

# ЛЕКЦИЯ

по дисциплине «**ВОЕННО - ТЕХНИЧЕСКАЯ  
ПОДГОТОВКА**»

**Тема №1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАДИОЛОКАЦИИ.**

**Занятие №6. Методы измерения координат,  
применяемые в современных радиолокационных  
станциях(4час.)**

# УЧЕБНЫЕ ЦЕЛИ:

1. Ознакомить студентов с основными принципами измерения дальности, применяемые в современных РЛС.
2. Изучить каким образом осуществляется измерение высоты в РЛС с парциальными ДНА в вертикальной плоскости.
3. Изучить каким образом формируется ЗО и измерение высоты в РЛС с частотным сканированием луча.
4. Изучить особенности формирования зон обнаружения и измерение угла места в РЛС метрового диапазона.

# Учебные вопросы:

1. Измерение азимута и дальности в современных РЛС
2. Обзор пространства и измерение высоты (угла места) в РЛС с парциальными диаграммами направленности
3. Формирование зоны обнаружения и измерения высоты (угла места) в РЛС с частотным сканированием луча
4. Особенности формирования зон обнаружения и измерение угла места в РЛС метрового диапазона

# Рекомендуемая литература:

- 1.). Теоретические основы радиолокационных систем РТВ: Учебн. пособие / М.И. Ботов, В.А. Вяхирев. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007.
- 2.). Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск. Учебник. В.Н. Тяпкин и др. СФУ, 2011 г.
- 3.). Теоретические основы радиолокации. Ширман Я.Д. Издательство «Советское радио». Москва 1970 г.

## **Контрольный опрос**

**1.Перечислить принципы радиолокации.**

**2.Какие параметры ЛА позволяют определять эти принципы?**

**2.Классификация РЛС по тактическим признакам.**

**3. Классификация РЛС по техническим признакам.**

# Вопрос 1. Измерение азимута и дальности в современных РЛС

## Принцип измерения дальности до цели.

Дальность до цели- ( $D$ )  
в импульсной РЛС определяется временем распространения радиоволн-  $t_3$  от РЛС до цели и обратно

$$D = ct_3 / 2$$

. На рисунке представлены графики импульсов запуска РЛС, зондирующих импульсов и эхо-сигналов, отраженных от цели.

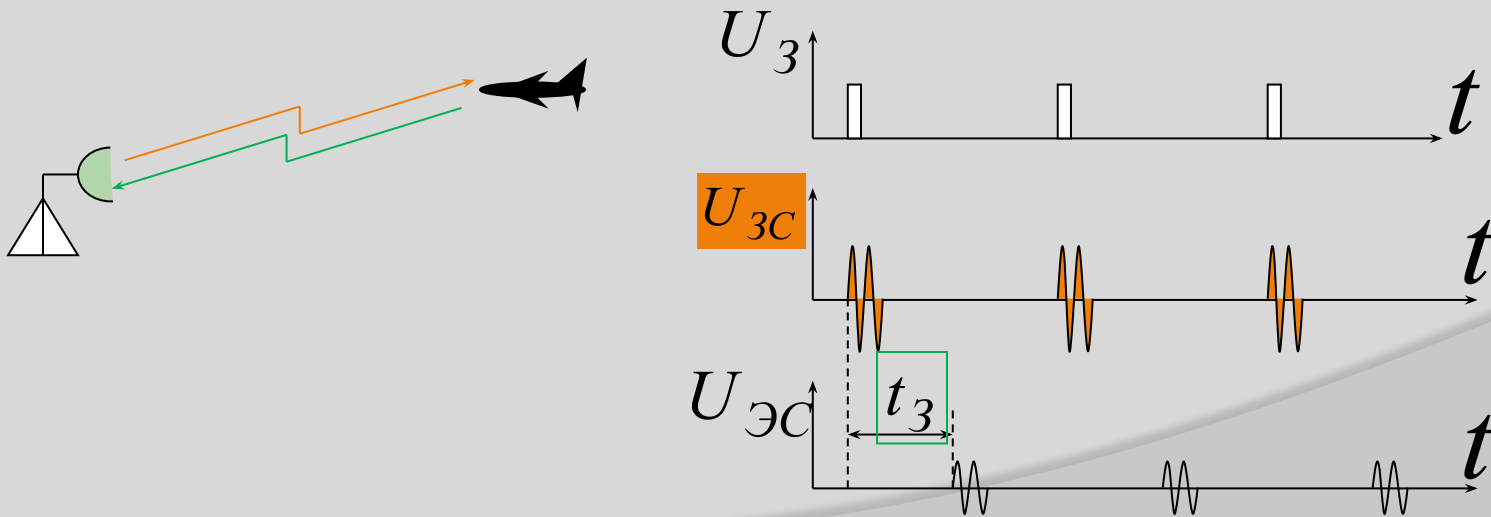


Рис. Импульсный метод измерения дальности

**Измерение времени запаздывания позволяет определить время запаздывания  $t_3$  в пределах от 0 до  $T_{\Pi}$ .**

Если  $t_3 > T_{\Pi}$  и отраженный сигнал приходится на следующий цикл работы РЛС, то с помощью импульса РЛС фиксируется разность  $\Delta t = t_3 - T_{\Pi}$ , а определяемая дальность до цели составит  $\Delta D = c \cdot \Delta t / 2$  вместо истинной

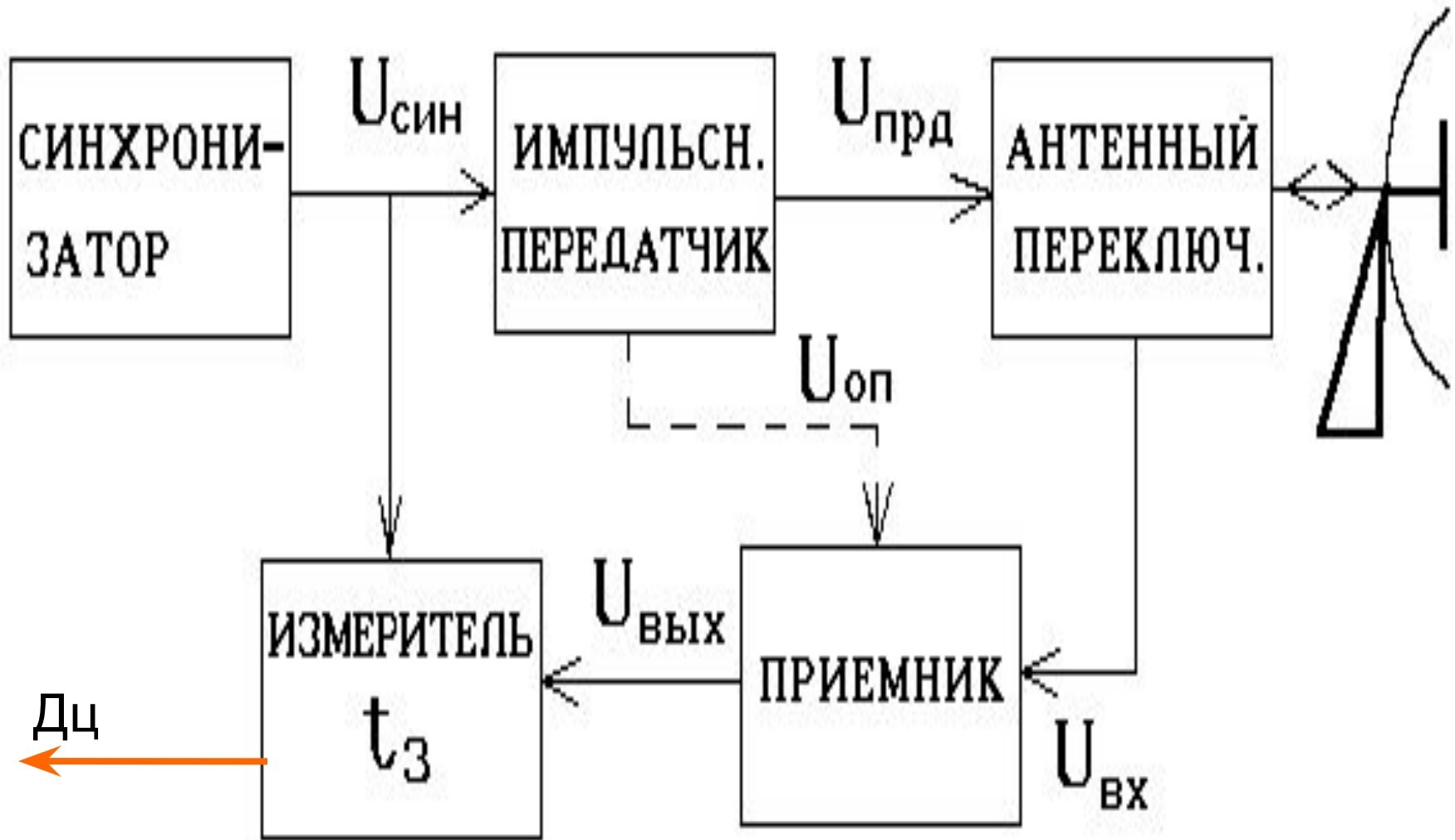
$D = c \cdot t_3 / 2$ . Таким образом, интервал однозначного измерения дальности  $D_{\text{одн}}$  ограничивается неравенством

$$0 < D_{\text{одн}} < c \cdot T_{\Pi} / 2.$$

Отсюда следует, что для однозначного измерения дальности до целей в пределах от 0 до  $D_{\text{мах}}$  период следования импульсов  $T_{\Pi}$  должен удовлетворять условию

$$T_{\Pi} > 2 \cdot D_{\text{мах}} / c. \quad (1)$$

На практике же период следования импульсов в некоторых РЛС выбирают в несколько раз меньше, чем этого требует условие (1), что связано с обеспечением защищенности РЛС от пассивных помех. Выполнение требования измерения дальности от 0 до  $D_{\text{мах}}$  при этом обеспечивается, например, использованием нескольких частот повторения импульсов



Упрощенная структурная схема РЛС



Кроме рассмотренного импульсного метода измерения дальности, существуют и другие методы.

**Частотный метод измерения дальности** основан на использовании частотной модуляции излучаемых непрерывных колебаний. Время запаздывания определяется путем измерения разности частот излученных колебаний и отраженного сигнала.

**Фазовые методы измерения дальности** основаны на измерении разности фаз излученных синусоидальных колебаний и принятых радиосигналов. При использовании этого метода основной трудностью является преодоление неоднозначности отсчета фазы, так как фазометрическое устройство позволяет определять фазовые сдвиги только в пределах от 0 до  $2\pi$ . Поэтому  $D_{\text{одн}} < 1/2$ .



В РЛС с цифровой обработкой сигналов время распространения радиоволн определяется числом масштабных импульсов-  $N$  (номером кольца дальности), заключенных в интервале времени между излучением зондирующего импульса и приемом отраженного эхо-сигнала, т.е.  $t_3 = NT_D$ , где  $T_D$  - период следования импульсов дискретизации, соответствующий условию теоремы Котельникова..

