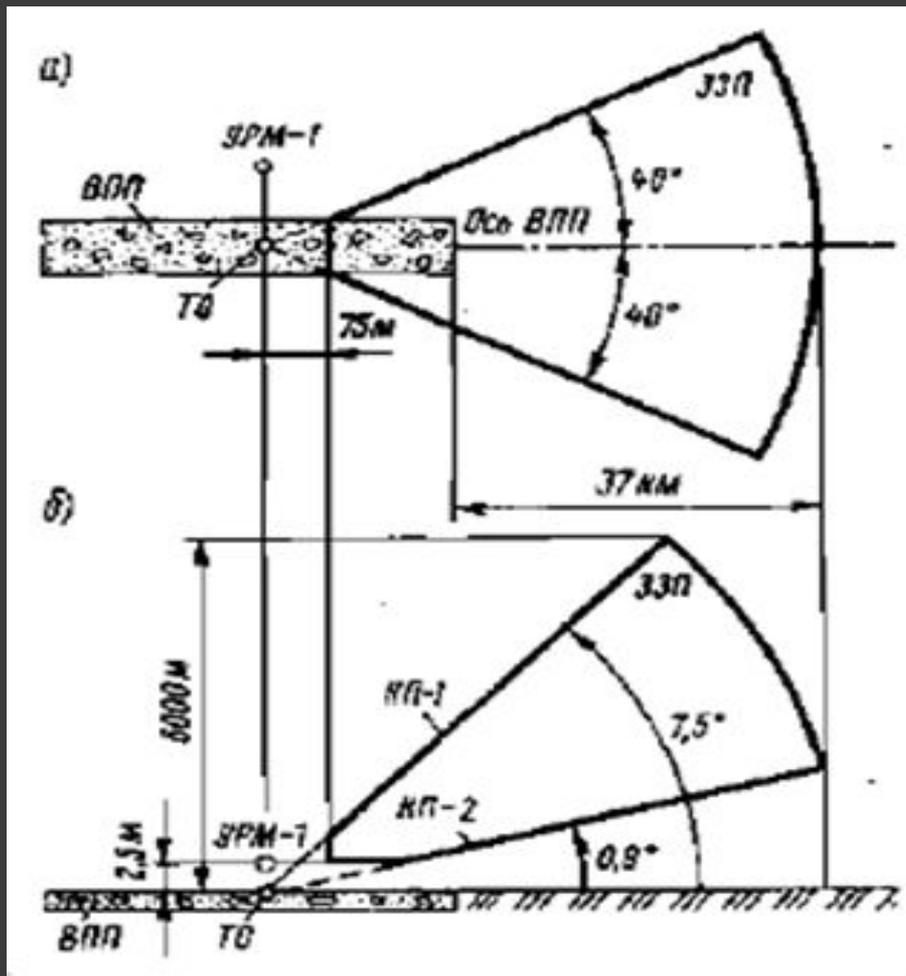
Частотный диапазон УПС разбит на 200 каналов с разносом по частоте 0,3 МГц. Допустимо отклонение частоты не более чем на ± 10 кГц от номинального значения и ее изменение на 50 Гц за 1 с. Средняя плотность мощности на высоте более 600 м, измеренная в полосе 150 кГц с центральной частотой, отстоящей не менее чем на 840 кГц от номинальной частоты, не более — 100,5 дБ • Вт/м² при передаче угловых функций и — 95,5 дБ • Вт/м² при передаче основных данных.



