

Тема №3. Основы построения систем и устройств РЛК (РЛС) РТВ ВВС.

Занятие №6. Индикаторная аппаратура РЛС

Цели занятия

Изучить назначение, виды и работу индикаторных устройств РЛС РТВ ВВС

Учебные вопросы

1. Назначение и классификация индикаторных устройств
2. Принципы построения индикаторов кругового обзора
3. Режимы работы ИКО

Литература:

1. Ю.А.Мельник; Г.В.Стогов. Основы радиотехники и радиотехнические устройства. Москва «Советское радио» ,1973.

2. Е.А.Москатов. Электронная техника.

Издание 2. Таганрог, 2005.

Вопрос №1. Назначение и классификация индикаторных устройств

Назначение индикаторов.

По этому признаку различают индикаторы обнаружения и измерительные.

Индикаторы обнаружения извещают об обнаружении цели световым или звуковым сигналом, а вторые, кроме того, измеряют координаты и скорости целей и поэтому могут быть только визуальными.

К классу измерительных относят индикаторы на электронно-лучевых трубках (ЭЛТ), стрелочные приборы и цифровые счетчики.

Индикаторные устройства (индикаторы) РЛС

предназначены для формирования и отображения радиолокационной информации, получаемой в результате приема и обработки РЛС радиолокационных сигналов, а также отображения дополнительной

Классификация индикаторов. Признаками классификации служат:

1. Органы чувств оператора, воспринимающие информацию.

Это зрение, слух. По этому признаку индикаторы подразделяются на визуальные и акустические.

2. Назначение индикаторов.

По этому признаку различают индикаторы обнаружения и измерительные.

3. Время послесвечения экранов ЭЛТ.

В индикаторах РЛС используются экраны с тремя различными значениями времени послесвечения:

-экраны с малым послесвечением(сотые доли секунды). Они применяются в индикаторах с амплитудной отметкой и осциллографах;

-экраны со средним послесвечением, измеряемым от 10^{-2} до 0.1с. Такие экраны используются в обзорных РЛС наиболее часто и позволяют производить интегрирование отметки в пределах азимутальной пачки;

-экраны с большим послесвечением - от десятых долей секунды до десятков секунд.

Они применяются в индикаторах, предназначенных для сохранения радиолокационного изображения на время всего цикла обзора.

4. Характер поля, вызывающего фокусировку и отклонение луча.

По этому признаку различают:

-индикаторы с электростатическими ЭЛТ, в которых эти задачи решаются с помощью электрического поля;

-индикаторы с электромагнитными ЭЛТ - с помощью магнитного поля;

-индикаторы с ЭЛТ с комбинированным управлением, т.е. управление фокусировкой осуществляется с помощью электрического поля, а отклонение луча - магнитным.

5. Вид отметки на экране ЭЛТ.

Используют амплитудную и яркостную отметки.

6. Число измеряемых координат.

По этому признаку индикаторы делят на одномерные, двумерные и трехмерные.

7. Вид развертки.

В ЭЛТ измерение координат осуществляют с помощью линий развертки, которые

различаются по форме:

- прямолинейная (линейная);
- кольцевая;
- радиально-круговая;
- спиральная;
- растровая.

Развертки дальности, кроме того различаются по скорости: равномерная (с постоянной скоростью);

- экспоненциальная;
- синусоидальная;
- гиперболическая.

В трех последних случаях скорость развертки изменяется по соответствующему закону.

Обычно длину развертки ИКО по дальности выбирают равной

$$L_{рД} = (0.9...0.95) R_{экр}, \quad (6.1)$$

где $R_{экр}$ - радиус экрана.

Если на всей длине развертки L_p просматривается участок дальности $D_{шк}$, то масштаб изображения по дальности

$$m_D = L_{рД} / D_{шк}, \quad (6.2)$$

где величина m_D измеряется в мм/км.

Аналогично при длине развертки азимута $L_{р\beta}$ масштаб по азимуту

$$m_\beta = L_{р\beta} / \beta_{шк}, \quad (6.3)$$

где $\beta_{шк}$ - сектор, просматриваемый на индикаторе (для ИКО $L_{р\beta} = 2\pi \cdot R_{экр}$, $\beta_{шк} = 360^\circ$), т.е.

$$m_\beta = 2\pi \cdot R_{экр} / 360 = \pi \cdot R_{экр} / 180.$$

Вид развертки определяется типом индикатора, применяемого в РЛС или АСУ. В одномерных индикаторах применяется линейная развертка, в двухмерных — радиально-круговая и прямоугольная растровая.