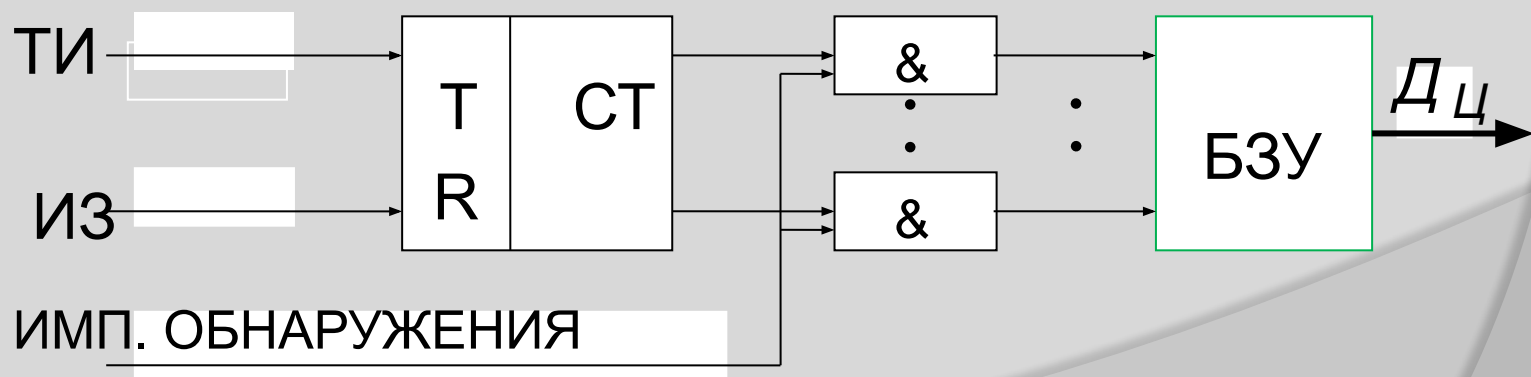
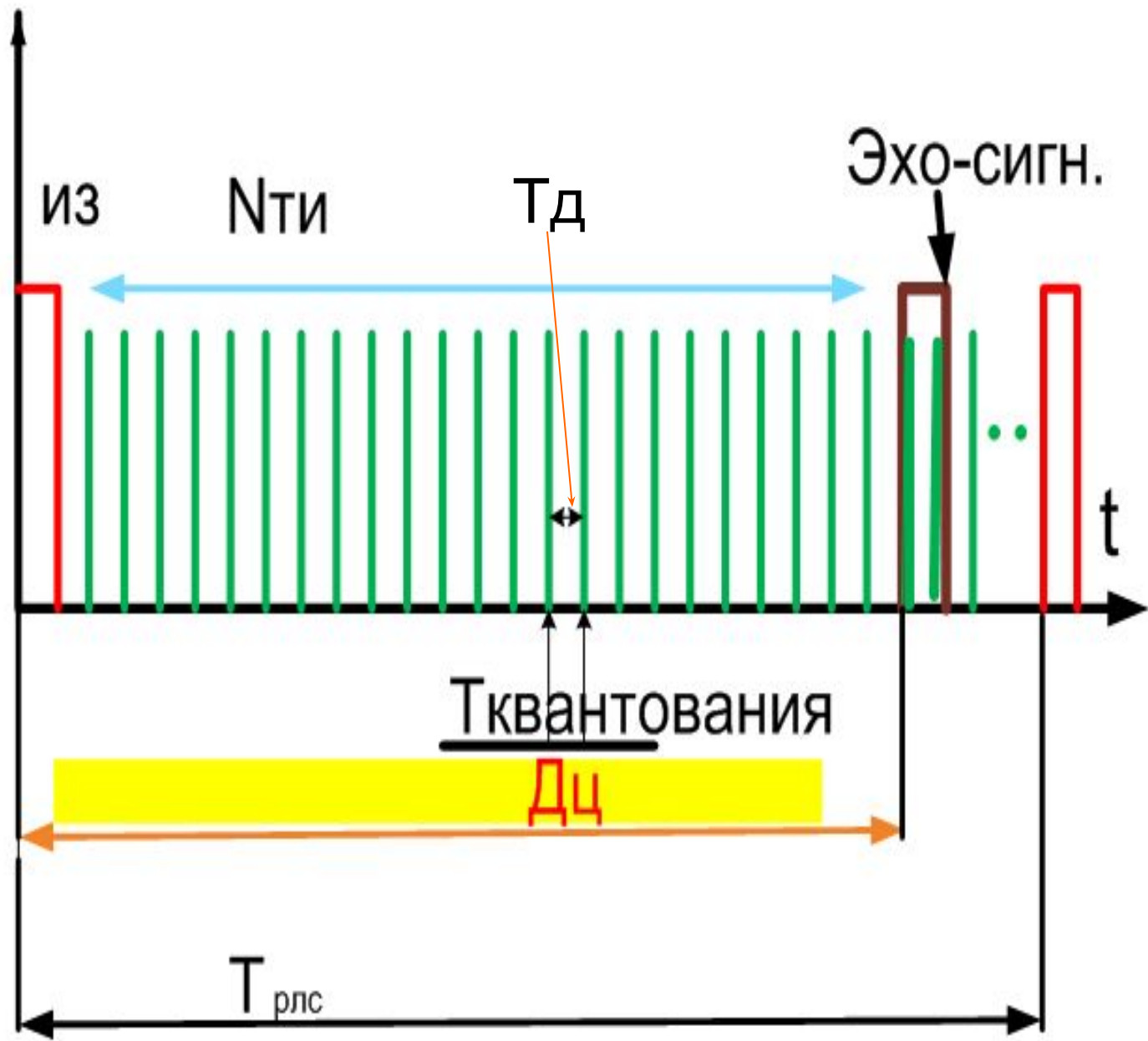


Рис. Структурная схема устройства измерения дальности

$U(t)$



**Импульсы запуска( ИЗ) обнуляют счетчик СТ в каждом периоде следования зондирующих импульсов, поэтому счет тактовых импульсов с периодом дискретизации Т в каждом периоде зондирования пространства начинается с нуля. Цифровой код на выходе счетчика соответствует числу тактовых импульсов (номеру кольца дальности). При наличии цели в соответствующем кольце дальности на схемы совпадения & счетчика от устройства автоматического обнаружения цели приходит импульс обнаружения. Многоразрядный цифровой код счетчика, являющийся кодом дальности, переписывается в буферное запоминающееся устройство (БЗУ), отождествляется по времени с данным импульсом обнаружения цели и в последующем выступает как цифровой код дальности именно этой цели.**

## 1.1.Измерение азимута в современных РЛС

Азимут цели-

$$\beta_{Ц}$$

определяется по положению середины пачки отраженных от цели зондирующих импульсов, превысивших порог обнаружения. Такие импульсы получили название «импульсы обнаружения». Код азимута (код  $\beta$ ) определяется путем фиксации в каждом дискрете дальности кода азимута антенны в момент начала пачки -

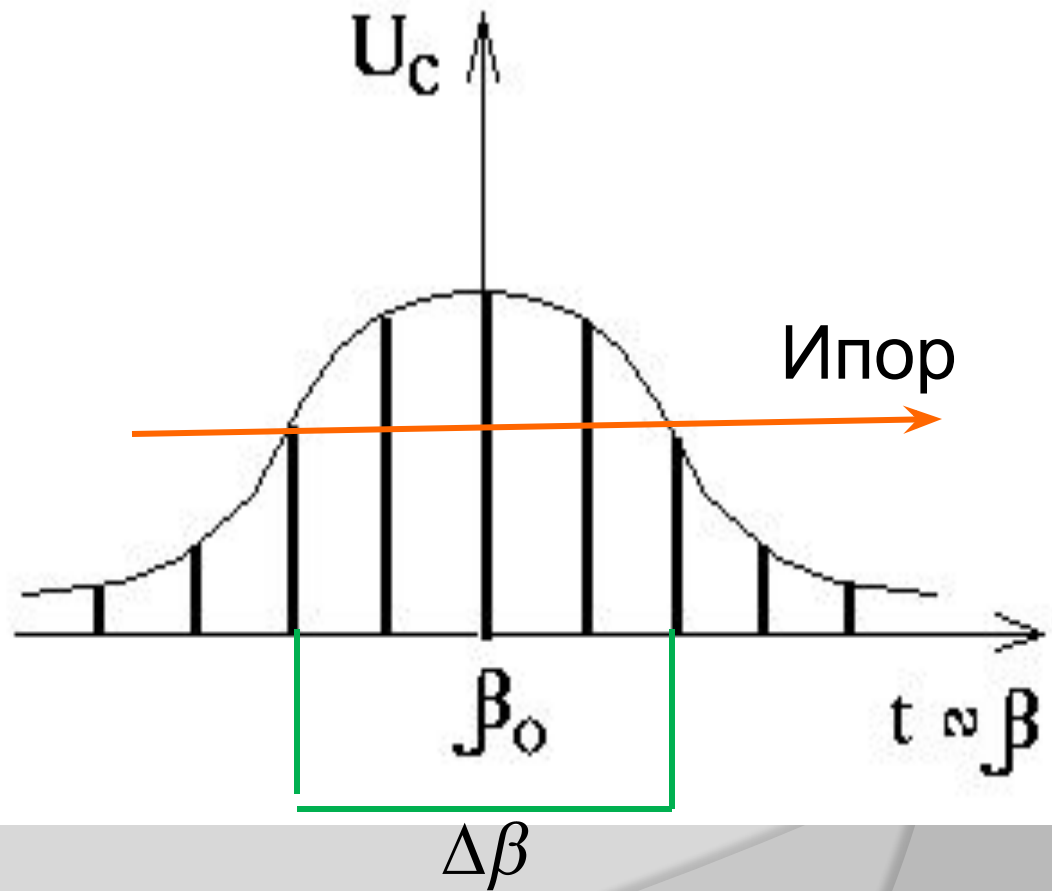
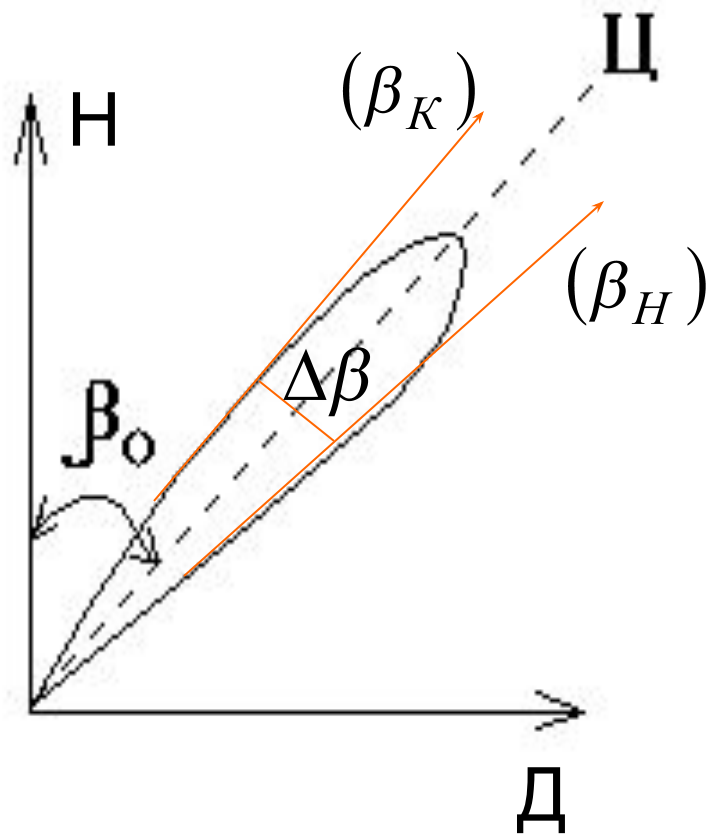
$$(\beta_{Н}) \text{ и конца- } (\beta_{К})$$

и последующего расчета по формуле:

$$\beta_{Ц} = \beta_{К} - \Delta\beta/2, \text{ где}$$

$\Delta\beta$  - размер (ширина) пачки по азимуту

$$(\Delta\beta = \beta_{К} - \beta_{Н})$$



Огибающая пачки импульсов на выходе линейного приемника.

Упрощенная структурная схема устройства измерения азимута приведена на рис.2.19. В устройстве определения начала и конца пачки на основе приходящих импульсов обнаружения формируются импульсы начала НП и конца КП пачки, которые поступают в устройство определения азимута конца- ( $\beta_K$ ) и ширины пачки  $\Delta\beta$

Для этого на устройство определения  $\beta_K$   $\Delta\beta$  .

поступает текущий код азимута антенны «Код  $\beta_{AZ}$ »

В устройстве ограничения ширины пачки производится анализ ширины пачки и ее ограничение сверху и снизу.

Сверху пачка ограничивается на уровне максимально возможной величины, определяемой шириной ДН антенны в азимутальной плоскости. В случае превышения пачки указанных размеров формируется сигнал прерывания и считывания, что указывает на наличие на анализируемой дальности более одной цели.



Ограничение пачки снизу производится на уровне примерно в 4 раза меньше, чем ширина ДН антенны в азимутальной плоскости. В арифметически-логическом устройстве АЛУ производится вычисление азимута цели в соответствии с выражением

$$\beta_{Ц} = \beta_{К} - \Delta\beta / 2$$

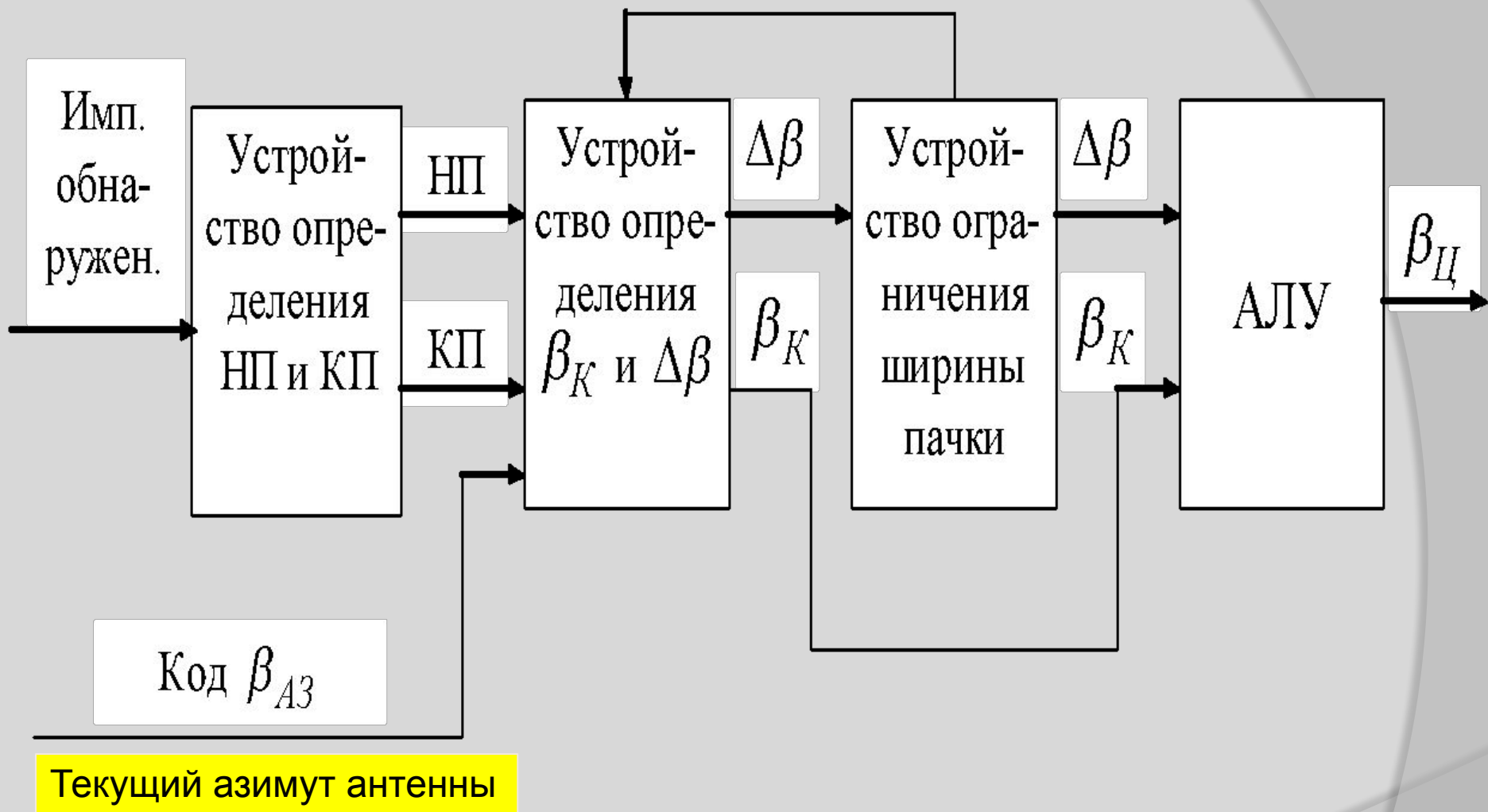


Рис. 2.19. Структурная схема устройства измерения азимута

## **Вопрос №2. Обзор пространства и измерение высоты (угла места) в РЛС с парциальными диаграммами направленности.**

**Необходимость измерения в процессе обзора трех пространственных координат и обеспечения разрешения целей по обеим угловым координатам требует применения в трехкоординатных РЛС антенн с узкими диаграммами направленности как по азимуту, так и по углу места. Однако при наличии на передачу и прием одного такого луча (и одного приемопередающего тракта) необходим двумерный последовательный обзор пространства (например, кадровый, как у высотомеров в секторном режиме работы), что потребует недопустимо большого времени обзора пространства.**