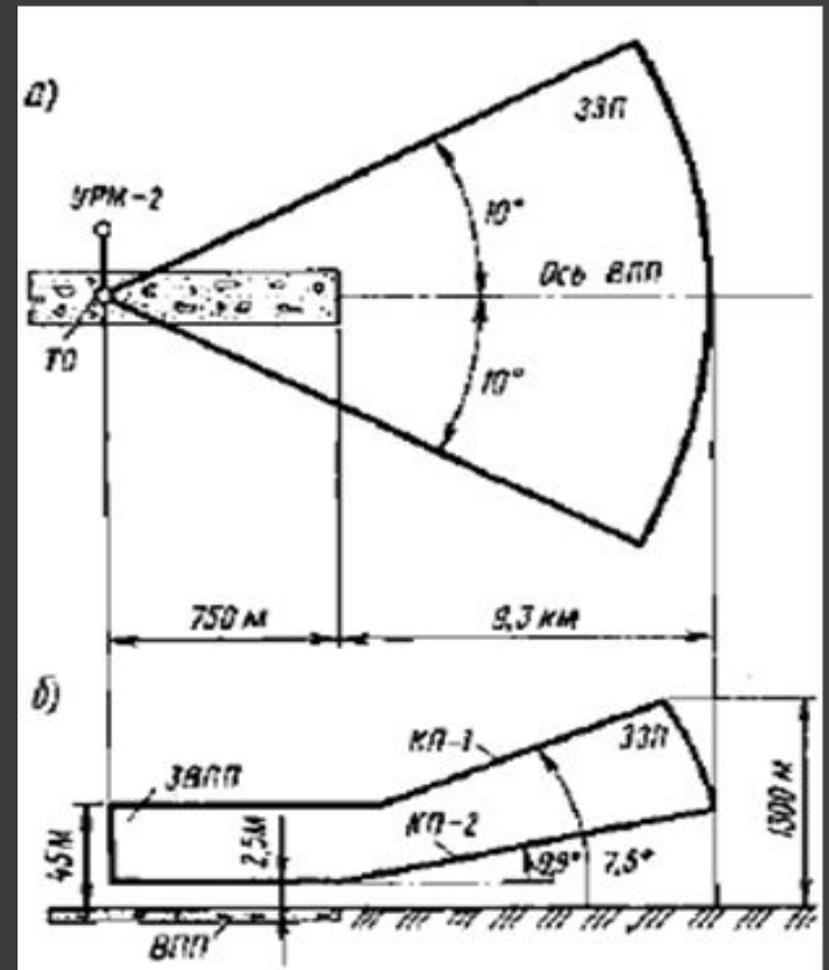
Зона действия АРМ-1 в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях

Зона действия АРМ-2 в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях





Зона действия УРМ-1 в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях



Зона действия УРМ-2 в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях

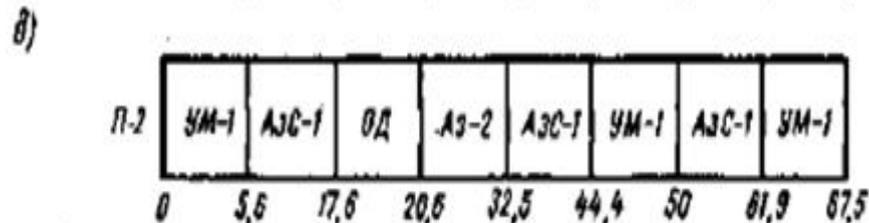
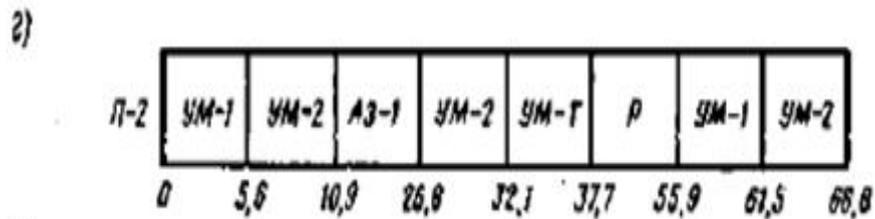
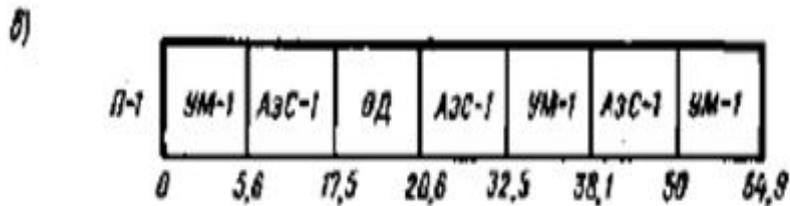
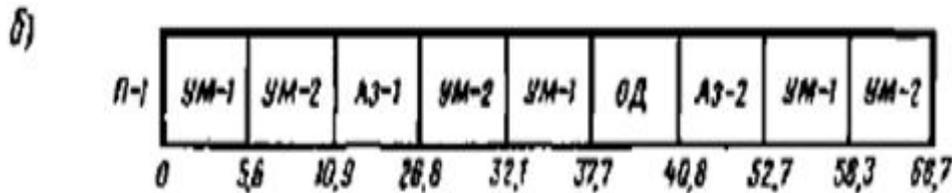
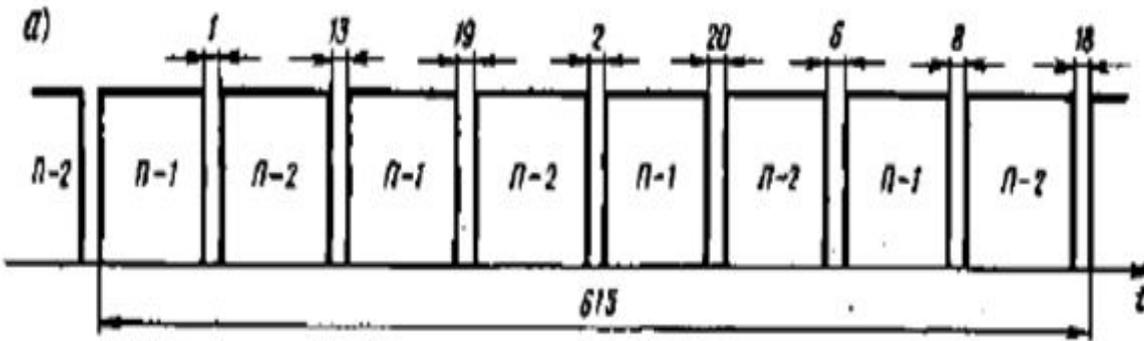
Точность УПС характеризует пригодность сигналов УПС для управления полетом ЛА по заданной траектории. Основные составляющие общей погрешности—погрешность выдерживания траектории RFE и шумовая погрешность управления (шум управления) CMN. Погрешность RFE включает те составляющие спектра мешающих воздействий, частоты которых не превышают 0,5 рад/с для АРМ и 1,5 рад/с для УРМ. Шум управления содержит составляющие с частотами выше 0,3 рад/с (АРМ) и 0,5 рад/с (УРМ). Допустимые погрешности УПС, регламентированные ICAO (табл.15.1), различны в различных точках и направлениях зоны действия УПС и минимальны для АРМ-1 и УРМ-1 в опорной точке при заходе на посадку (ОТ ЗП), а для АРМ-2 и УРМ-2 — в опорной точке с обратным курсом (ОТ ОК). Для УРМ-2 установлены только допуски на погрешности в ОТ ОК: RFE = 0,6 м; PFN = 0,4 м и CMN = 0,3 м.