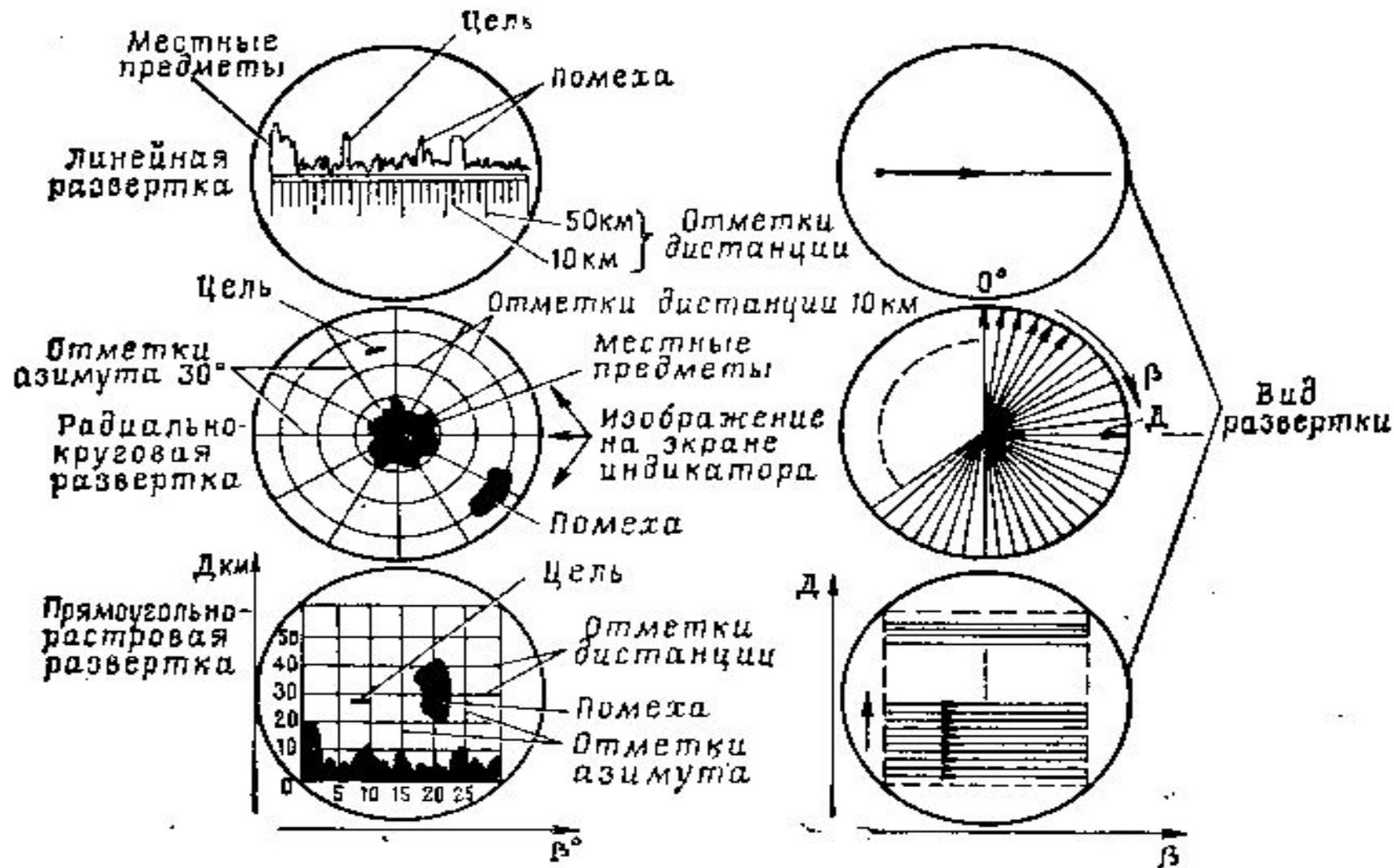


Рис. 2.85. Виды разверток индикаторов

Рис. 2.85 Виды разверток индикаторов

Вопрос №2. Принципы построения индикаторов кругового обзора

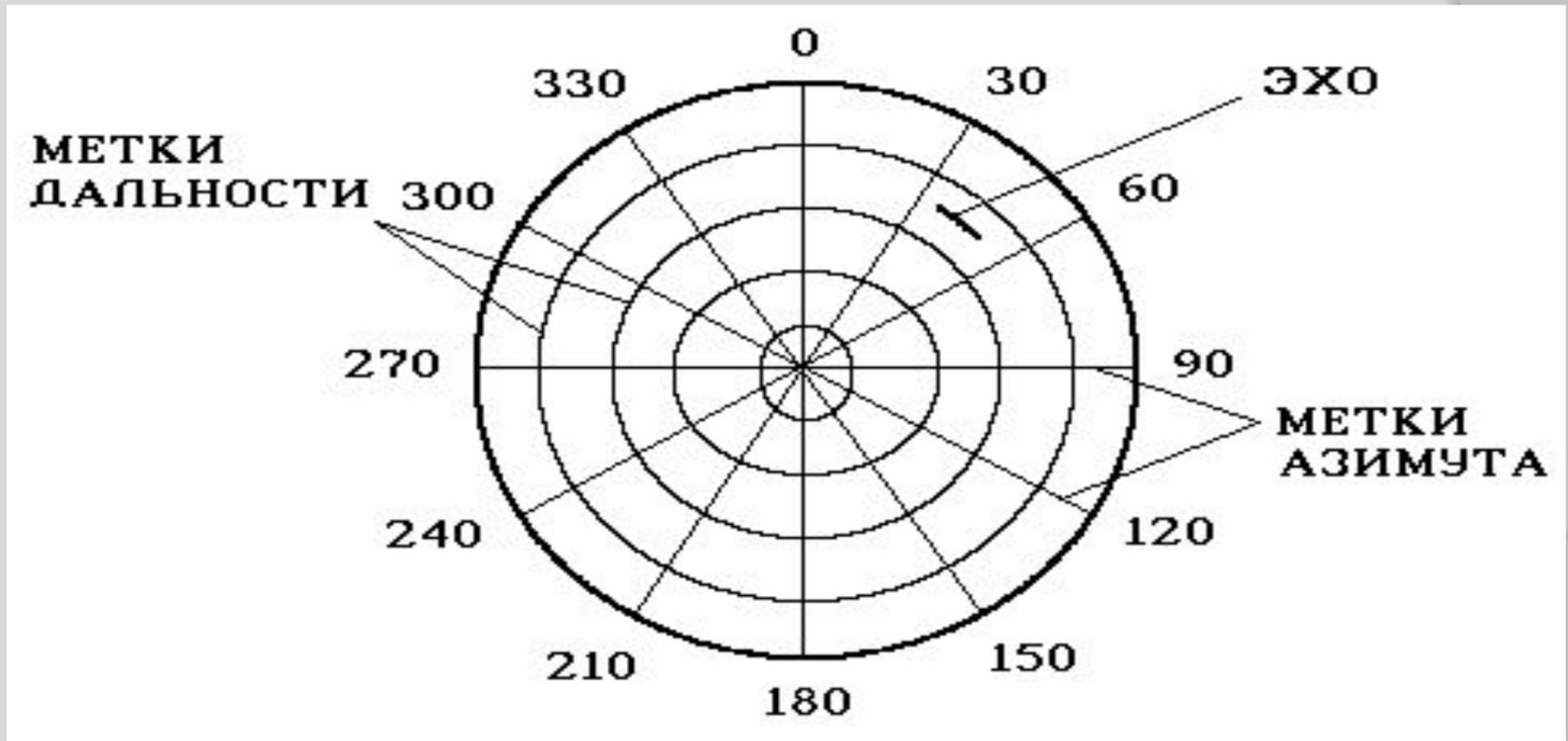


Рис.6.1. Радиально-круговая развертка ИКО

Для получения изображения на экране ИКО должен быть создан полярный растр, называемый радиально-круговой разверткой (РКР) электронного пучка. Если используются ЭЛТ с магнитным управлением, то необходимо создавать однородное отклоняющее магнитное поле, напряженность которого должна изменяться по закону, обеспечивающему необходимую радиальную развертку по дальности. При этом одновременно должен происходить относительно медленный поворот магнитного поля в плоскости, перпендикулярной оси трубки с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения антенны по азимуту. Для поворота и изменения напряженности магнитного поля на практике применяются следующие способы:

1. Способ вращающихся отклоняющих катушек (ОК), питаемых током неизменной амплитуды;
2. Способ неподвижных ОК (двух пар и более), питаемых током изменяющейся амплитуды.