**Для обеспечения высокого темпа обзора пространства сохраняют последовательный обзор лишь по одной угловой координате-азимуту, а по углу места обеспечивают одновременный (параллельный) обзор, т. е. используют смешанный метод обзора пространства.**

Обеспечить одновременный обзор всех угломестных направлений в заданном секторе в трёхкоординатных РЛС **можно двумя методами:**

- а) методом парциальных диаграмм;**
- б) методом частотного сканирования луча антенны в угломестной плоскости.**

**Оба метода находят в настоящее время практическое применение. При методе парциальных диаграмм одновременный обзор заданного угломестного сектора обеспечивается тем, что антенна РЛС формирует на прием в вертикальной плоскости набор смещенных и перекрывающихся друг с другом узких парциальных диаграмм (рис.4-а).**

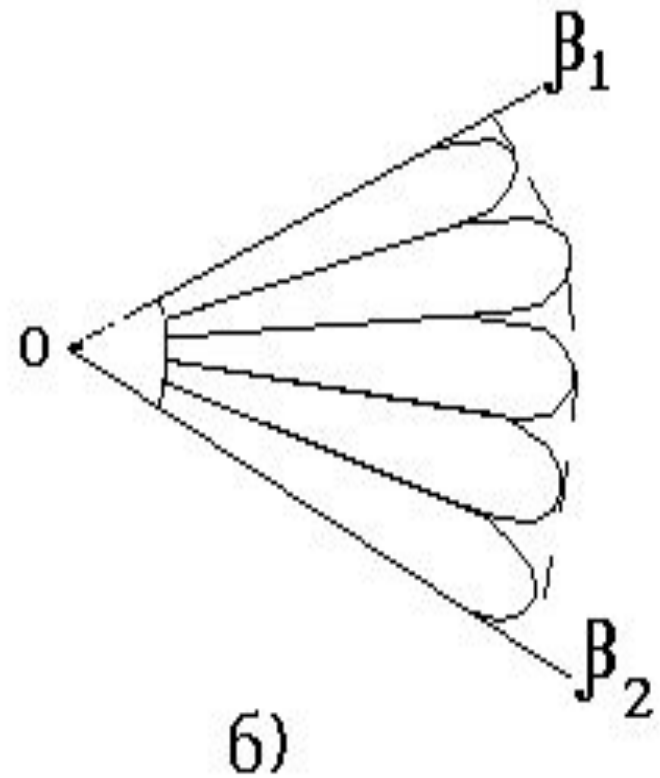
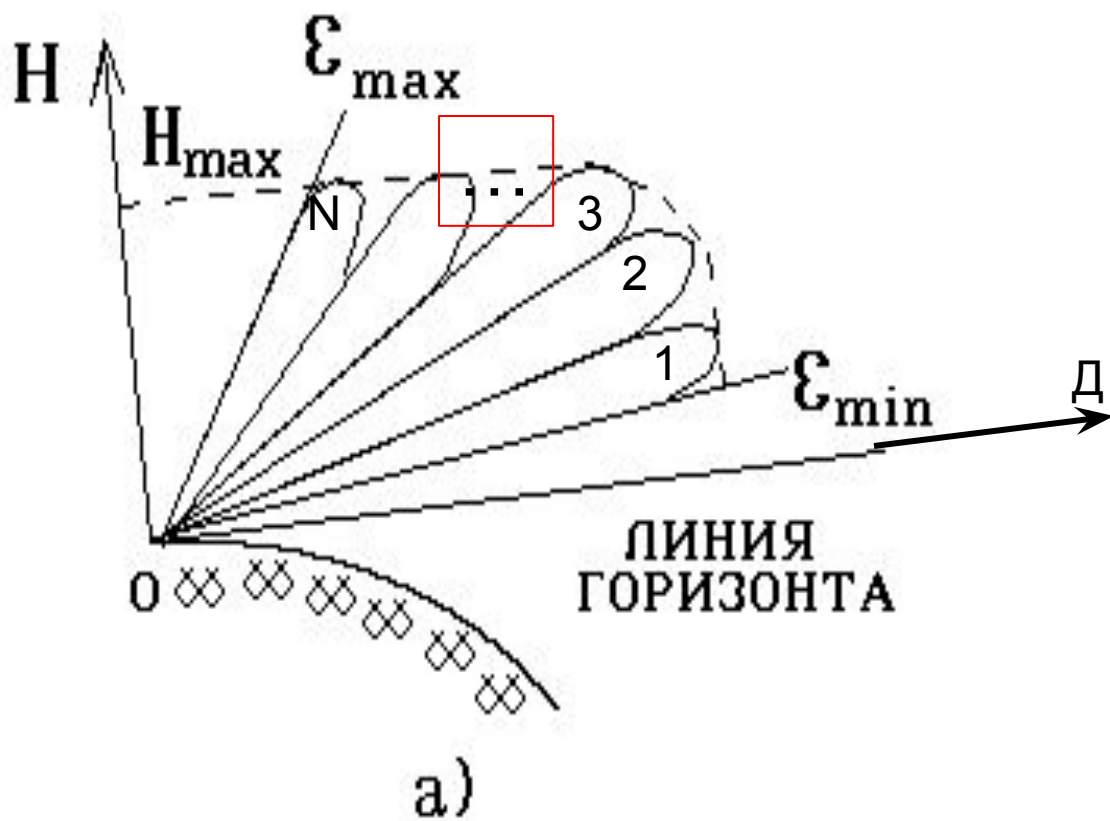
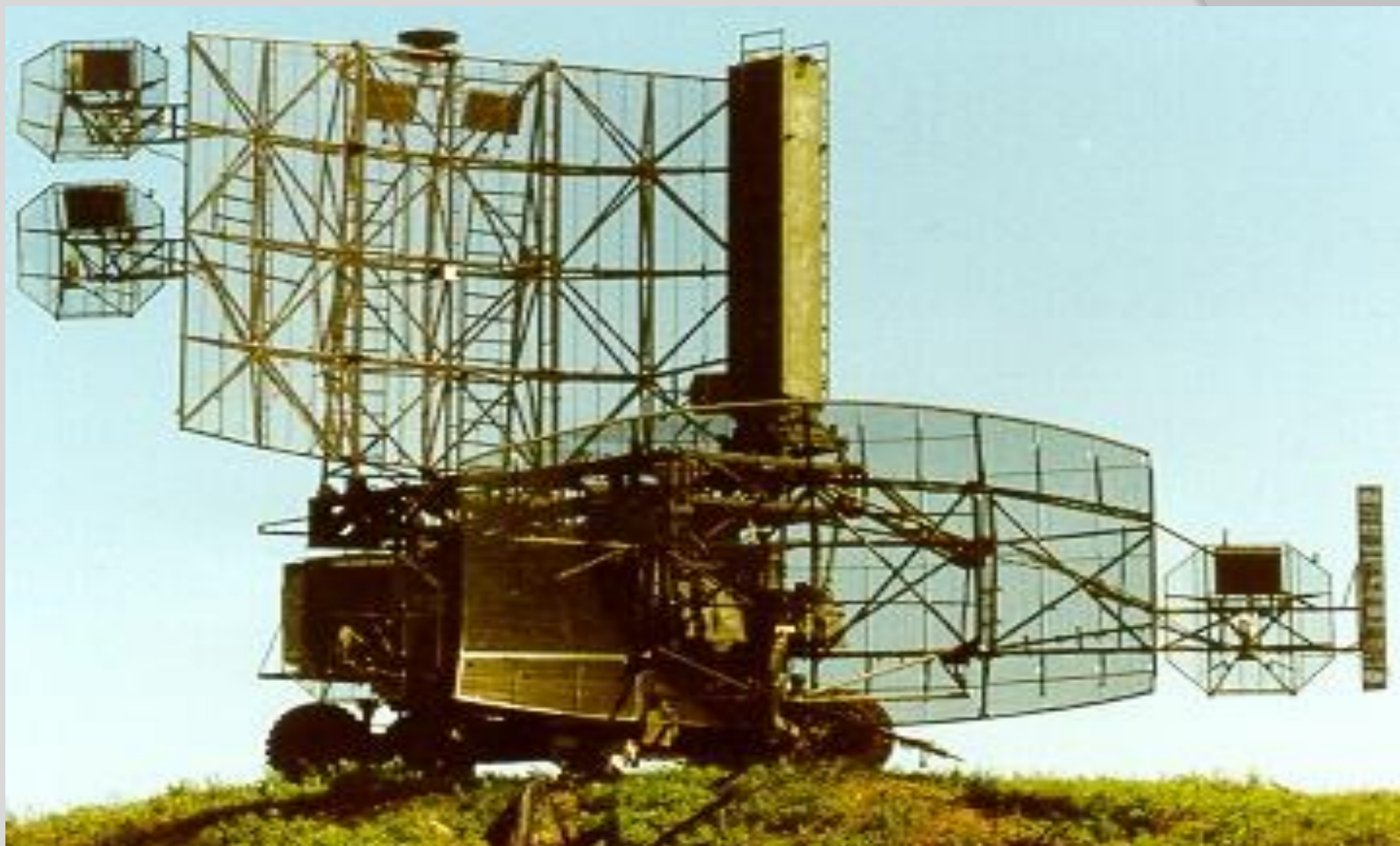


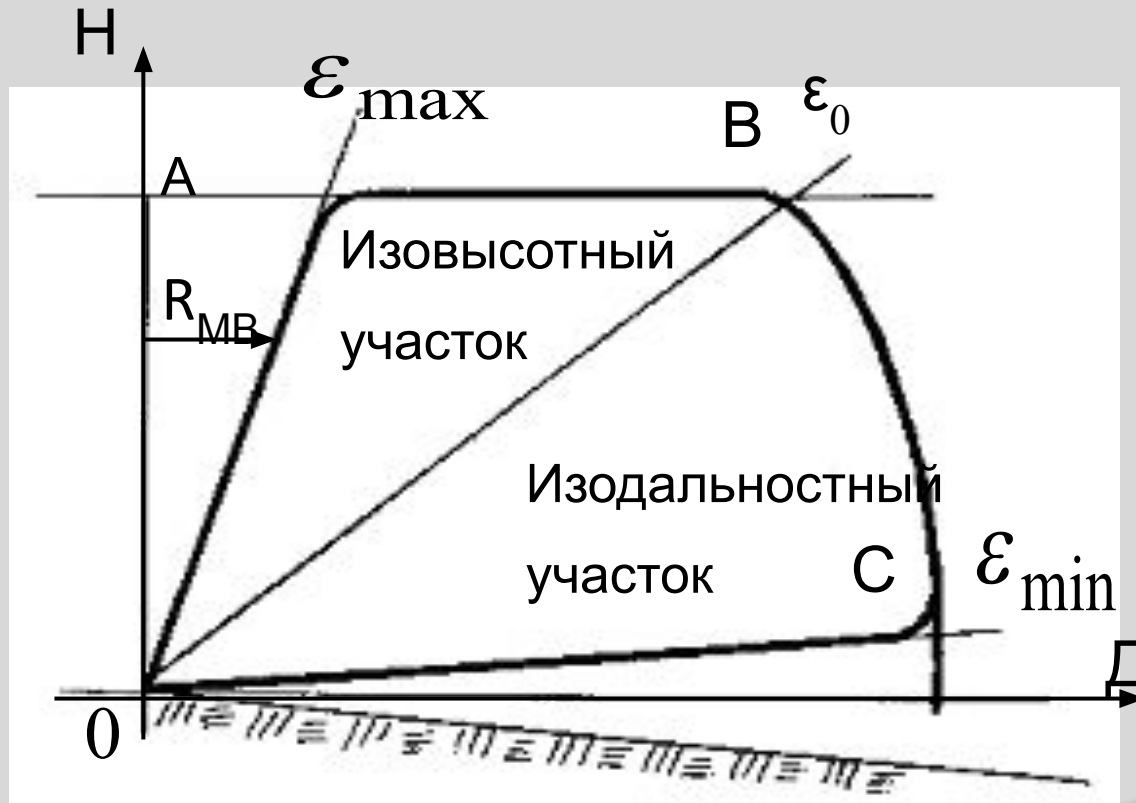
Рис.4.Иллюстрации метода парциальных диаграмм

**Такая веерная диаграмма направленности может быть сформирована, например, с помощью зеркальной антенны с набором смещенных друг относительно друга по вертикали облучателей. На излучение формируется либо один широкий луч (косекансной формы), как это реализовано в РЛС 55Ж6, 22Ж6, либо набор лучей (более широких, чем на прием), перекрывающих заданный угломестный сектор (рис. 4а).**



Трёхкоординатная РЛС боевого режима **22Ж6** "Десна".