Точки измерения погрешности	Канал								
	АРМ-1			АРМ-2			УРМ-1		
	PFE	PEN	CMN	PFE	PEN	CMN	PFE	PEN	CMN
ОТ ЗЛ (ОТ ОК), м	6	3,5	3,2 или 0,1**	(6)	(3,5)	(3,2 или 0,1**)	0,6	0,4	0,3
По направлению оси ВПП, м, на удалениях от порога ВПП:									
9,27 км (18,5 км)	—	—	(4,16)	12	7	4,8	—	—	(0,39)*
37 км	12	7	—	—	—	—	0,2**	0,2**	—
В горизонтальной плоскости, увеличение относительно по- грешностей в соответствую- щих точках по оси ВПП при азимутальных углах $\pm 40^\circ$ ($\pm 20^\circ$)	1,5	1,5	1,3	(1,5)	(1,5)	(1,3)	1,3	1,3	1,3
В вертикальной плоскости, увеличение относительно по- грешностей в соответствую- щих точках в горизонталь- ной плоскости при углах места:									
9°			Не возрастают				—	—	—
15°	2	2	—	2	2	—	—	—	—

* При минимальном угле глиссады.

Допустимые погрешности УПС

Формат сигнала УПС предусматривает определенные последовательности передачи функций (рис. 13.15) на общей несущей частоте. Синхронизация УПС предотвращает интерференцию сигналов различных функций. За время, отведенное для каждой функции, последовательно передаются (см. рис. 13. 4) преамбула, секторные сигналы, немодулированные колебания при движении ДН РМ в прямом и обратном направлениях и контрольный импульс конца сканирования. Сигналы преамбулы (опорное время и опознавание РМ) передаются пятиразрядным кодом с помощью фазовой модуляции несущей частоты со сдвигом на 180° . Дополнительные два разряда кода служат для проверки на четность всей кодированной последовательности.



Распределение информации УПС по времени (цифры соответствуют времени в миллисекундах):

а — временные интервалы между последовательностями П-1 и П-2; б, в — чередование функций в последовательности П-1 при обычном и скоростном форматах сигналов;

г, д — чередование функций в последовательности П-2 при обычном и скоростном форматах (Р — резервный интервал для функции Аз-360)

Рис. 13.15. Распределение информации УПС по времени (цифры соответствуют

времени в миллисекундах):

a — временные интервалы между последовательностями П-1 и П-2; b , v — чередование

функций в последовательности П-1 при обычном и скоростном форматах сигналов;

z , d — чередование функций в последовательности П-2 при обычном и скоростном

форматах (P — резервный интервал для функции Аз-360)

Временные положения луча при сканировании в прямом и обратном направлении должны быть симметричны по отношению к средней точке сканирования (ЦС) с точностью до ± 10 мкс.