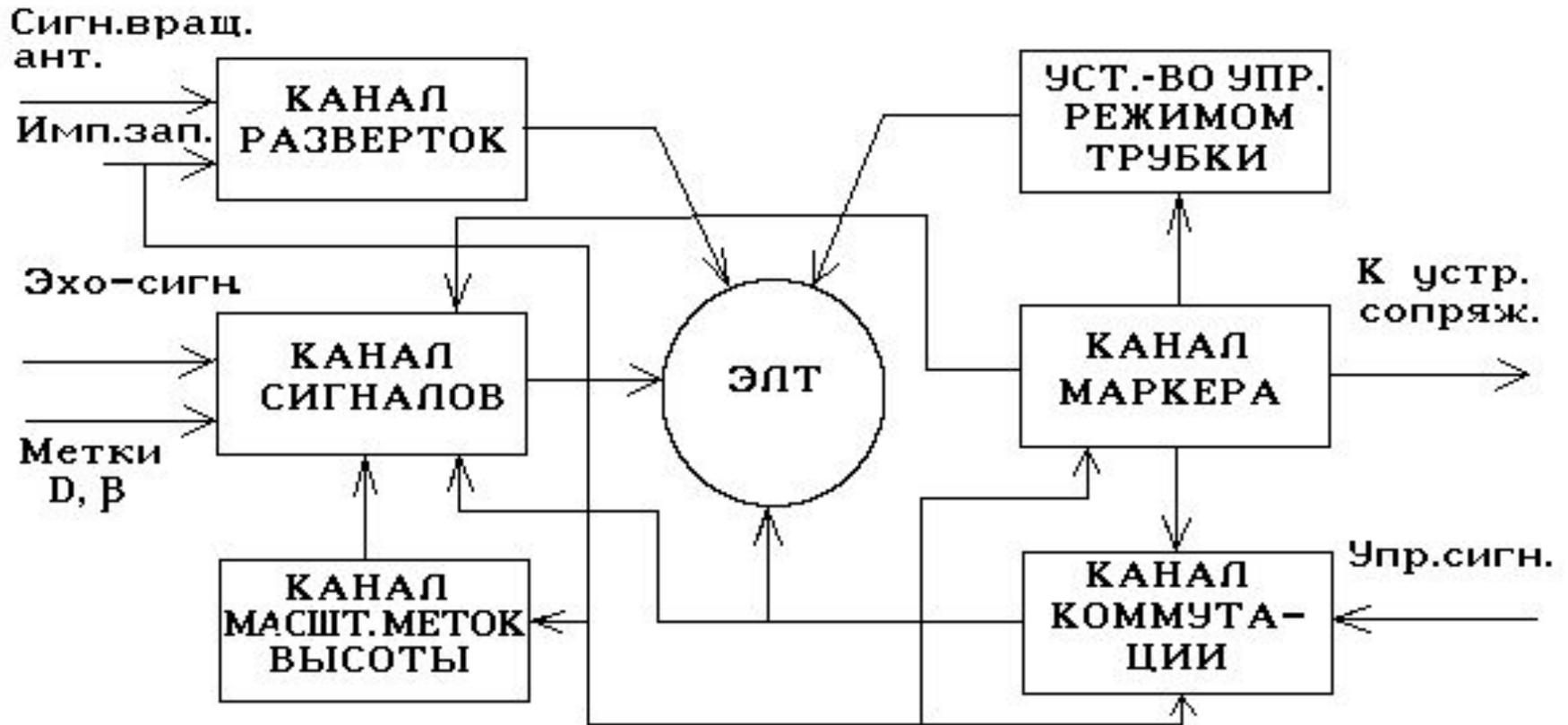


Рис.2. Обобщенная структурная схема индикатора

Индикатор РЛС состоит из ряда электронных устройств, обеспечивающих выполнение возлагаемых на него функций. Оконечным элементом индикатора является ЭЛТ. На трубку подаются:

- напряжения или токи для создания разверток (растра);**
- видеосигналы с выхода приемника;**
- импульсы масштабных отметок;**
- сигналы формирования подвижного электронного маркера;**
- сигналы коммутации для изменения режимов работы;**
- напряжения, обеспечивающие исходный режим работы.**

В соответствии с этим индикатор должен включать следующие основные устройства, которые часто называют каналами:

- канал формирования разверток;
- канал сигналов;
- канал формирования электронного маркера;
- канал коммутации;
- устройство управления режимом работы трубки;
- канал масштабных меток высоты.

Структурная схема обобщенного индикатора изображена на рис.2, где показаны также основные функциональные связи.