**Рис. Сечение зоны обнаружения радиолокационной станции в угломестной плоскости**

**В современных РЛС с целью оптимизации распределения энергии по направлениям в соответствии с реальной воздушной и помеховой обстановкой в зоне обнаружения РЛС** может предусматриваться возможность сосредоточения всей энергии передатчика в течение некоторого времени в узком луче, положение которого по углу места задается ЭВМ, в соответствии с помеховой обстановкой, выявленной в предыдущем обзоре РЛС. При любом варианте формирования диаграмм направленности на передачу передающую и приемную антенны **делают раздельными**, что облегчает формирование на передачу и прием требуемой формы и упрощает волноводный приемный тракт (отпадает необходимость в большом комплекте антенных переключателей).

**Достоинство РЛС с парциальными диаграммами по сравнению с РЛС с частотным сканированием является то, что в них могут применяться зондирующие сигналы любой формы (простые, сложно модулированные, многочастотные), может производиться перестройка частоты с целью защиты от прицельных по частоте активных помех. Рассмотрим принцип обработки сигналов и измерения координат в РЛС с парциальными диаграммами направленности. Упрощенная структурная схема приемного устройства изображена на рис. 5.**

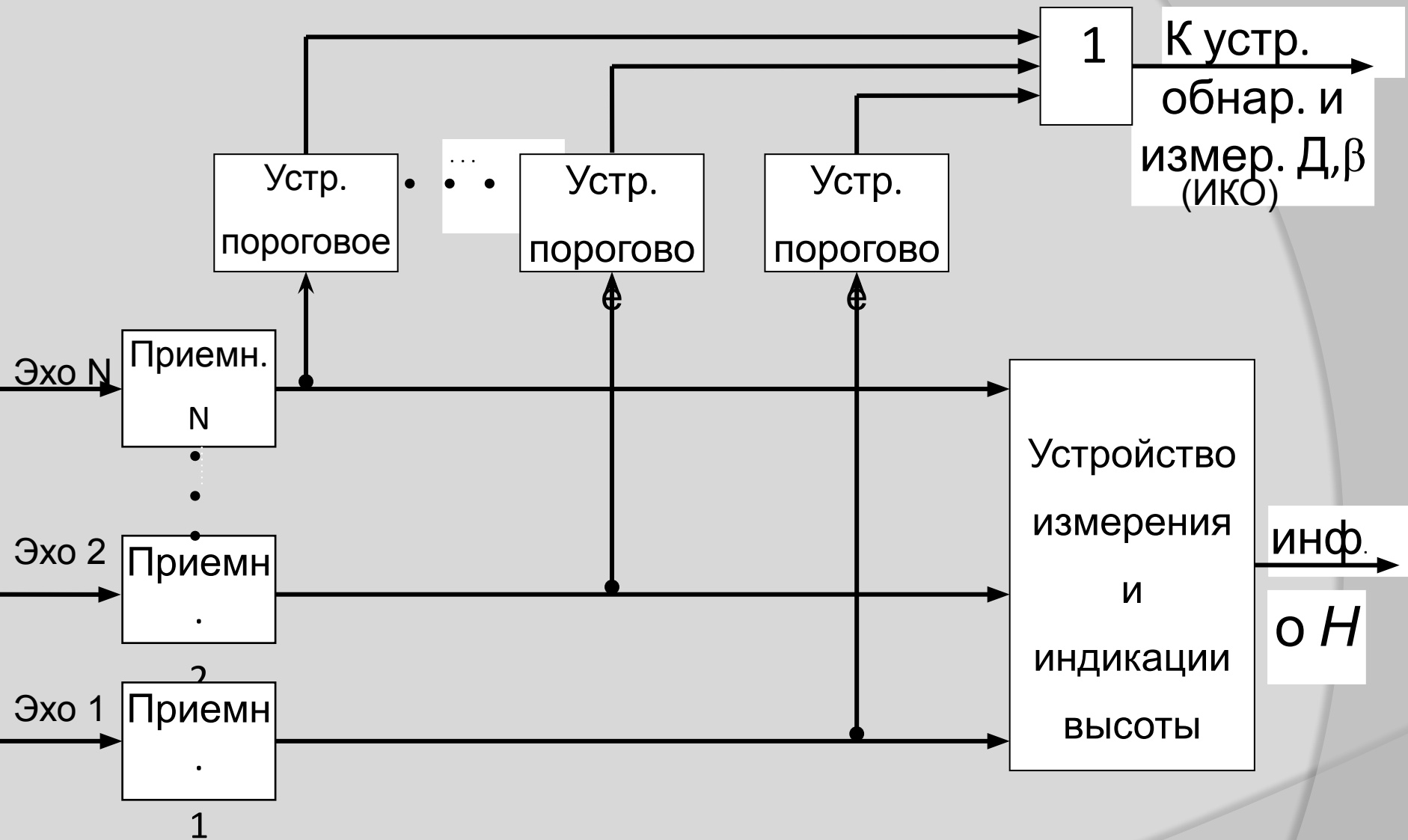


Рис.5. Структурная схема приемного устройства РЛС с парциальными диаграммами направленности

Для того чтобы обеспечить одновременный прием сигналов с любого угломестного направления и измерение угла места целей, с облучателем каждого парциального канала связан свой приемный канал. Выходные сигналы всех приемников через пороговые устройства передаются на схему ИЛИ, где объединяются и подаются на устройство обнаружения и измерения плоскостных координат  $D$  и  $\beta$  (например, на ИКО). Включение пороговых устройств на выходе каждого приемника предотвращает суммирование шумов всех приемников в схеме ИЛИ и тем самым предотвращает ухудшение отношения сигнал/шум.

*Измерение азимута и дальности в РЛС производится теми же методами, что и в дальномерах РЛК.*

## Угол места - $\varepsilon$ Ц

определяется на основании следующих свойств РЛС: Антенная система имеет ряд парциальных диаграмм, развернутых по углу места и вращающихся по азимуту (рис.6).

Прием эхо-сигналов или активной шумовой помехи может производиться одновременно одним, двумя или несколькими каналами в зависимости от интенсивности сигнала и угловых координат его источника.

Определение высоты по измеренным дальности и углу места цели производится спецвычислителем по формуле :

$$H = \frac{D^2}{2R_{3Э}} + D \sin \varepsilon$$

либо с помощью индикатора высоты.

Измерение угла места производится методом моноимпульсной радиолокации с дискретным отсчетом. Существует несколько методов дискретного отсчета: **по номеру приемного канала, однопороговый и многопороговый**

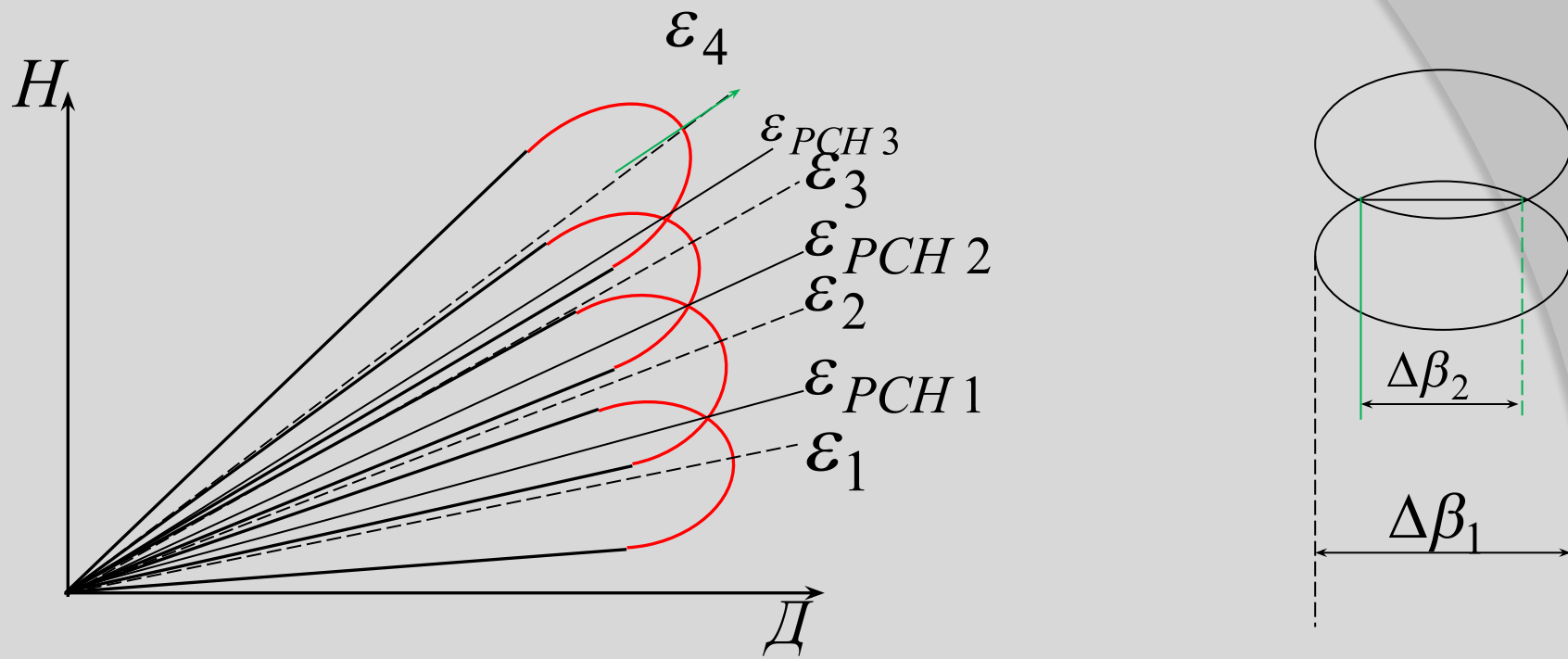


Рис. 6. Оценка угла места цели с помощью метода парциальных лучей

При отсчете по номеру приемного канала за оценку угла места цели принимается направление максимума луча того канала, на выходе приемника которого в устройстве измерения высоты обнаружен сигнал. При этом возникает ошибка дискретности отсчета. Очевидно, максимальное значение ошибки дискретности примет в том случае, когда цель будет находиться на равносигнальном направлении (а за оценку будет принято положение максимума одного из соседних лучей):

$$\delta\varepsilon_{\max} = \frac{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i}{2} = \frac{\delta\varepsilon}{2} = \frac{\varepsilon_0}{2} \quad (2)$$

где:  $\varepsilon_i, \varepsilon_{i+1}$  - положение максимумов двух соседних ( $i - 20$  и  $(i + 1) - 20$ ) лучей антенны;

$\delta\varepsilon$  - угловое смещение максимумов соседних лучей (оно выбирается равным ширине одного луча  $\varepsilon_L$ )



Среднеквадратическое значение ошибки дискретности отсчета при положении с равновероятным распределением угла места цели между соседними отсчетами будет равна:

$$\sigma_{\text{диск}} = \frac{\sigma \varepsilon_{\text{max}}}{\sqrt{3}} = \frac{\varepsilon_0}{2\sqrt{3}}$$

Для уменьшения ошибки дискретности отсчета (при заданной ширине луча -  $\epsilon_L$ ) применяют метод определения угла места, где «учитывается» энергия принимаемого сигнала каждым парциальным лучом. При приеме сигнала -  $i$  - ВМ каналом угла места-  $\epsilon$  источника отождествляется с углом места максимума ДН  $i$  - 20 канала ( $\epsilon_i$  где  $i = 1, 2, 3, 4$ ).

При приеме сигнала более чем двумя каналами решается задача правильного выбора измерительного интервала, т.е. выбора двух соседних каналов, принявших сигнал главными лепестками своих ДН (многоимпульсный способ измерения). После определения (выбора) двух соседних каналов, угол места уточняется путем сравнения характеристик (ширины пачки) сигнала в двух каналах.

При примененном методе сравнения размеров пачек угол места выражается формулой:

где:

$\Delta\beta_i, \Delta\beta_{i+1}$  - длина пачек (количество импульсов) в смежных  $i$ -ом и  $(i+1)$ -ом каналах;

- значение угла места равносигнального направления между  $i$ -ым и  $(i+1)$ -ым лучами;

$B$  и  $C$  – константы, подобранные для диапазона уровней сигналов, лежащих в зоне уточнения и характеризующих форму ДН антенны.

Структурная схема устройства определения угла места  $\varepsilon_{Ц}$  цели изображена на рис. 7.

Принцип ее работы очевиден из рисунка. Величины  $\varepsilon_{НА}$   $\varepsilon_{Г}$  позволяют учесть соответственно поправку на наклон электрической оси антенны, а также поправку на рефракцию луча в атмосфере.