Нормы на параметры угломерных функций УПС даны в табл. 2, где f — средняя частота повторения функции; v — скорость сканирования, а остальные обозначения соответствуют рис. 5.

Функция	$\varphi_n^\circ, \theta_n^\circ,$	$t_{\text{пр}}, t_{\text{в}}, \text{мкс}$	$T_{\text{д}}, \text{мкс}$	$V_{\text{ср}}, \text{°/мкс}$	$F_{\text{ср}}, \text{Гц}$
Аз-1	-62... +62	13 000	6800	0,02	$13 \pm 0,5$
АзС-1	-42... +42	9 000	4800	0,02	$39 \pm 1,5$
Аз-2	-42... +42	9 000	4800	0,02	$6,5 \pm 0,25$
УМ-1	-1,5... +29,5	3 500	3250	0,02	$39 \pm 1,5$
УМ-2	-2... +10	3 200	2800	0,01	$39 \pm 1,5$

Параметры угломерных функций СП СД.

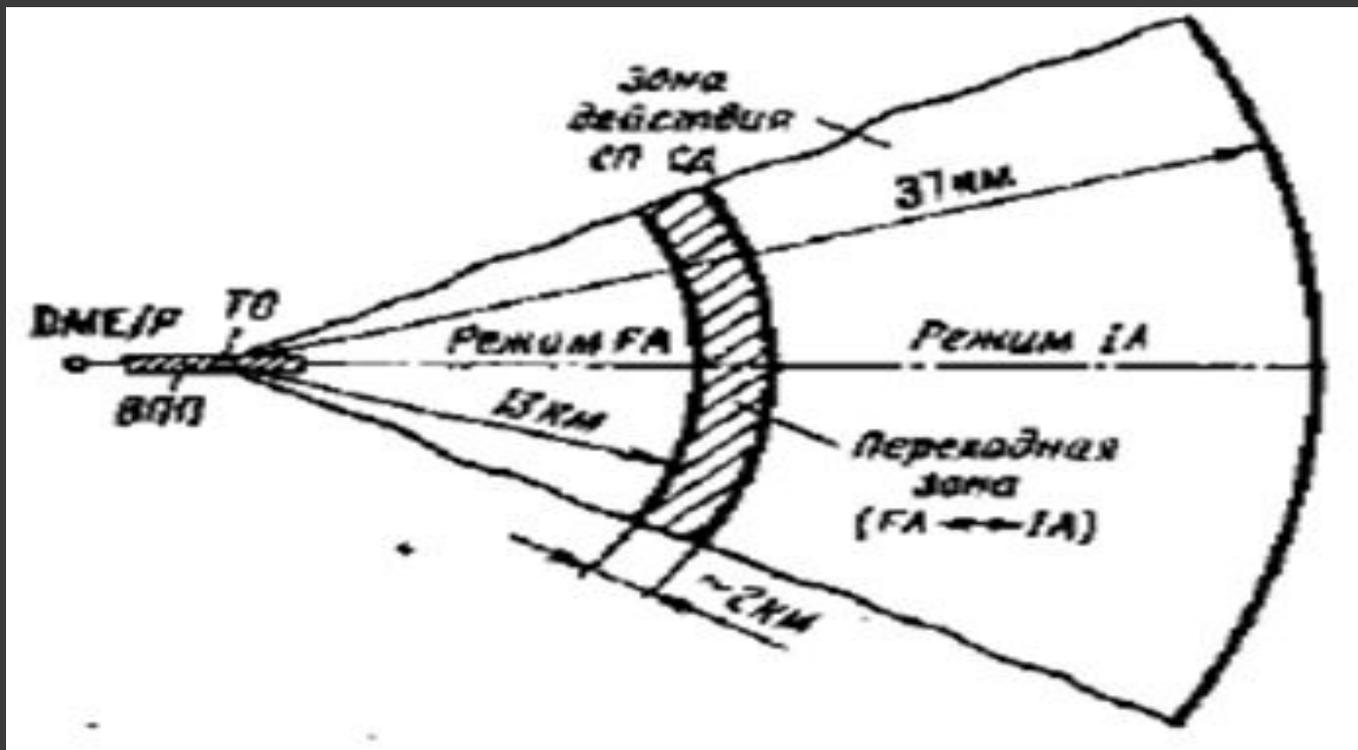
Вид информации	Временной интервал между началом передачи информации и началом функции, мс (номер тактового синхроимпульса)					
	Аз-1	АзС-1, Аз-2	УМ-1	УМ-2	ОД	ВД
Преамбула	0	0	0	0	0	0
Код Морзе	1,6 (25)	1,6 (25)	—	—	—	—
Сигнал записывания приемника	—	—	1,6 (25)	1,6 (25)	—	—
Выбор антенны	1,664 (26)	1,664 (26)	—	—	—	—
Сигнал <i>OCI</i>	—	—	1,728 (27)	—	—	—
Задний импульс <i>OCI</i>	2,048 (32)	2,048 (32)	—	—	—	—
Левый импульс <i>OCI</i>	2,176 (34)	2,176 (34)	—	—	—	—
Правый импульс <i>OCI</i>	2,304 (36)	2,304 (36)	—	—	—	—
Тест-импульс «Туда»	2,432 (38)	2,432 (38)	—	—	—	—
Сканирование «Туда» ¹	2,56 (40)	2,56 (40)	1,856 (29)	1,856 (29)	—	—
Пауза	8,76	6,76	3,406	3,056	—	—
Центр сканирования	9,06	7,06	3,606	3,456	—	—
Сканирование «Обратно» ¹	9,36	7,36	3,806	3,856	—	—
Передача адреса	—	—	—	—	—	1,6 (25)
» данных	—	—	—	—	1,6 (25)	2,112 (33)
» битов четности	—	—	—	—	2,752 (44)	5,44 (85)
Тест-импульс «Обратно»	15,5	11,56	—	—	—	—
Конец информации	15,688	11,688	5,356	5,056	2,88 (45)	5,696 (89)
Конец интервала	15,9	11,9	5,6	5,3	3,1	5,9