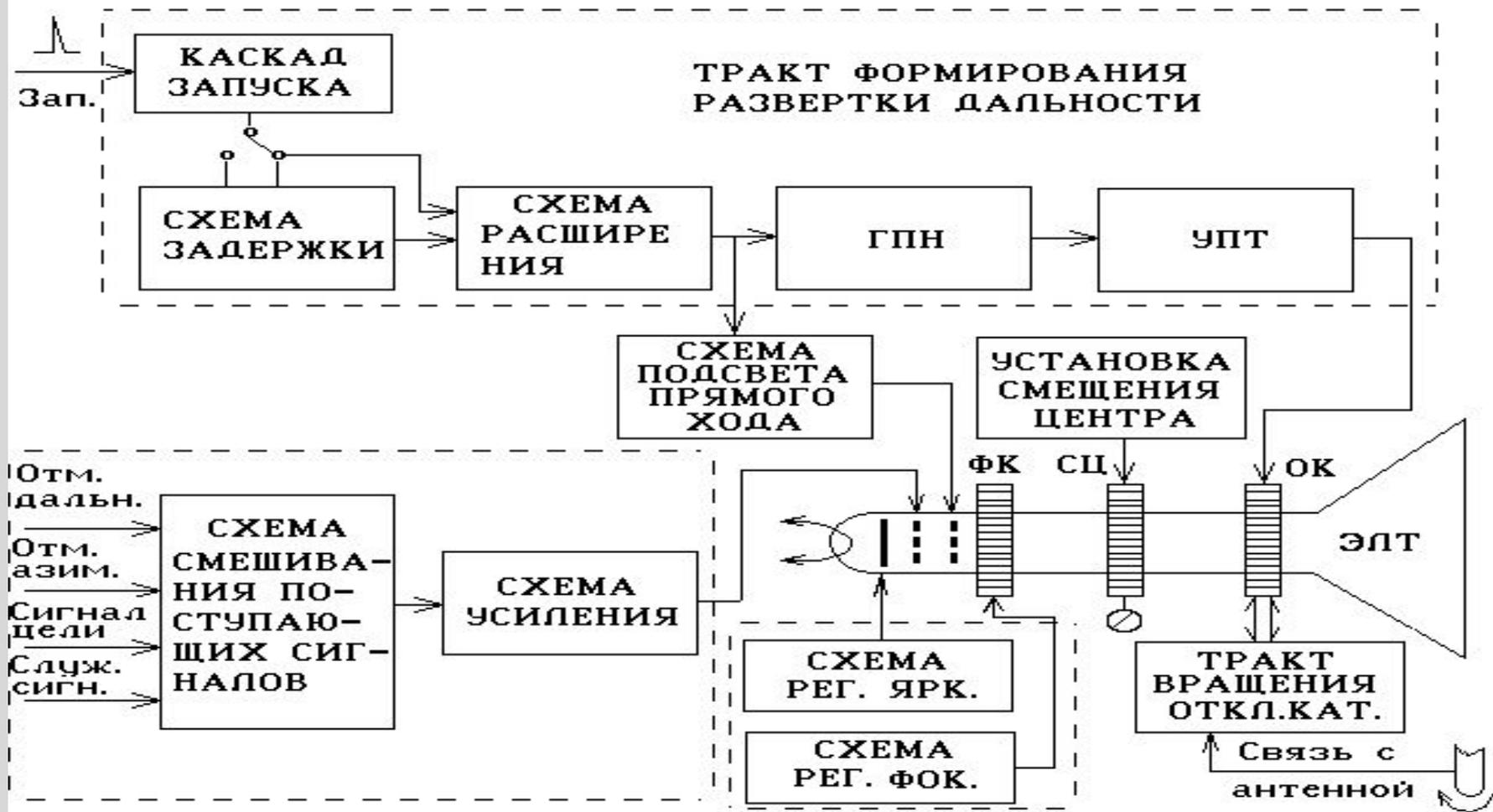


Рис.6.12. Функциональная схема ИКО с вращающимися отклоняющими системами



Рис.6.13. Упрощенная структурная схема канала развертки дальности

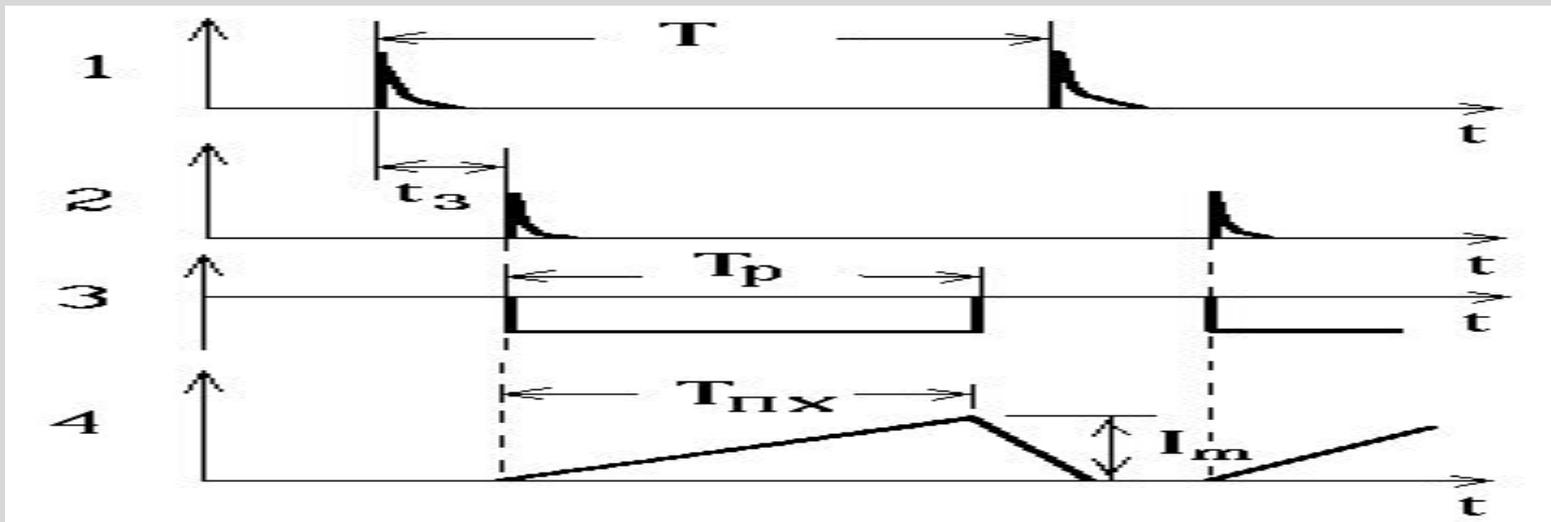


Рис.6.14. Эпюры, поясняющие работу канала развертки дальности

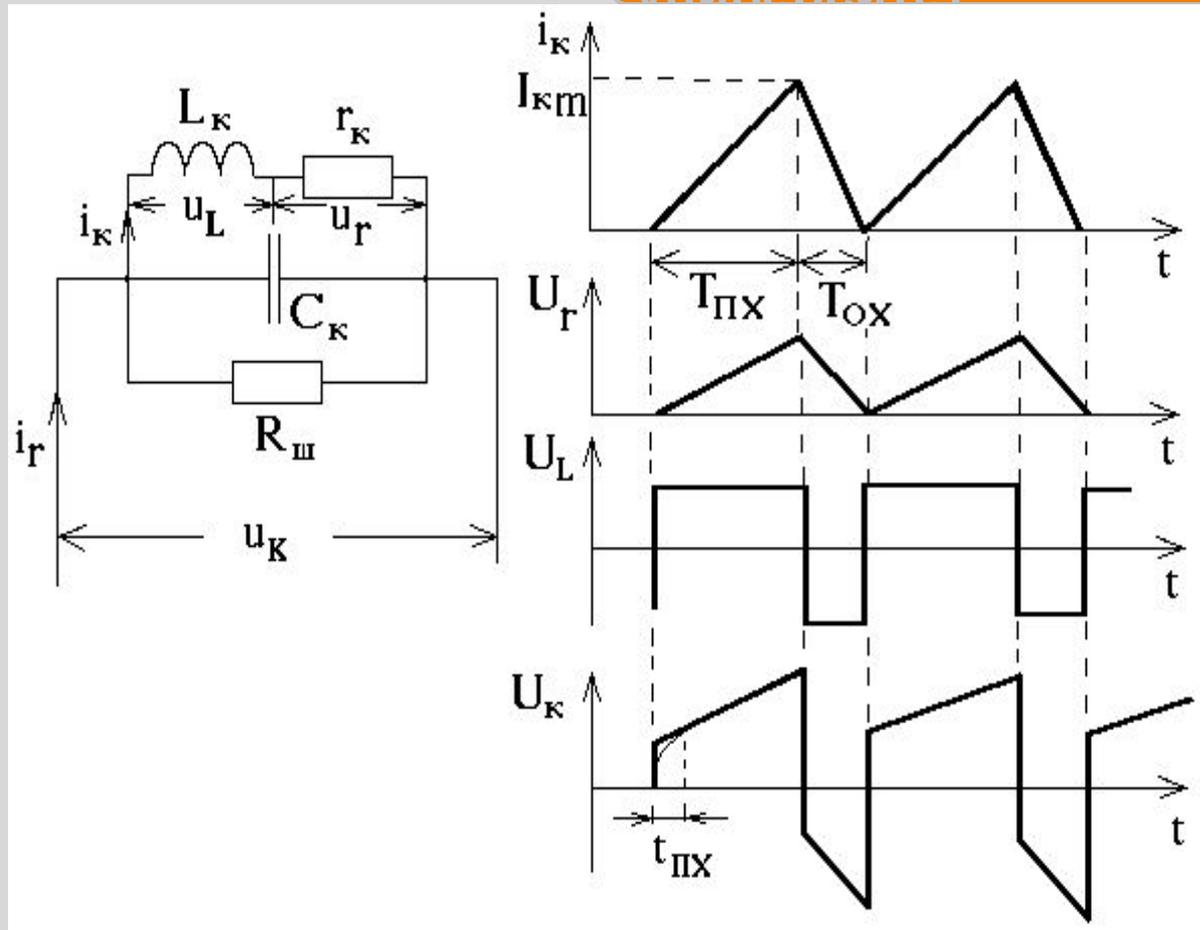


Рис.6.15. Эквивалентная схема ОК (а) и эюры, поясняющие ее работу (б)