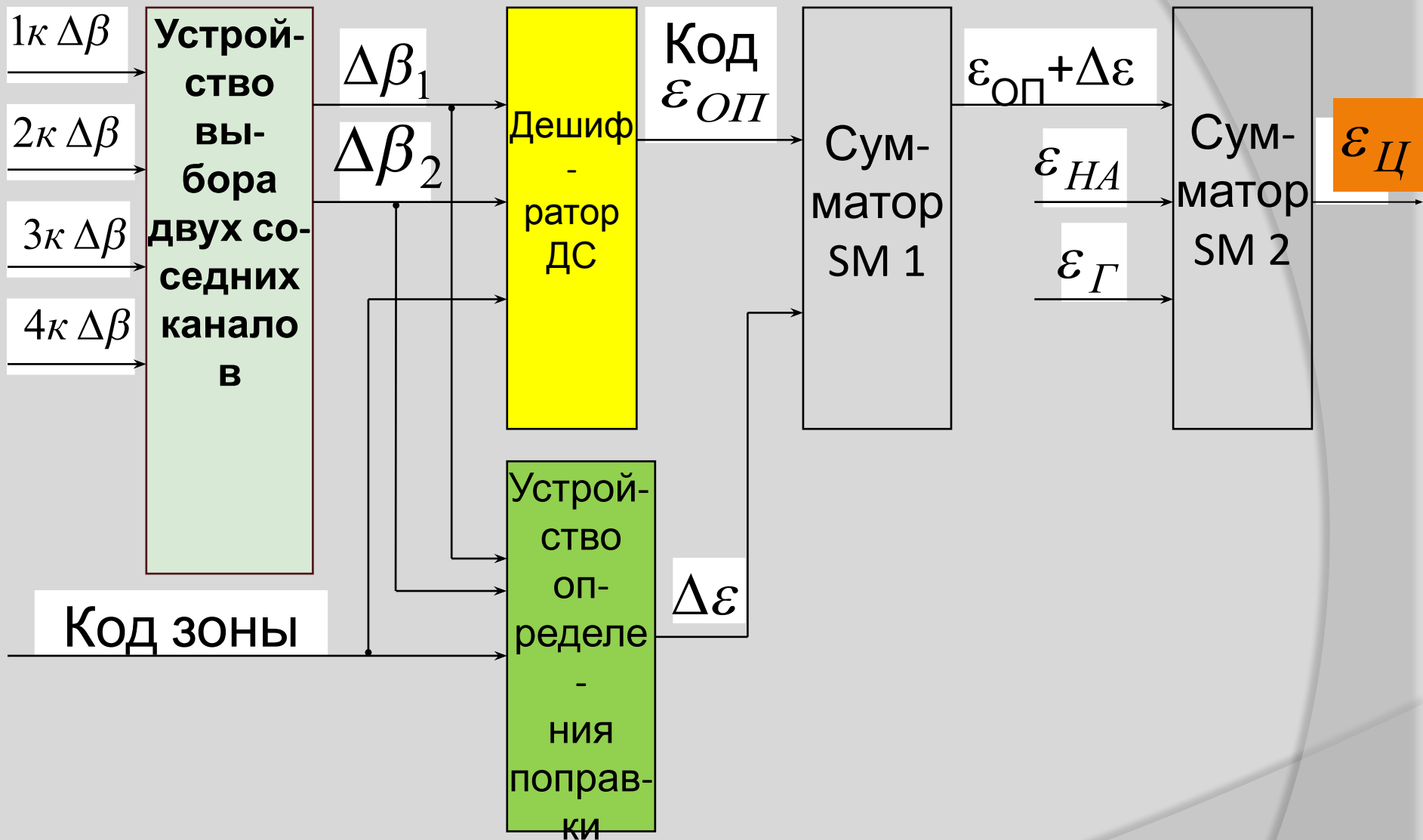


Рис.7. Структурная схема определения угла места цели

**К существенным недостаткам данного способа измерения угла места цели можно отнести:**

**1. Повышенные требования к позиции РЛС – отсутствие углов закрытия. Наличие углов закрытия приводит как к провалам в проводке целей, так и к существенным ошибкам измерения высоты.**

**2. Для повышения точности измерения угла места возникает необходимость увеличения длины пачки за счет расширения ДН каждого луча -  $\Delta\beta_i$  в азимутальной плоскости.**

**Это приводит к ухудшению защиты от пассивных и активных помех.**

### Вопрос №3. Формирование зоны обнаружения и измерения высоты (угла места) в РЛС с частотным сканированием луча.

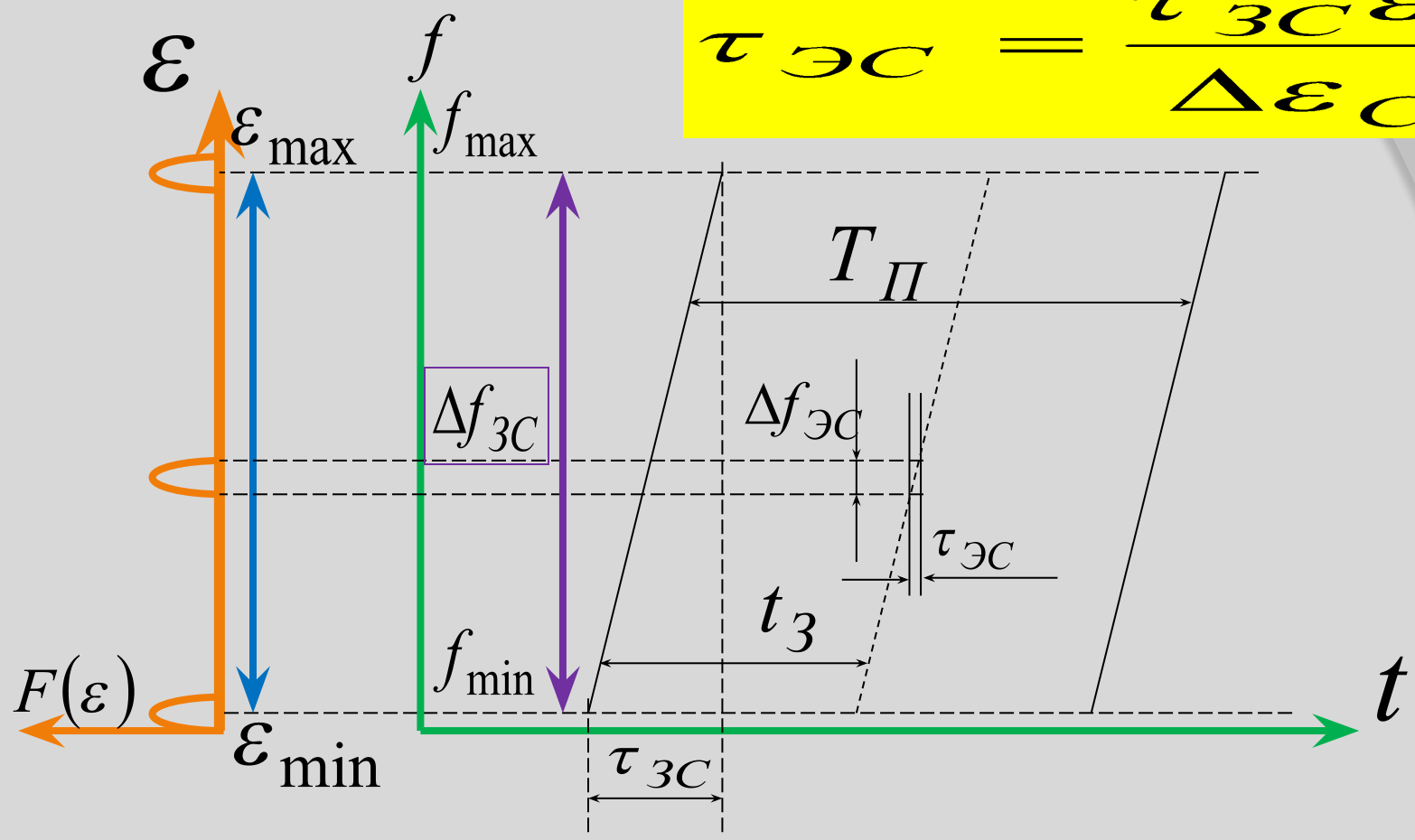
В РЛС с частотным сканированием луча по углу места применяется ступенчато частотно модулированный или ЛЧМ зондирующий сигнал и антенна с частотной чувствительностью в угломестной плоскости. На излучение и прием используется одна антенна.

Такая антенна формирует на излучение один узкий в обеих плоскостях луч, положение которого по углу места определяется частотой подведенных к ней колебаний. Поскольку в течение длительности импульса передатчика его частота изменяется от

$f_{\min}$  до  $f_{\max}$ , то за это время луч

антенны последовательно перемещается по углу места от  $\varepsilon_{\min}$  до  $\varepsilon_{\max}$

$$\tau_{\text{ЭС}} = \frac{\tau_{\text{ЗС}} \varepsilon_{\text{Л}}}{\Delta \varepsilon_{\text{СК}}}$$



В результате сканирования луча цель, находящаяся под некоторым фиксированным углом места -  $\varepsilon_{\text{Л}}$ , облучается лишь частью зондирующего сигнала. Отраженный сигнал представляет собой «вырезку» из зондирующего сигнала. Его длительность определяется шириной диаграммы направленности по углу места и скоростью сканирования и равна:



$$\tau_{\text{ЭС}} = \frac{\tau_{\text{ЗС}} \varepsilon_{\text{Л}}}{\Delta \varepsilon_{\text{СК}}}$$

а девиация частоты равна:

$$\Delta f_{\text{ЭС}} = \frac{\Delta f_{\text{ЗС}} \varepsilon_{\text{Л}}}{\Delta \varepsilon_{\text{СК}}}$$

где:

$\Delta \varepsilon_{\text{СК}}$  - ширина сектора качания луча;

$\varepsilon_{\text{Л}}$  - ширина ДН в угломестной плоскости в направлении на цель;

$\tau_{\text{ЗС}} / \Delta \varepsilon_{\text{СК}}$  -- удельное время облучения единицы угла места;

$\Delta f_{\text{ЗС}}$  - полная девиация зондирующего сигнала.

**Особенностью работы на прием антенны с частотным сканированием по сравнению с антенной с механическим сканированием является то, что она остается неподвижной в угломестной плоскости сканирования и способна принимать сигналы одновременно с любого углового направления на соответствующей этому направлению частоте при любом их запаздывании. Если при применении остронаправленной антенны с механическим сканированием переместить луч в новое направление (путем качания антенны) можно лишь после того, как будет принят отраженный сигнал от самой удаленной цели, то в антенне с частотным сканированием передающий луч может перемещаться в новое направление, не дожидаясь прихода эхо-сигналов с предыдущего направления.**

Можно быстро, в течение зондирующего импульса, произвести сканирование передающего луча в заданном секторе -  $\Delta \varepsilon_{СК}$

а затем в течение паузы до следующего зондирующего импульса антенна «соберет» эхо-сигналы со всех угломестных направлений. В этом смысле можно считать, что сканирует лишь передающий луч, а на прием антенна формирует набор неподвижных парциальных лучей, причем направлению максимума каждого луча соответствует своя частота сигнала. **РЛС с частотным сканированием производит практически одновременный (параллельный) обзор по углу места и последовательный обзор по азимуту (путем вращения антенны).**

# Достоинством РЛС с частотным

**сканированием является** возможность адаптации обзора в соответствии со складывающейся воздушной и помеховой обстановкой путем изменения параметров зондирующего сигнала. Так, выбором достаточно длинного сигнала с определенной средней частотой и малой девиацией частоты может производиться длительное зондирование определенных угломестных направлений, обеспечив тем самым обнаружение сигналов в шумовых помехах повышенной плотности. Рассмотрим принцип обработки сигналов и измерения координат в РЛС с частотным сканированием.

Упрощенная структурная схема приемного устройства РЛС, а на рис.8. На рис. 9.а изображены законы изменения частоты зондирующего сигнала и двух эхо-сигналов, полученных от целей, находящихся на одной дальности, но на разных углах места. Как следует из рисунка, каждому углу места цели соответствует своя центральная частота эхо-сигнала, что и ИСПОЛЬЗУЕТСЯ для измерения угла места цели.

Принятые сигналы с выхода антенны поступают на УВЧ. Ширина его полосы пропускания выбирается не менее девиации частоты зондирующего сигнала

$$P_{УВЧ} > \Delta f_{ЗС}$$

поэтому он обеспечивает усиление на высокой частоте сигналов, принятых с любого угла места.

. После преобразования на промежуточную частоту сигналы усиливаются в широкополосном УПЧ (ШУПЧ) и подаются на дисперсионный фильтр (ДФ), согласованный с зондирующим сигналом.

Его время - частотная характеристика

$$f_L(\tau)$$

(зависимость времени задержки в фильтре от частоты входного сигнала) изображена на рис.9. В фильтре осуществляется сжатие сигналов, принятых с любого угла места, до длительности

$$\tau_{СЖ} = 1/\Delta f_{ЗС}$$

. При этом, как это следует из рассмотрения время-частотной характеристики ДФ, сигналы, принятые от целей, находящиеся на одной дальности, но разных углах места, на выходе ДФ появятся одновременно.

Таким образом, ДФ устраняет неопределенность дальность-угол места, которая имела место на выходе приемника и была вызвана неодновременность зондирования разных угломестных направлений.

После обработки в ДФ сигналы становятся демодулированными по частоте, но имеют разную несущую частоту в зависимости от угла места цели (рис. 9г). Для определения угла места целей необходимо провести спектральный анализ сигналов на выходе ДФ, для чего может применяться набор узкополосных фильтров, перекрывающих диапазон частот, равный девиации частоты зондирующего сигнала.