¹ Начало и конец сканирования «Туда» и «Обратно» зависят от данного сектора пропорционального наведения.

Временные последовательности передачи информации в СП СД.

Нормы ИСАО на дальномерную подсистему DME/P предусматривают использование оборудования канала дальности СБН типа VOR/DME, обладающего более высокой точностью и дополнительным числом частотно-кодовых каналов.

Зона действия DME/P в горизонтальной плоскости ограничена окружностью с радиусом не менее 37 км и центром в точке отсчета ТО (рис.13. 16).



Зона действия DME/P в горизонтальной плоскости

В вертикальной плоскости зона действия должна соответствовать зоне действия угломерной подсистемы.

Частотный диапазон DME/P разбит на 238 частотных каналов с разносом по частоте 1 МГц. Двести частотных каналов DME/P выбирают из числа 262 каналов стандартного DME. Дополнительное число частотно-кодowych каналов образуется увеличением числа кодowych групп, характеризуемых интервалом между импульсами в сигнале запроса и сигнала ответа (табл.13. 4).

Точность DME/P определяется допустимыми погрешностями измерения дальности до расчетной точки приземления (точки отсчета). Значения допустимых погрешностей измерения дальности приведены в табл. 13.5.

Индекс канала	Интервал между импульсами, мкс	
	запроса	ответа
X	12/18	12/12
Y	36/42	30/30
W	24/30	24/24
Z	21/27	15/15

Кодовые интервалы DME/P в режимах 1A/FA

В пределах указанных в таблице расстояний погрешности линейно уменьшаются по мере сокращения расстояния до опорной точки (О.Т). Суммарная погрешность дальномерной подсистемы в ОТ не должна превышать 30 м (2а). В остальных точках зоны действия СП СД (кроме указанных в табл.13. 5) при угловом отклонении до $\pm 40^\circ$ от вертикальной плоскости, проходящей через ось ВПП, допускается линейное увеличение погрешности PFE в 1,5 раза. Погрешность CMN не должна возрастать при угловом отклонении ЛА от оси ВПП. Указанная точность соответствует отношению числа ответных сигналов, обработанных бортовым запросчиком, к числу сигналов запроса не менее 0,5.