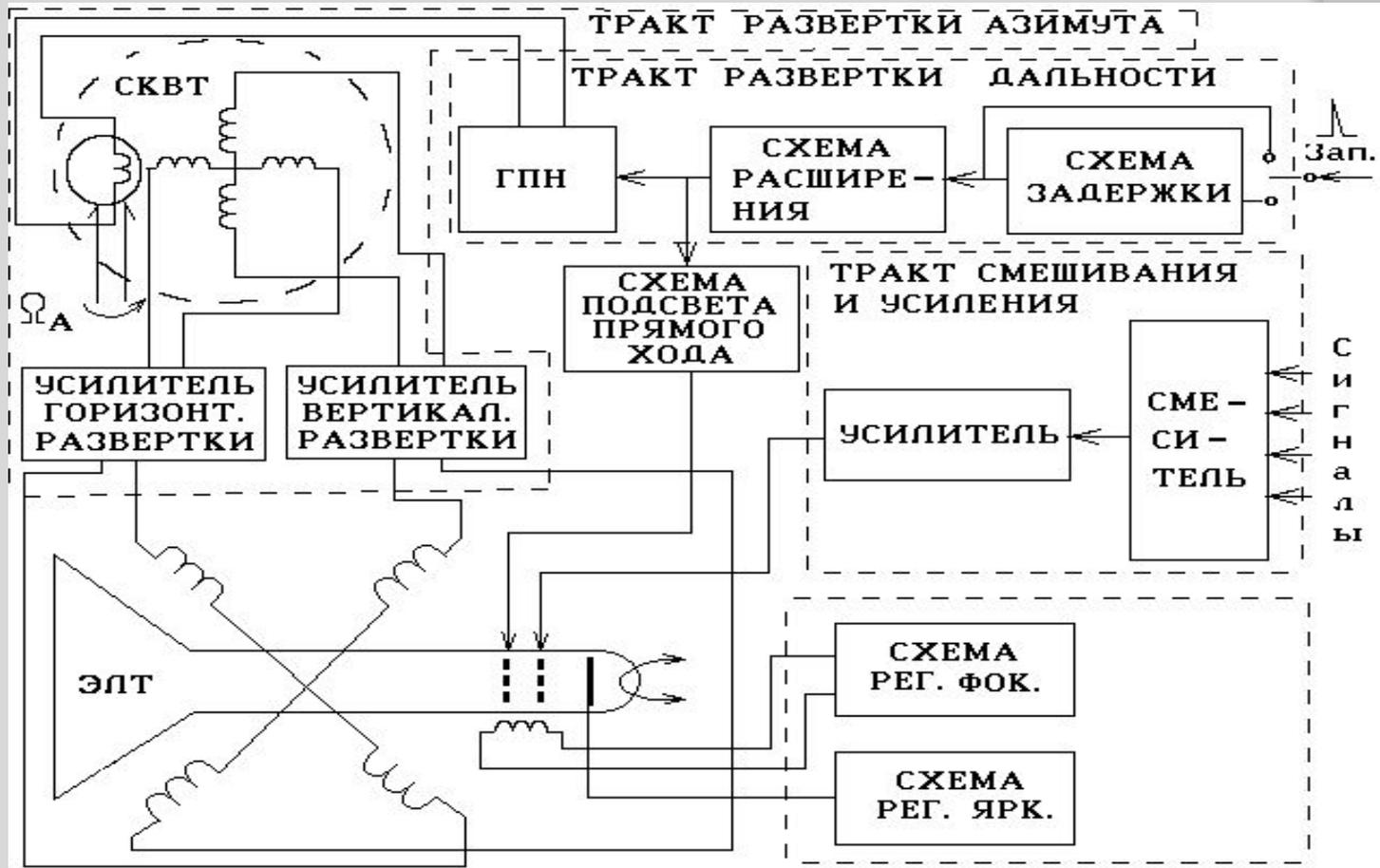


Рис.6.16. Функциональная схема типового ИКО, использующего неподвижные отклоняющие системы для создания РКР