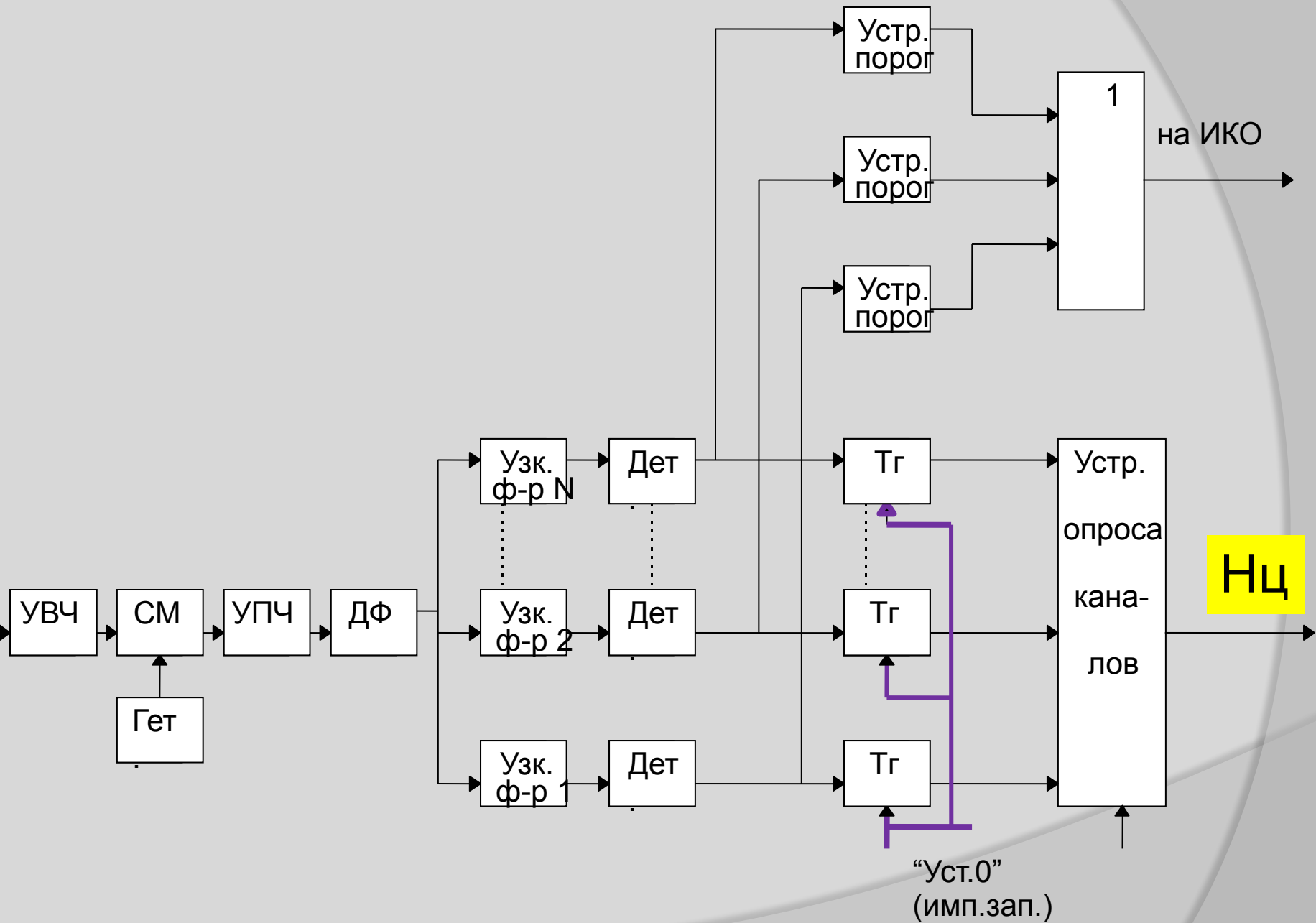


Рис.8. Структурная схема приемного тракта РЛС с частотным сканированием



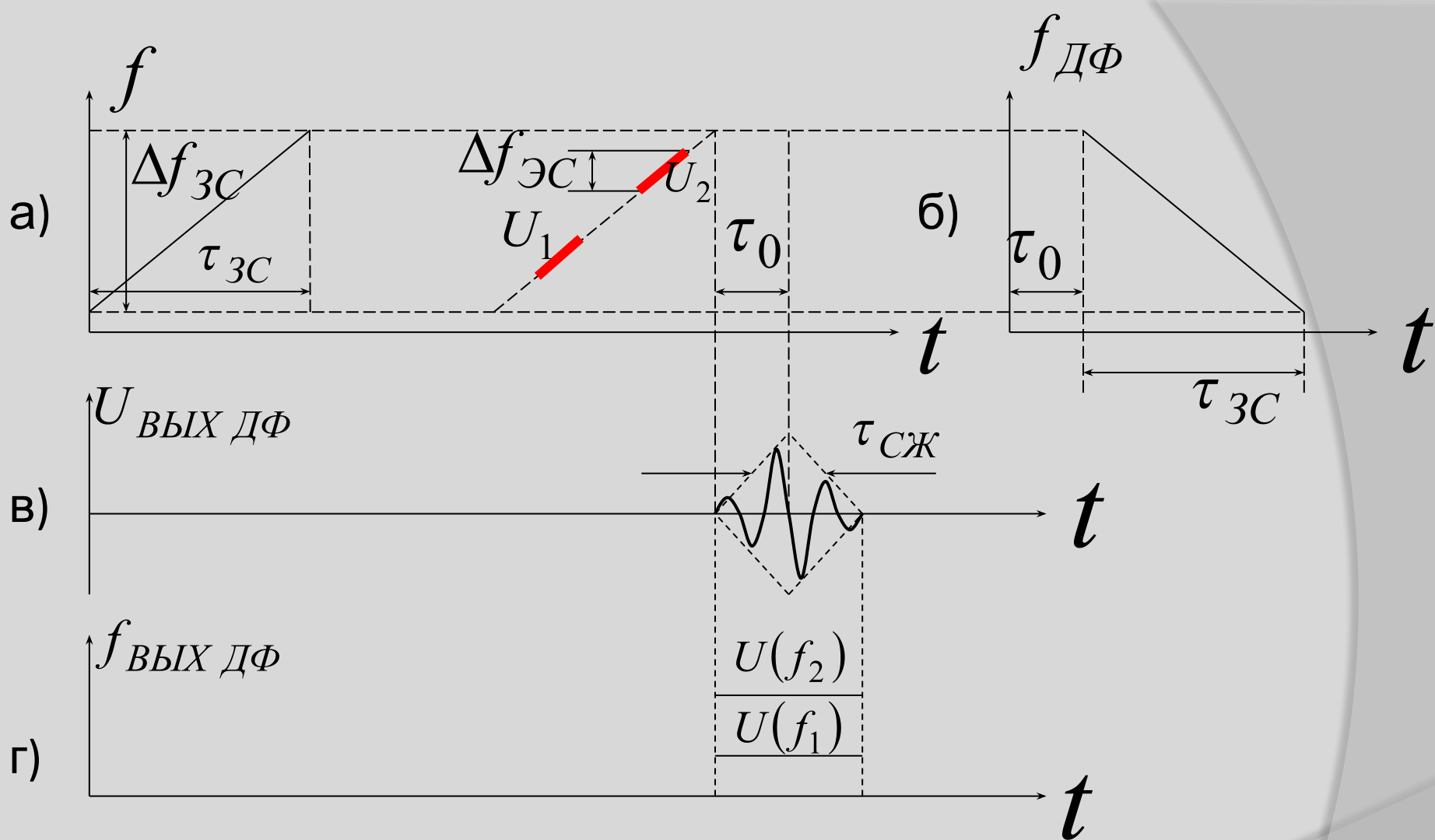


Рис.9. К принципу обработки сигналов в РЛС  
 с частотным сканированием луча

Ширина полосы пропускания узкополосного фильтра должна быть согласована с шириной спектра сигнала, т.е.

$$\Delta f_{УФ} = 1/\tau_{СЖ} = \Delta f_{ЭС}$$

, а общее число фильтров должно быть равно

$$N_{\Phi} = \Delta f_{ЗС} / \Delta f_{ЭС} = \Delta \varepsilon_{СК} / \varepsilon_{Л}$$

. Последовательно включенные ДФ и узкополосный фильтр осуществляют оптимальную фильтрацию сигналов, принятых с определенного угла места (дисперсионный фильтр производит оптимальное сжатие сигнала, но не обеспечивает максимального отношения сигнал/шум, так как ширина его полосы пропускания значительно больше ширины спектра эхо-сигнала). После детектирования сигналы всех угломестных каналов через пороговые устройства подаются на схему объединения (ИЛИ) и с ее выхода на устройство обнаружения и измерения плоскостных координат (ИКО).

Измерение и индикация угла места и высоты целей в РЛС с частотным сканированием может производиться теми же методами, что и в РЛС с парциальными диаграммами направленности. Однако реализация поочередного опроса каналов за длительность импульса встречает значительные технические трудности, так как длительность сжатого импульса мала (в некоторых РЛС

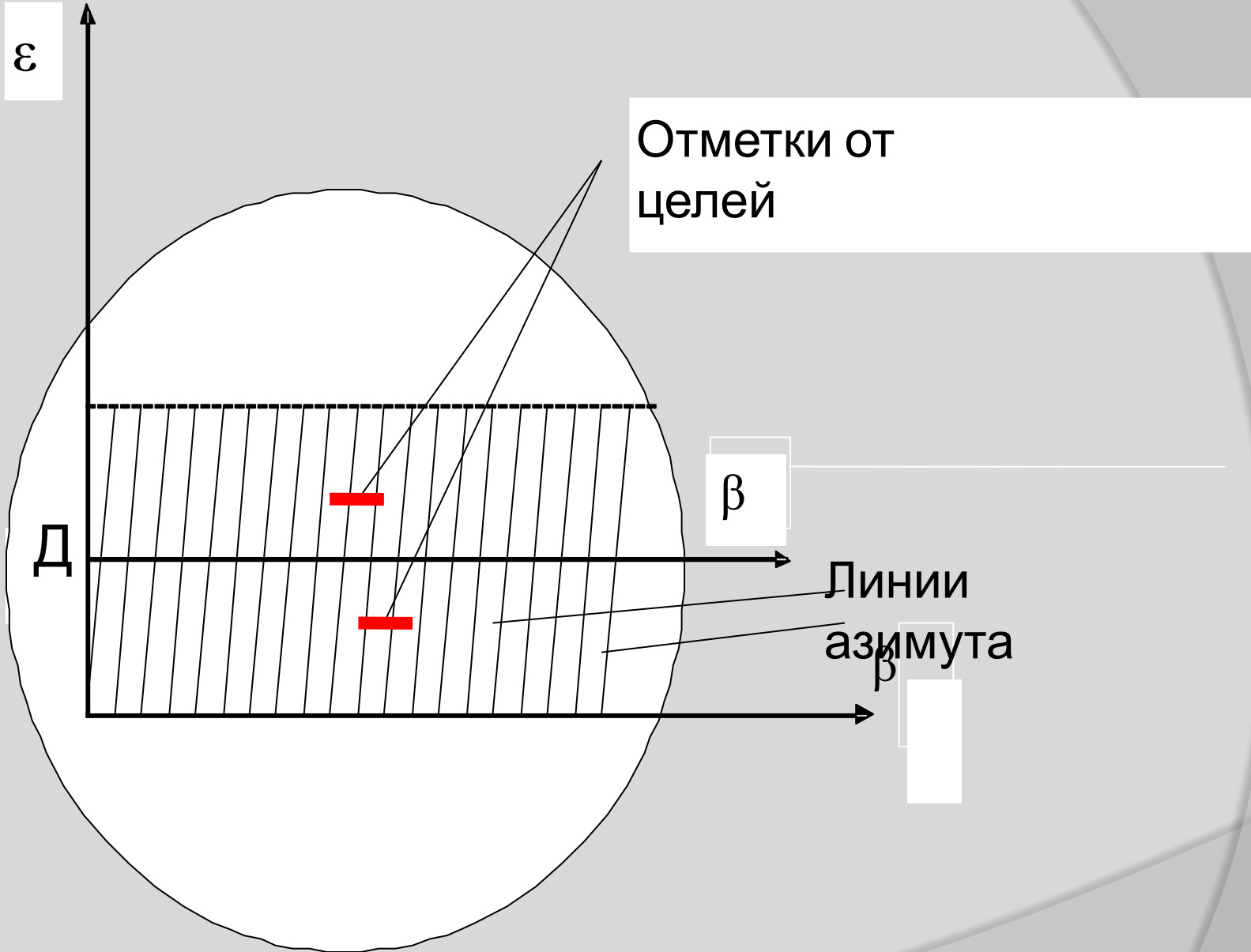
$$\tau_{СЖ} = 1/3 \text{ мкс}$$

поэтому устройство опроса должно быть быстродействующим, а весь последующий тракт, включая индикатор высоты, широкополосным. Поэтому находит применение следующий метод индикации угла места

На выходе каждого канала включены в качестве запоминающих устройств триггеры (Тг), которые в начале каждого периода следования импульсами запуска РЛС устанавливаются в исходное (нулевое) состояние. Появившийся эхо-сигнал переводит триггер соответствующего канала в единичное состояние, которое сохраняется до конца периода следования. В конце каждого периода следования осуществляется поочередной опрос всех триггеров. Очевидно, такой опрос можно производить уже с невысокой скоростью, выделив для опроса необходимое время в конце периода следования. Однако при таком методе считывания угломестной информации оказывается потерянной информация о дальности цели, которая также необходима для расчета высоты цели.

Эту информацию получают из тракта определения плоскостных координат. На индикаторе высоты РЛС создается две растровых развертки (рис. 2.28): в нижней части экрана развертка в координатах азимут-дальность, а в верхней части - в координатах азимут - угол места. В каждом периоде следования импульсом запуска РЛС запускается генератор развертки дальности и луч вычерчивает вертикальную линию, начиная от нижнего края экрана. В это время на модулирующий электрод трубки подаются для индикации объединенные сигналы каналов (с выхода схемы ИЛИ). Когда развертка дальности дойдет по вертикали до положения, соответствующего максимальной дальности, начинается опрос триггеров угломестных каналов

**С этого момента вертикальная развертка становится уже разверткой угла места, с ее скоростью синхронизирована скорость опроса каналов. На модулирующий электрод трубки в это время подаются сигналы с выхода устройства опроса угломестных каналов. Таким образом, на экране индикатора высоты от каждой цели будет по две отметки: в нижней и в верхней части экрана. Для определения высоты оператор с помощью кноппельного устройства вводит в спецвычислитель координаты цели  $(D, \beta, \varepsilon)$ , для чего совмещает электронный маркер с отметкой сначала в нижней, а затем в верхней части экрана, и после каждого совмещения нажимает кнопку съема данных. После расчета высоты спецвычислителем координаты цели  $(D, \beta, H)$  отображаются на световом табло. На РЛС имеется несколько индикаторов высоты, на каждом индикаторе отображается обстановка в определенном азимутальном секторе.**



Вид разверток на экране индикатора высоты

Если в РЛС предусмотрена фиксация антенны в определенном угломестном направлении (путем выбора соответствующей средней частоты зондирующего сигнала и малой скорости изменения частоты в течение импульса), то в приемном устройстве к выходу ШУПЧ параллельно с дисперсионным фильтром и последующими элементами должны быть подключены фильтры, согласованные с этими параметрами сигналов, с выходов которых и должна сниматься информация в режимах просмотра узких угломестных секторов.