Точка в вертикальной плоскости оси ВПП	Стандарты точности	Режим работы	Погрешности (2а), м	
			PFE	CMN
37 км до ОТ	I и II	IA	± 250	± 68
9 км до ОТ	I (II)	FA	$\pm 85(\pm 85)$	$\pm 18(\pm 12)$
	I и II	IA	± 100	± 68
На и над ВПП	I (II)	FA	$\pm 30(\pm 12)$	$\pm 18(\pm 12)$
В зоне действия АРМ-2	I и II	FA и IA	± 100	± 68

Допустимые погрешности
DME/P

Нормы на параметры запросчика относятся как к режиму «FA», так и «IA», если эти режимы специально не оговариваются. Режим «FA» характеризуется следующими нормированными значениями параметров:

Время нарастания импульса (передний фронт), мкс ..1,6

Частичное время нарастания импульса (от 0,05 до 0,3 амплитуды), мкс ..0,25 ± 0,05

Длительность импульса, мкс ..3,5±0,5

Крутизна фронта импульса на участке его частичного нарастания для стандарта ЦП), % ...30(10)

Допуск на кодовый интервал, мкс .. ±0,25

Частота повторения групп запросных импульсов, пар импульсов/с:

при рулении или стоянке ЛА... 5

в режиме «Поиск» . . 40

в режиме «Слежение» .. 16(40)

Радиодальномер переходит из режима *IA* в режим *FA*, когда расстояние между ЛА и расчетной точкой его приземления уменьшается до 14,5 км.

Погрешность, вносимая ДРМ, в опорной точке при заходе на посадку в режиме «FA» («/Л»), м:

RFE Стандарт 1 10(15) Стандарт II 5(-)

CMN Стандарт 1 8(10) Стандарт II 5(-)

Погрешность, вносимая радиодальномером, в режиме «FA» («IA»), м:

RFE Стандарт 1 15(30) Стандарт II 7(-)

CMN Стандарт 1 10(15) Стандарт II 7(-)

Эти значения погрешностей должны выдерживаться в опорной точке при заходе на посадку.

8. Бортовая аппаратура СП СД.

Бортовая аппаратура УПС (рис. 13.17) имеет следующие основные параметры:

Частотный диапазон, МГц - 5031... 5090,7

Число частотных каналов..... 200

Погрешность RFE/CMN (2а), градус: по азимуту . . . 0,017/0,015

по углу места . . . 0,017/0,01

Чувствительность, дБ мВ... —95

Динамический диапазон, дБ.... 75

Избирательность по соседнему каналу, дБ —25

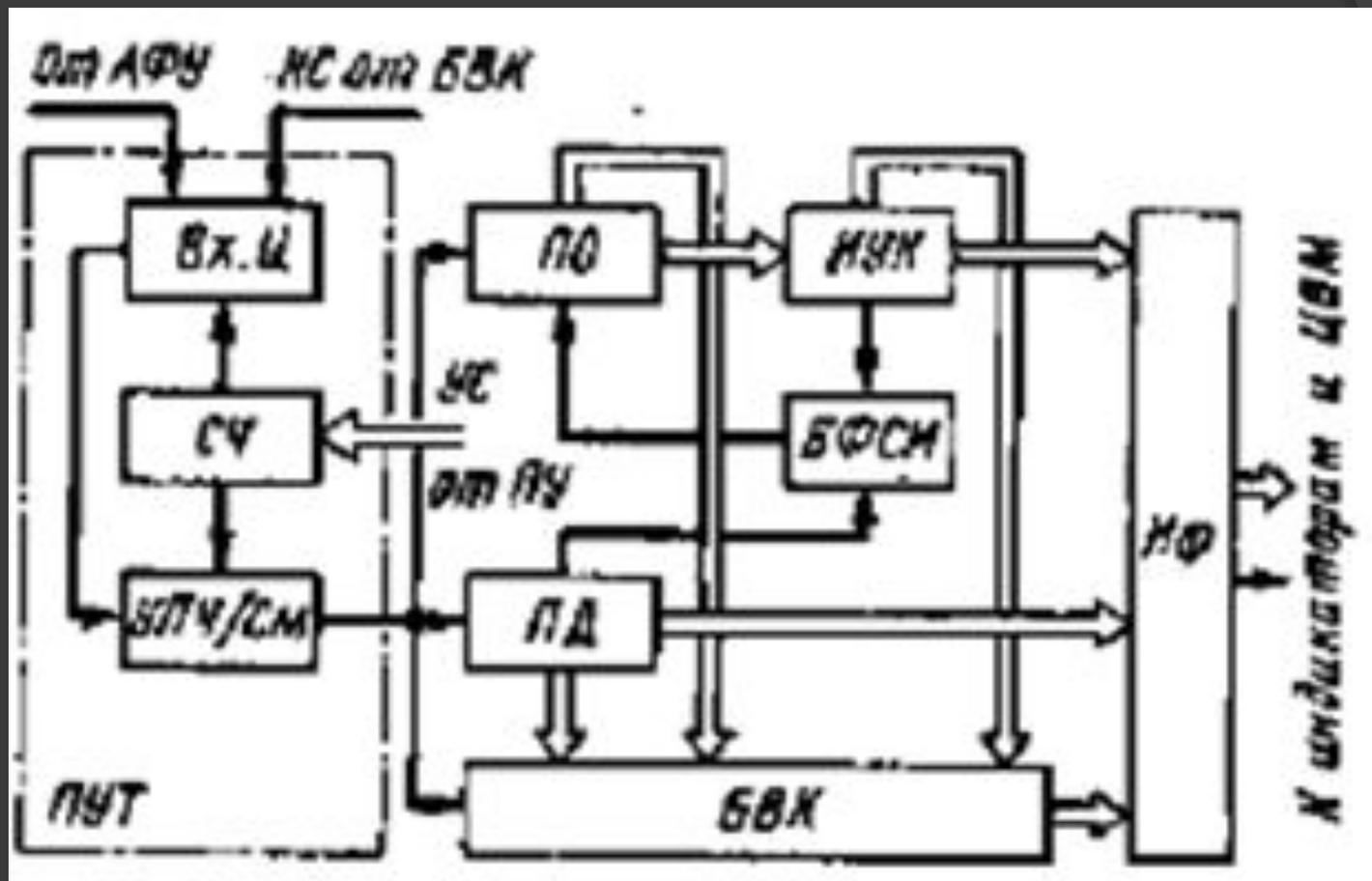
Потребляемая мощность, Вт ...30

Масса основного блока, кг... 5...6

Антенна — рупорная или ненаправленная — устанавливается в носовой части фюзеляжа или под ним. На больших ЛА, где возможно затенение основной антенны при маневрах ЛА, желательна вторая антенна, располагаемая в хвостовой части ЛА.

Приемоусилительный тракт ПУТ начинается с входных цепей ВхЦ, фильтры которых подавляют сигналы зеркальных каналов и перестраиваются сигналом с синтезатора частот СЧ. Входные цепи содержат диодный ограничитель защиты ПУТ от мощных сигналов и балансный смеситель. Коэффициент шума ВхЦ около 10 дБ. Вход контрольного сигнала КС обеспечивает сквозную проверку аппаратуры. Синтезатор СЧ построен по схеме ФАПЧ, содержит опорный генератор с кварцевой стабилизацией частоты и может перестраиваться ступенями по 75 кГц по сигналу УС с пульта управления ПУ.

Структурная схема бортовой аппаратуры угломерной подсистемы СП СД



Процессор данных ПД обнаруживает сигнал преамбулы, выдает импульс опорного времени на блок формирования стробирующих импульсов БФСИ и декодирует содержащиеся в преамбуле сообщения и данные. Кроме того, ПД служит для выдачи сигнала выбора антенны. Одна из функций ПД — определение на основе полученных от РМ данных масштабного коэффициента по азимуту, позволяющего получить индикацию курса, не зависящую от длины ВПП. Здесь же определяется отклонение от выбранной пилотом минимальной глиссады.

Процессор огибающей ПО, измеритель угловых координат ИУК и блок формирования стробирующих импульсов БФСИ выполняют функции выделения угломерных сигналов и определения времени между импульсами, принятыми при прямом и обратном ходе ДН РМ (см. рис. 13.8).

Блок встроенного контроля БВК проверяет уровень принятых сигналов, правильность декодирования кода функции, замыкание цепей ФАПЧ несущей частоты, правильность выставки, длительность и симметрию стробирующих импульсов. При нарушении правильности работы БВК выдает сигнал отказа. Кроме того, проверяется напряжение источника питания. Контрольные сигналы генерируются в БВК и могут быть введены в важнейшие точки аппаратуры. Блок контролирует также соответствие опорным значениям отклика аппаратуры на излучаемые РМ тест-сигналы.

Интерфейс Иф служит для ввода и вывода данных как в аналоговом, так и в цифровом виде. В состав Иф входят соответствующие преобразователи данных, а также фильтры для сглаживания угловых данных и ограничения скорости их изменения.