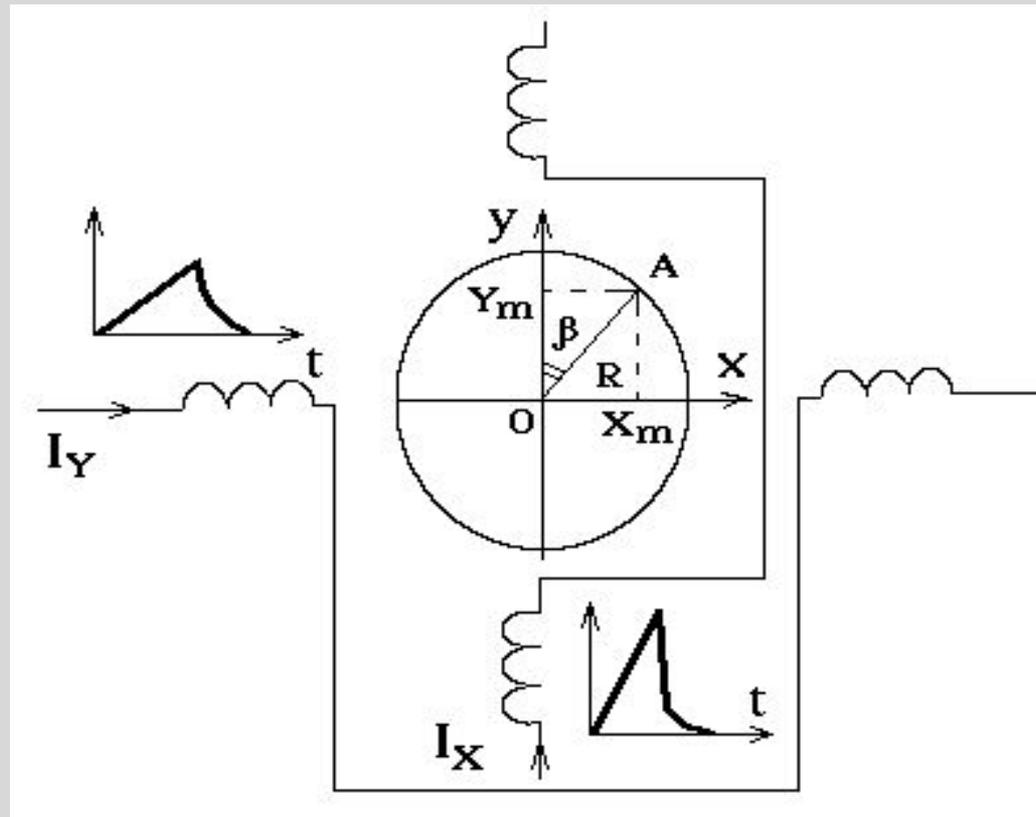


Рис.6.17. Упрощенная схема формирования отклоняющих ТОКОВ

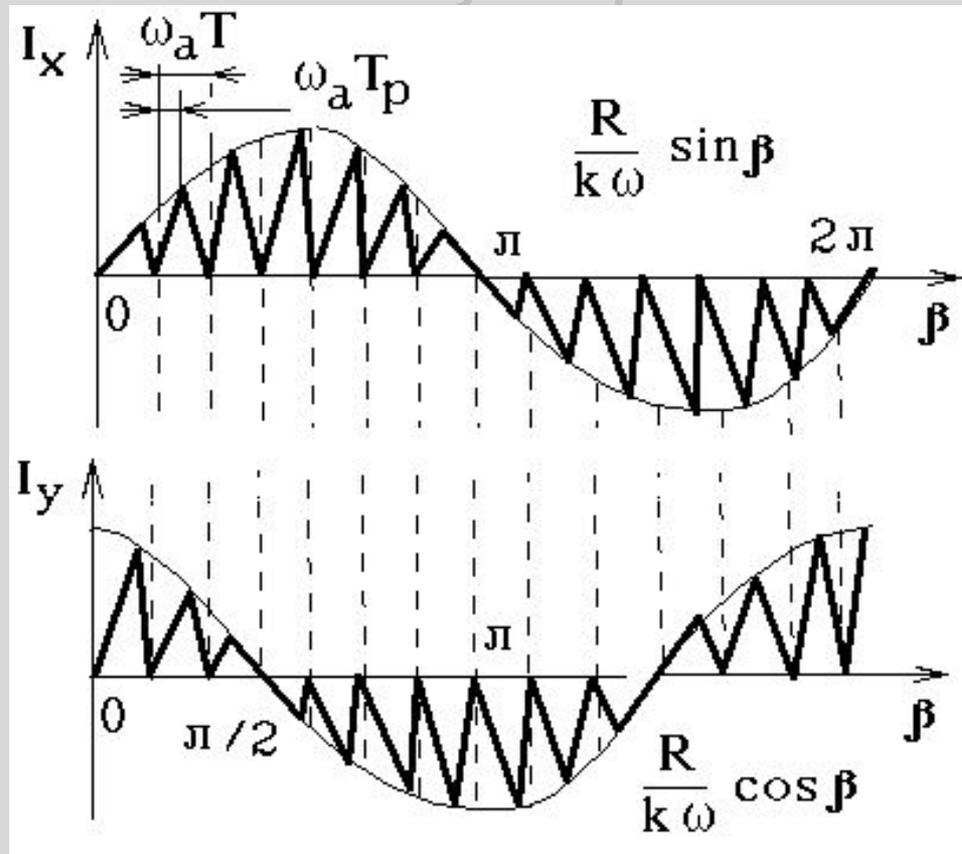


Рис.6.18. Эпюры, поясняющие формирование модулированных по амплитуде импульсов

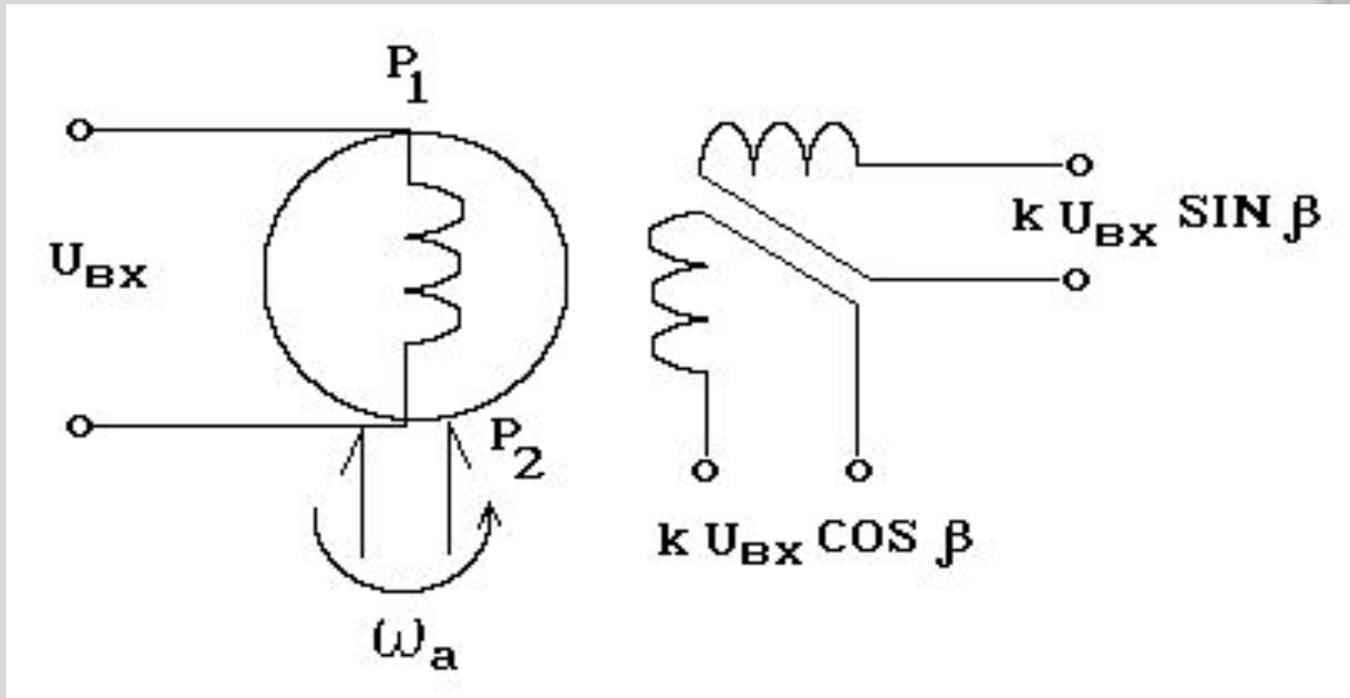


Рис.6.19. Синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ)

2.5. Принципы построения системы отображения радиовысотомера .

В РЛС обнаружения получили широкое распространение двумерные индикаторы следующих видов:

1. Индикаторы кругового обзора (ИКО).
2. Секторные индикаторы азимута и дальности с прямоугольным растром.
3. Секторные индикаторы дальности и угла места (высоты) с прямоугольным или полярным растром - индикаторы измерения высоты (ИИВ).

Функциональный состав структурных схем системы отображения информации этих индикаторов весьма схож, однако имеются и существенные различия.

ИИВ применяются в РЛС, определяющих высоту полета цели методом качания луча по углу места остронаправленной ДН антенны - специализированных РЛС измерения высоты - радиовысотомерах. Например, такие индикаторы используются в радиовысотомерах ПРВ-16, ПРВ-17, ПРВ-13 и др. Поэтому знание принципов построения основных устройств ИИВ, принципов построения их основных элементов, является одной из важнейших задач эксплуатации ПРВ.