**К недостаткам РЛС с частотным сканированием луча ДН можно отнести:** а) невозможность использования перестройки частоты для защиты от прицельных помех; б) зависимость точности измерения угла места цели от её радиальной скорости.



## Вопрос 4. Особенности формирования зон обнаружения и измерение угла места в РЛС метрового диапазона

Особенностью формирования зоны обнаружения в вертикальной плоскости в РЛС метрового диапазона является то, что, в следствие определенных трудностей получения узкого луча антенны и необходимости обнаружения целей под малыми углами места, в формировании диаграммы направленности принимает участие поверхность земли.

В метровом диапазоне волн требования к допустимой величине неровностей, определяемые критерием Релея

$$h_{\max} \leq \frac{\lambda}{16 \sin \varepsilon}$$

для типовых позиций РЛС обычно выполняются сравнительно легко.

Вследствие того, что в формировании диаграммы направленности участвует достаточно гладкая (для метрового диапазона волн) земная поверхность, то в любую точку пространства (например, в точку А на рис. 10б) приходят две волны: прямая и отраженная от земли. Эти волны складываются в общем случае со сдвигом по фазе, который обусловлен изменением фазы волны при отражении от земли и разностью хода прямой и отраженной волн до точки А. Разность хода волн зависит от угла места рассматриваемой точки А. Под некоторыми углами места эти волны приходят в противофазе, что приводит к ослаблению результирующего поля. В результате зона обнаружения РЛС в вертикальной плоскости приобретает изрезанный (лепестковый) характер.

Если максимум диаграммы направленности антенны ориентирован вдоль горизонта, а модуль коэффициента отражения от земли равен (близок) единице, то максимумы диаграммы направленности удваиваются, но зато в провалах поле уменьшается до нуля (рис. 11). Положение и ширина лепестков зависят от отношения высоты антенны к длине волны

$$h_A/\lambda$$

. Чем больше отношение, тем уже лепестки и тем в большей степени они прижимаются к земле. В направлениях максимумов дальность обнаружения возрастает в два раза, но из-за наличия провалов не будет обеспечиваться непрерывная проводка обнаруженных целей.

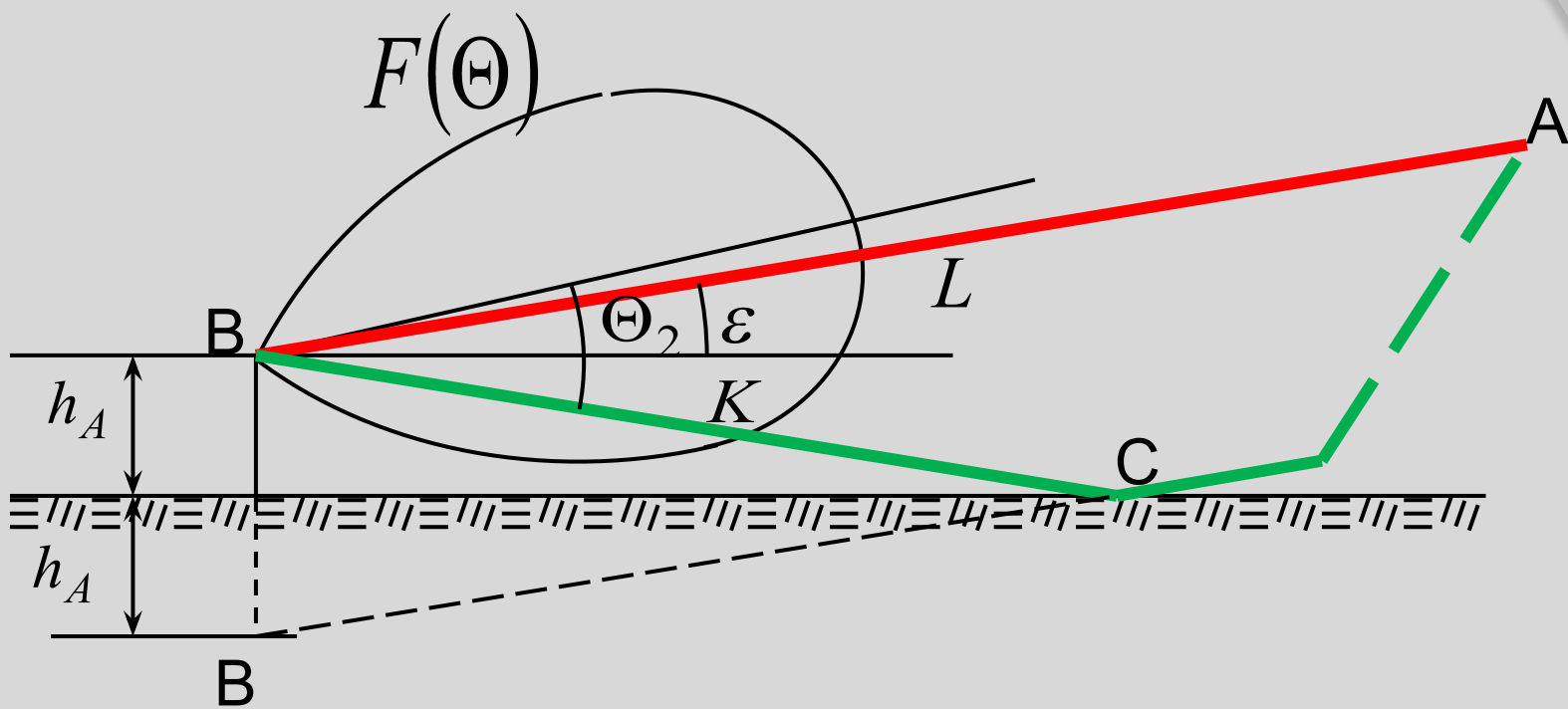


Рис. 10. Формирование ДНА при участии земли

$$F_P(\varepsilon) = F(\varepsilon)\Phi(\varepsilon)$$

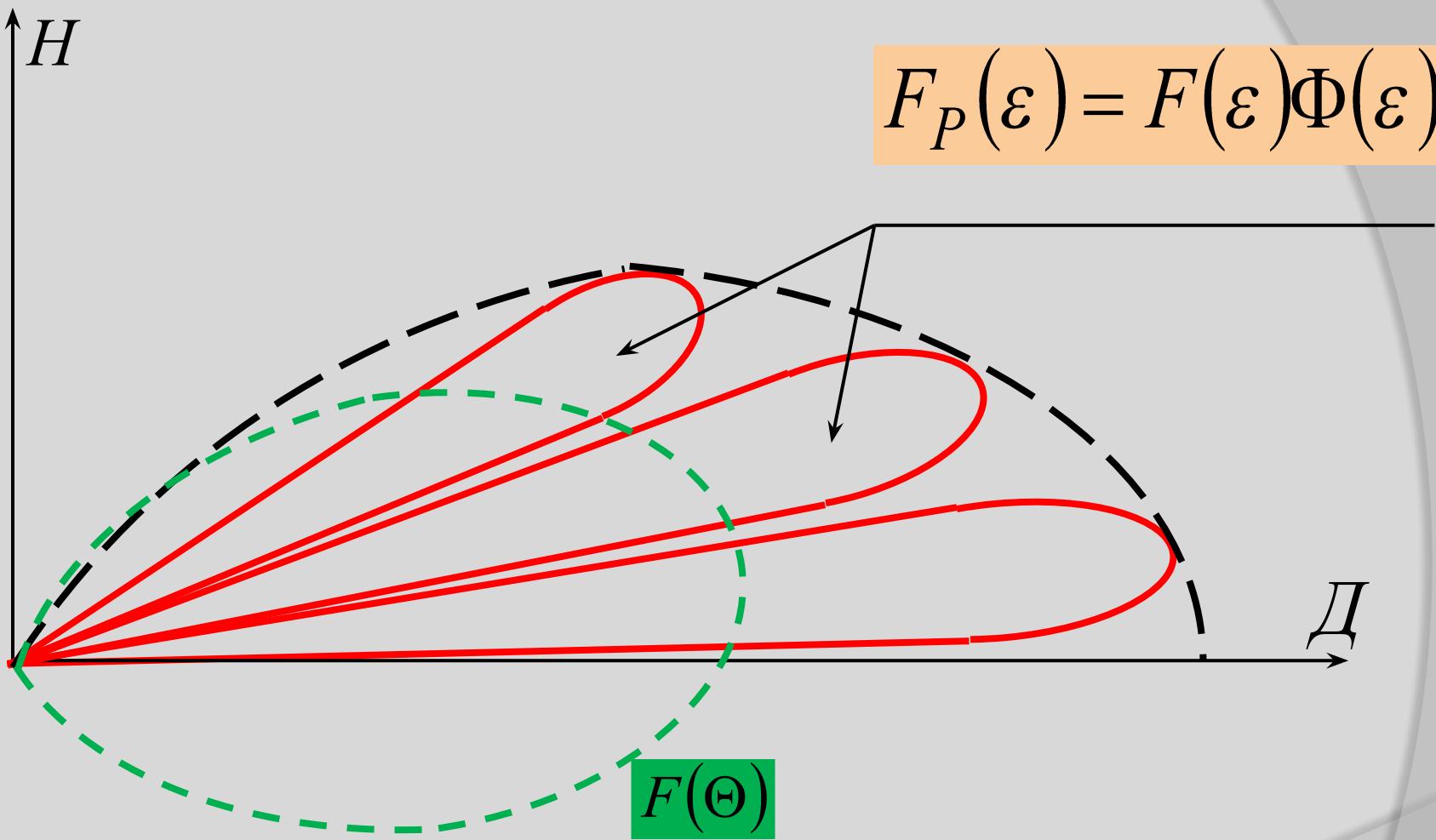


Рис.11. ДНА РЛС метрового диапазона

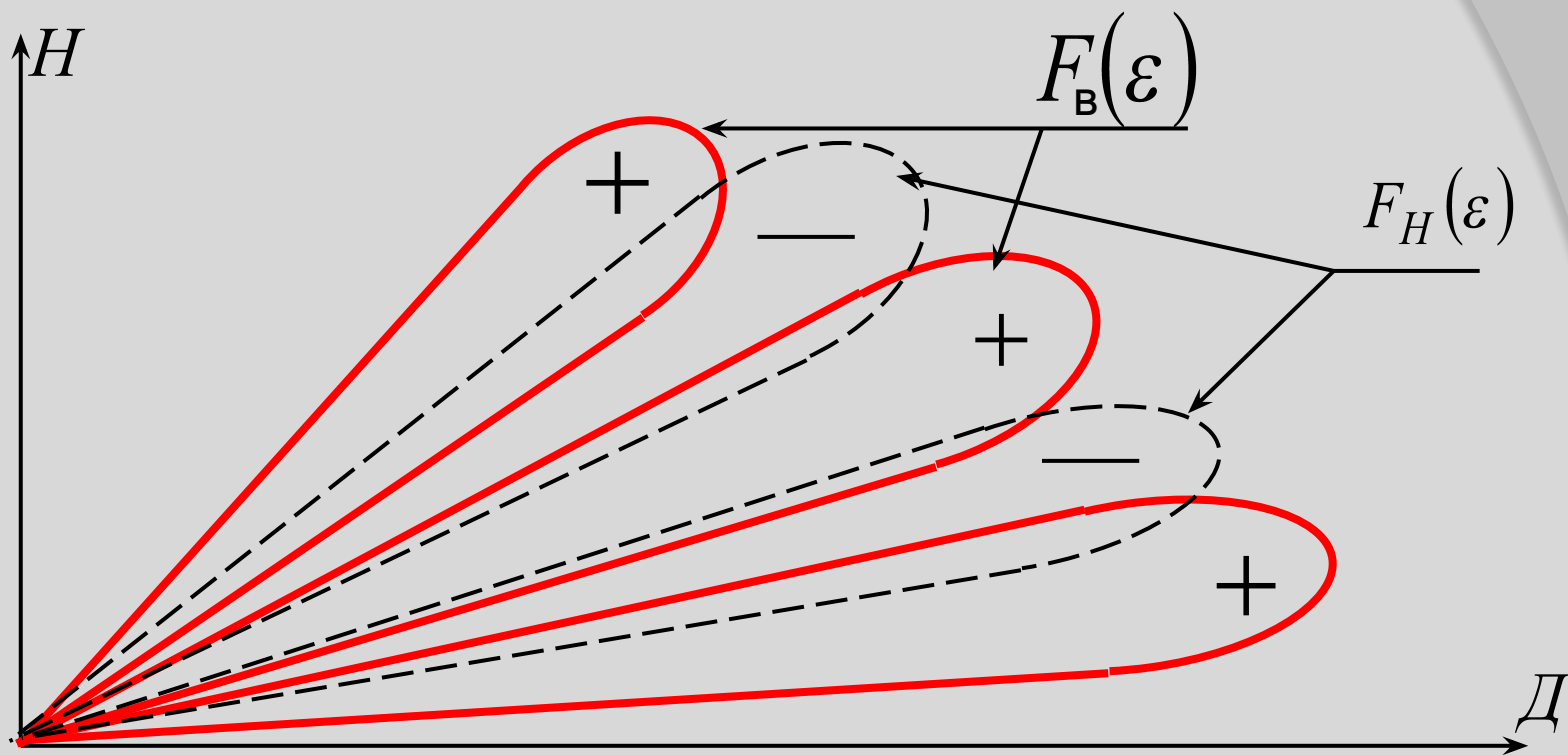


Рис.13. ДНА РЛС П- 18 В вертикаль-й плоскости.