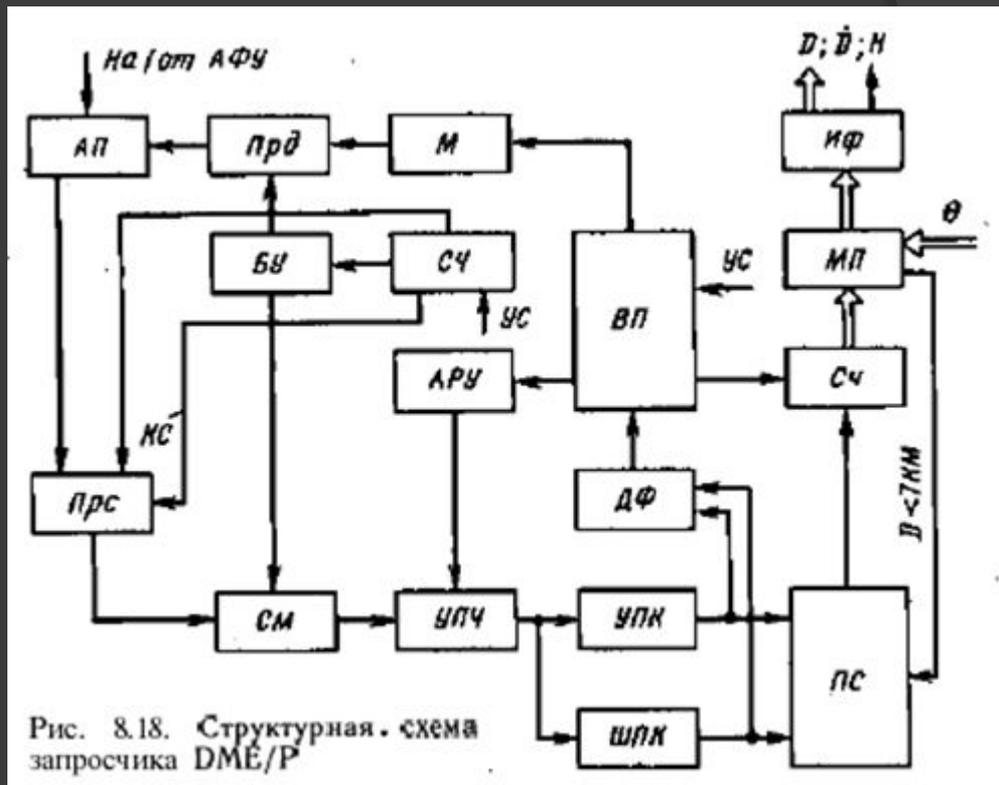
Бортовая аппаратура DME/P (рис.13.18) предназначена для работы с РМ типа DME и DME/P,

Основные параметры:

Частотный диапазон, МГц: передатчика 1041... 1150, приемника 978...1213

Число частотных каналов ...200

Погрешность в режиме «FA» (2σ), м	15
Импульсная мощность передатчика, Вт	120
Чувствительность приемника, дБ·мВт:	
в режиме «/A»	-80
» » «FA»	-60
Потребляемая мощность, В·А, от сети 115 В, 400 Гц	75
Масса, кг:	
всего комплекта (без кабелей)	5,4
приемопередатчика	4,77
Объем приемопередатчика, дм ³	7,6



Приемопередающая часть запросчика содержит Прд с модулятором М, сигналы на который поступают от видеопроцессора ВП и зависят от режима работы. Синтезатор частот СЧ служит задающим генератором Прд, связан с последним через буферный усилитель БУ и вырабатывает опорные колебания для См, сигнал перестройки преселектора Прс и контрольный сигнал КС (МГц). Используется общее АФУ, коммутируемое антенным переключателем АП. Усиление в УПЧ регулируется с помощью АРУ. Тракт усиления сигнала заканчивается узкополосным УПК и широкополосным

ШПК каналами, идентичными показанным на рис.13.9. Дискриминатор Ферриса ДФ подает на ВП сигнал, соответствующий выбранному частотному каналу.

Тракт обработки содержит пороговые схемы ПС (см. рис.13.9), видеопроцессор ВП, счетчик Сч, микропроцессор МП и интерфейс Иф. Видеопроцессор ВП вместе с Сч рассчитывает дальность по задержке сигнала ответа, контролирует правильность работы, вырабатывает сигналы управления АРУ и модулятором и выдает стробимпульс для Сч. Используется 16-разрядный счетчик и счетные импульсы с частотой 20,2282 МГц, период которых соответствует 0,004 м. мили (примерно 7,4 м). Данные с Сч поступают на МП, где они фильтруются и преобразуются в код, используемый внешними потребителями. Кроме того, МП вычисляет радиальную скорость D и высоту полета H , используя в последнем случае информацию об угле места θ от УПС. Интерфейс служит для связи запросчика с другими системами ЛА.