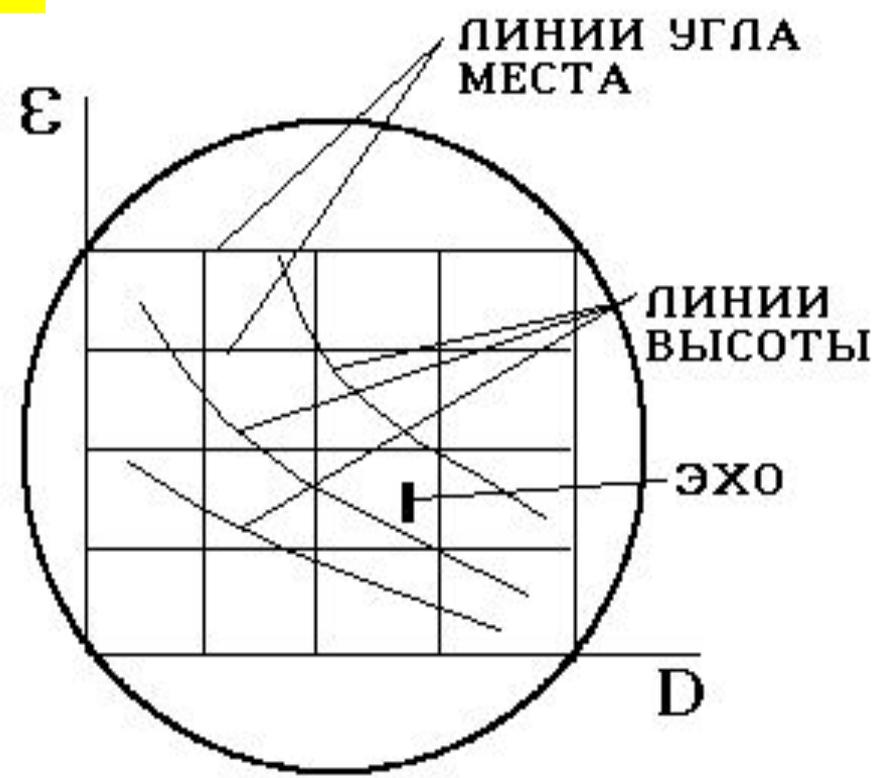
Важными проблемами при проектировании и эксплуатации ИИВ также являются: повышение разрешающей способности, увеличение точности измерений и уменьшение потерь в отношении сигнал/шум.

2.5.1. Формирование развертки высоты

Индикатор измерения высоты (ИИВ) может быть построен двумя способами:

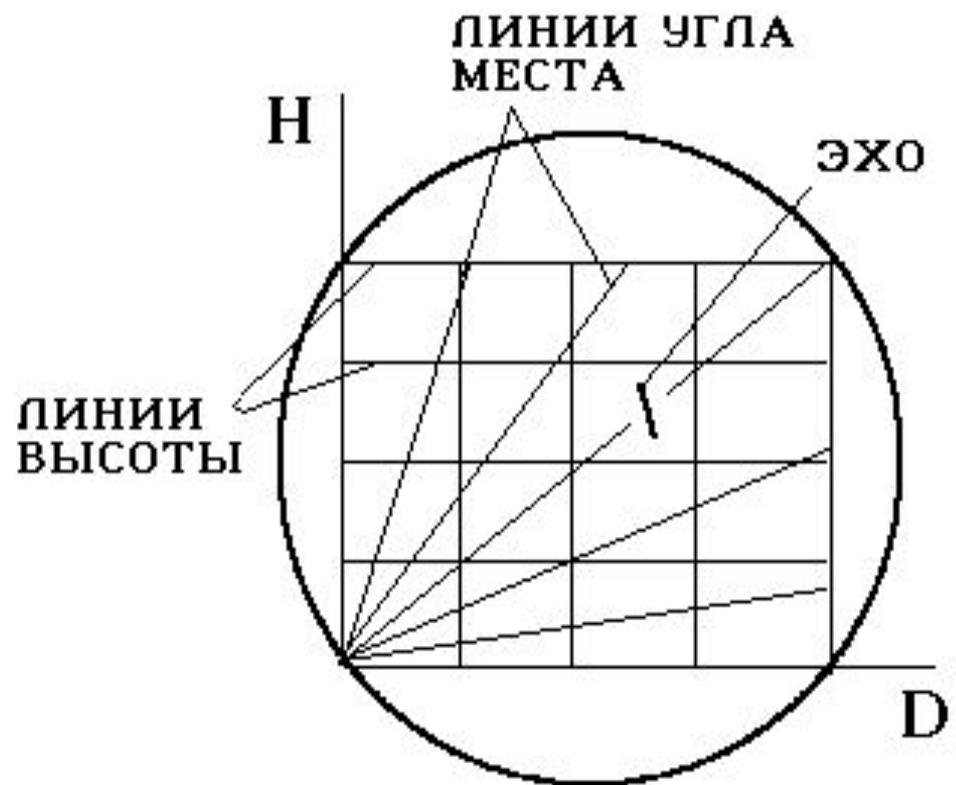
в координатах дальность - угол места (секторный индикатор с прямоугольным растром);
в координатах дальность - высота (секторный индикатор с полярным растром).

Индикатор дальность-угол места. Вид экрана ИИВ типа дальность-угол места показан на рис. 7а. В индикаторе этого типа горизонтальная развертка является разверткой дальности:



Прямоугольный растр

А)



Полярный растр

Б)

Рис.7. Вид экрана ИИВ типа дальность-угол места (а) и дальность-высота (б)