# MODERNIZATION OF P-18 RADAR

Для формирования беспровальной зоны обнаружения в РЛС метрового диапазона применяют два метода:

- а) использование разнесенных по высоте антенн;**
- б) подъем электрической оси антенны над горизонтом.**

Формирование зон обнаружения с помощью двух разнесенных по высоте антенн применяется в РЛС дежурного режима с невысоким энергетическим потенциалом (П-12М, П-18), где используются антенны типа «волновой канал» с небольшими вертикальными размерами. Электрические оси этих антенн ориентируются вдоль горизонта. Высоты верхней и нижней антенн подбираются так, чтобы провалы в диаграмме направленности одной антенны были закрыты лепестками диаграммы направленности другой антенны (рис. 13).



## Принципы измерения угла места в РЛС метрового диапазона волн.

Измерение угла места в РЛС метрового диапазона рассмотрим на примере РЛС 55Ж6. В канале измерения высоты используется фазированная антенная решетка, которая имеет 16 строк .

Расстояние между строками равно-  $d$

. В зависимости от угла места цели  $\varepsilon$  отраженный сигнал в каждой строке будет отличаться фазой. Набег фазы от строки к строке будет составлять

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi d \sin \varepsilon}{\lambda}$$

где  $\lambda$  - длина волны зондирующего сигнала.

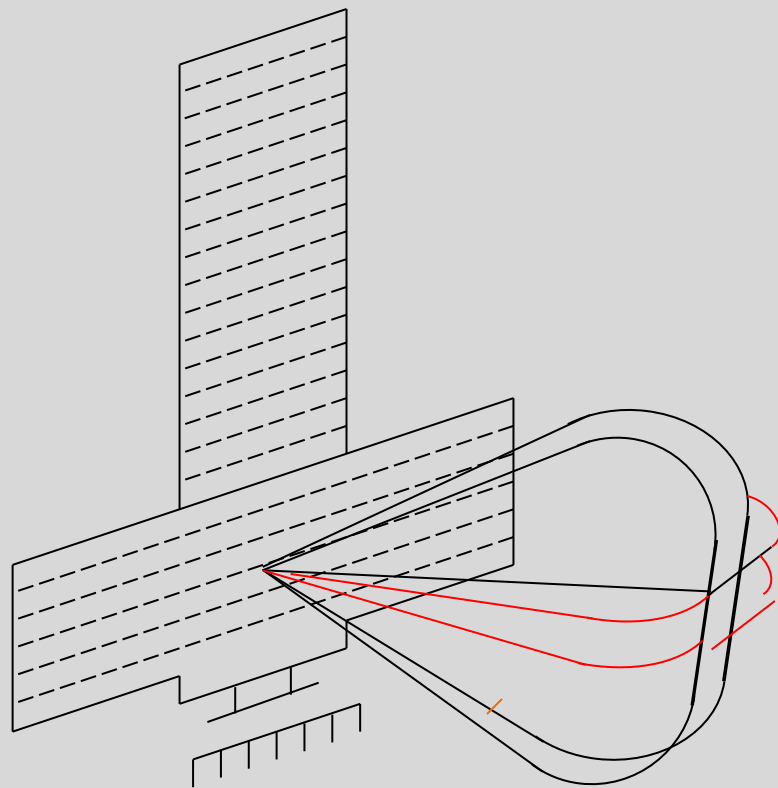
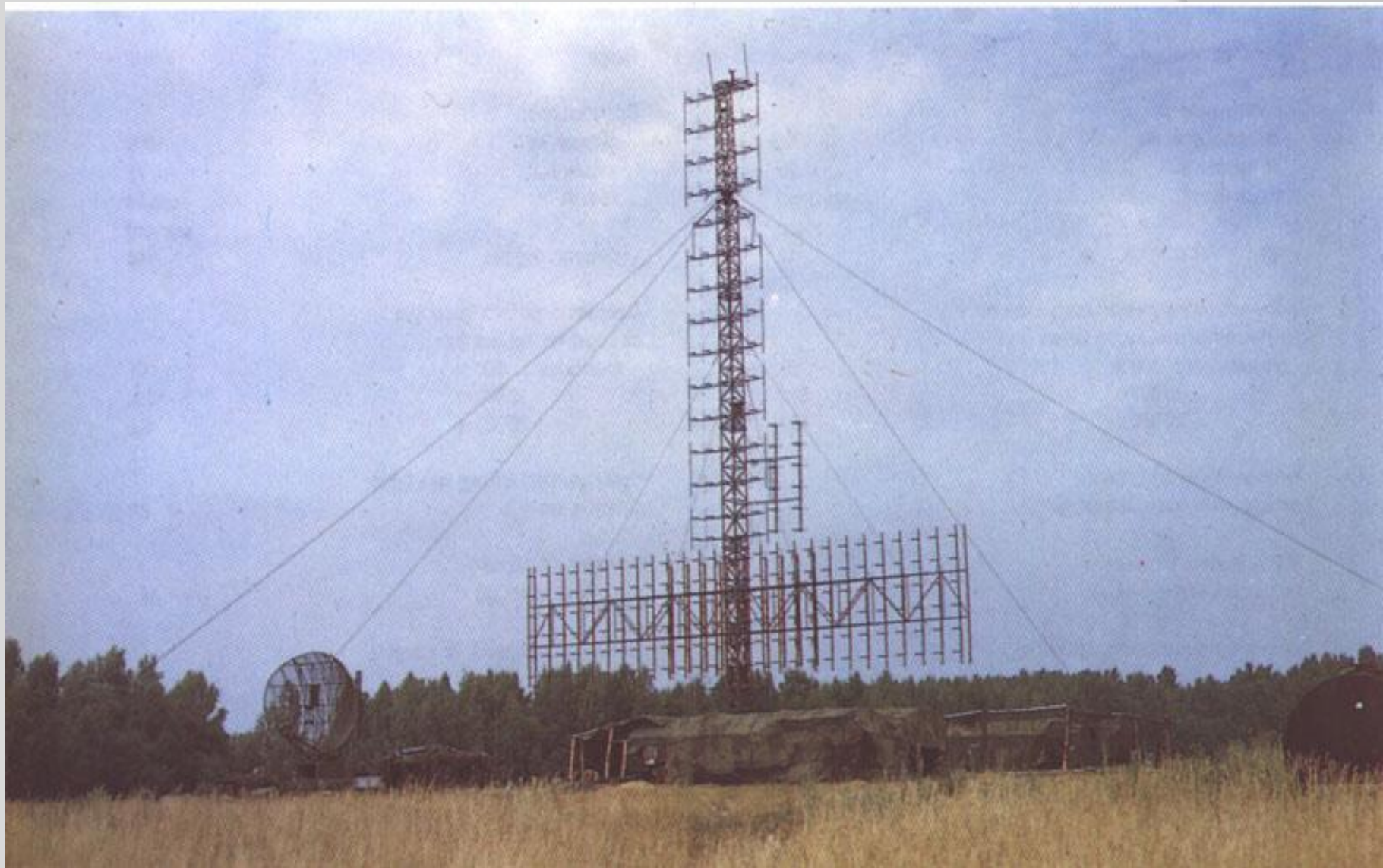


Рис. Вид ДНА ФАР трехкоординатной РЛС метрового  
диапазона волн



РЛС-55ж6

**В течение одного цикла зондирования пространства в каждом кольце дальности, с помощью быстродействующего коммутатора, происходит опрос всех 16 строк. Результирующий сигнал на выходе усилителя показан на (рис. Зависимость изменения фазы принятого сигнала для одной строки и для результирующего сигнала показана на рис.(14в).**

**Как видно из рисунка, за счет запаздывания сигнала по элементам решетки фаза результирующего сигнала будет изменяться с большей скоростью, относительно фазы сигнала, принятой, например, 1-й строкой.**

**Максимальная разность фаз между этими сигналами будет равна**

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{2\pi(n-1)d \sin(\varepsilon_{\max})}{\lambda}$$

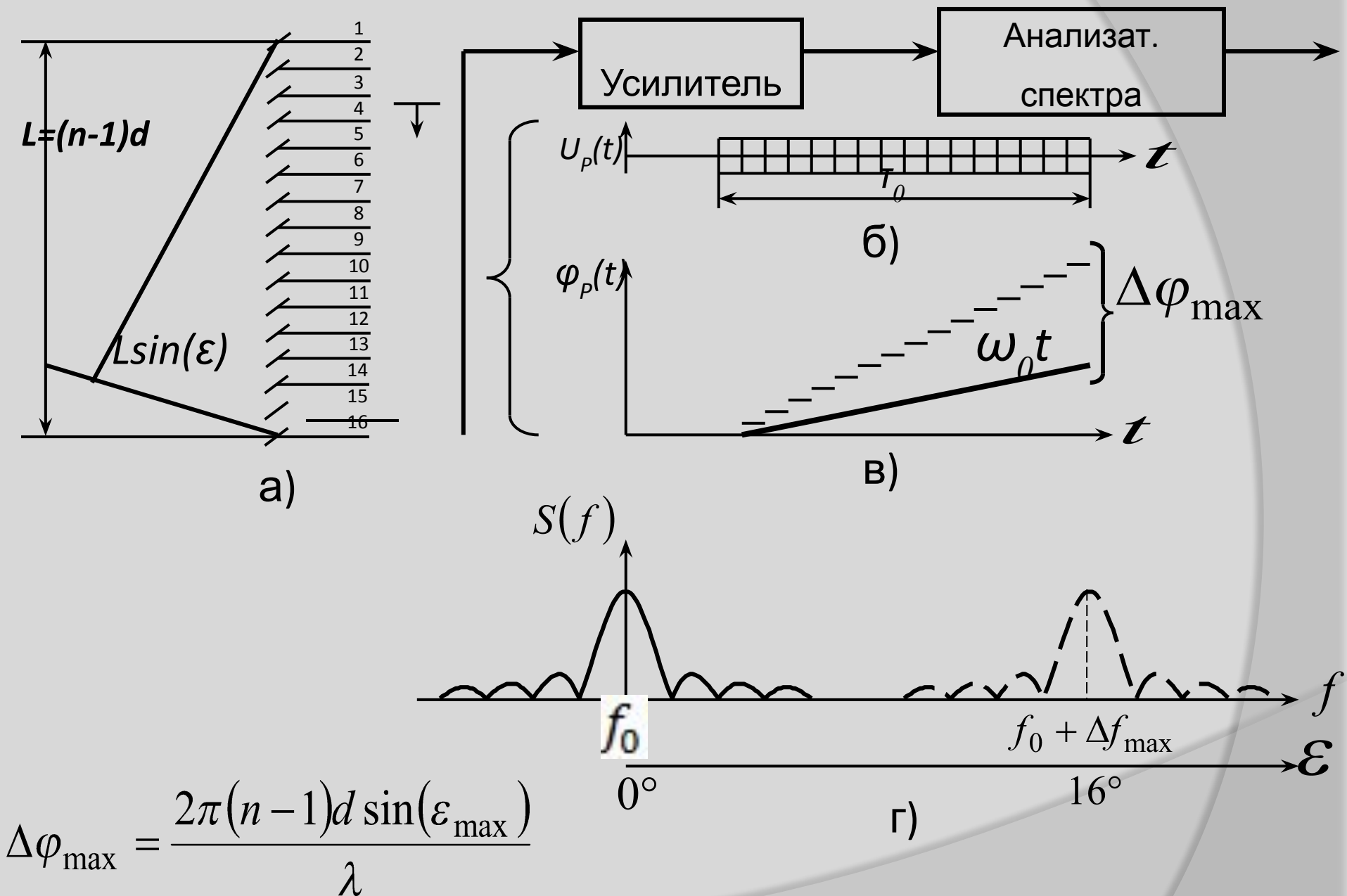


Рис.14. К принципу измерения угла места

Так как частота сигнала есть производная фазы, то можно записать

$$\Delta \omega = \frac{d\Delta\varphi}{dt} \approx \frac{\Delta\varphi}{\tau_0}$$

Таким образом, набег фазы результирующего сигнала сопровождается изменением частоты. Поэтому отраженные сигналы, принятые ФАР под разными углами места на выходе усилителя будут иметь разную частоту. Максимальная разность частот между отраженными сигналами будет равна

$$\Delta f_{\max} = \frac{\Delta\varphi_{\max}}{2\pi\tau_0}$$

Далее сигнал подается на анализатор спектра. По разности частот (рис. 14г) определяется угол места цели. По известному углу места по ранее выведенному уравнению происходит расчет высоты. Недостатком данного способа измерения угла места цели является то, что при малых углах места

$$(\varepsilon_{Ц} \leq 2^\circ)$$

на элементах антенны присутствуют одновременно два сигнала: сигнал отраженный от цели и прошедший отрезок АВ (рис. 10), и сигнал отраженный от цели, но прошедший путь до поверхности земли (отрезок АС) и отраженный от неё (отрезок СВ). Данное обстоятельство приводит к ошибкам измерения угла места цели. По этой причине при измерении угла места

$$(\varepsilon_{Ц} \leq 2^\circ)$$

вносится дополнительная поправка на мультипликативный характер принятого сигнала.

## **Задание на самоподготовку(подготовка к гр.занят.**

- 1.Измерение высоты целей методом V-луча.
- 2.Преимущества и недостатки измерения высоты методом V- луча.
- 3.Принцип измерения дальности до цели в современных РЛС.
- 4.Принцип измерения азимута цели.
- 5.Обзор пространства и измерение высоты (угла места) в РЛС с парциальными диаграммами направленности.
- 6.Формирование зоны обнаружения и измерения высоты (угла места) в РЛС с частотным сканированием луча.
7. Особенности формирования зон обнаружения и измерение угла места в РЛС метрового диапазона
- 8.Принципы измерения угла места в РЛС метрового диапазона волн.