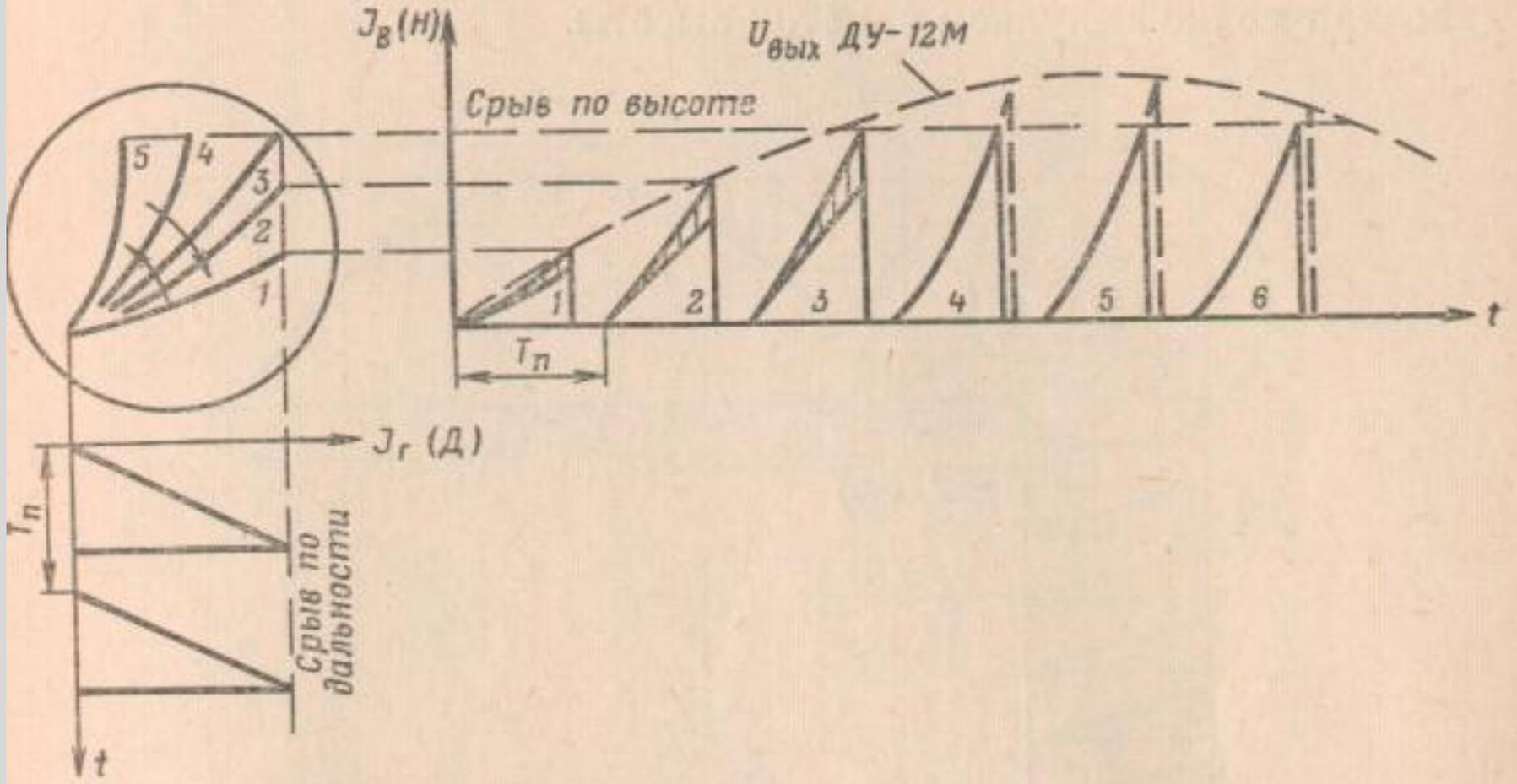


Рис.11. Принцип формирования развертки типа
ВЫСОТА —ДАЛЬНОСТЬ

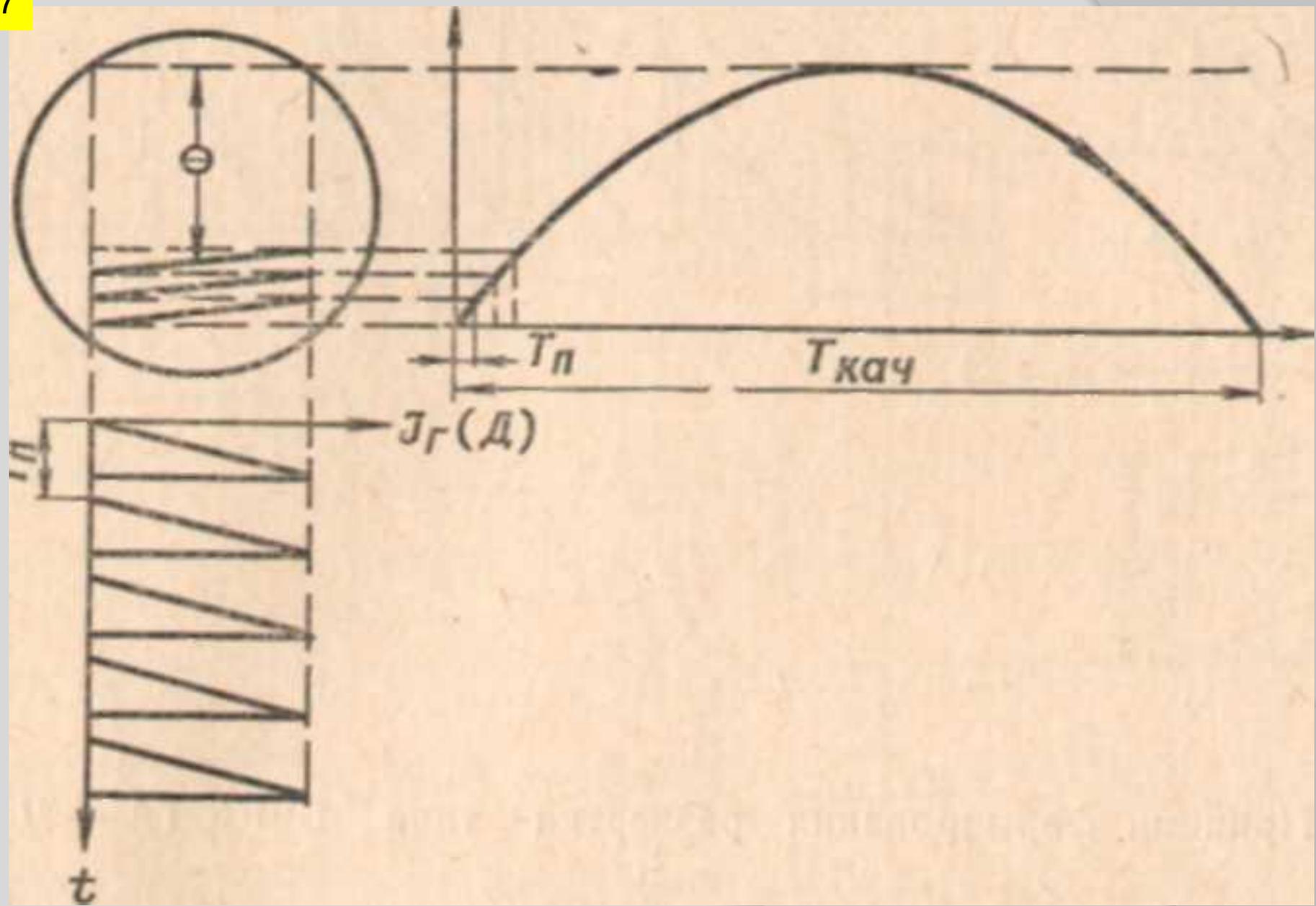


Рис.12 Принцип формирования развертки типа УГОЛ МЕСТА — ДАЛЬНОСТЬ

Для определения высоты на экран трубки наносится шкала-номограмма, по которой определяется высота полета цели. Шкала может быть графической, но чаще бывает электронной. Линии равных высот шкалы строят по формуле

$$H = h + D \sin \varepsilon + D^2 / (2R_{\varepsilon}), \quad (1)$$

где h - высота антенны РЛС над землей; D - наклонная дальность до цели; ε - угол места цели; R_{ε} - эквивалентный радиус земли, учитывающий ее кривизну и нормальную рефракцию.

Линии равных высот на экране индикатора в координатах дальность-угол места имеют вид гипербол (рис.7,а).

Отметки эхо-сигналов на экране будут иметь вид вертикальных штрихов одинаковой длины на всех дальностях.

Недостатками индикатора типа дальность-угол места являются: слабое использование площади экрана трубки (значительная площадь экрана за линией $H=H_{\text{макс}}$) и малая точность определения высоты.

Режим "дальность - угол места" является одним из режимов ИИВ, примененного в ПРВ-13, ПРВ-17.

Индикатор типа дальность-высота. Оптимальной с точки зрения масштаба развертки по вертикали будет такая форма раstra на экране ИИВ, при которой линии равных высот образуют систему параллельных друг другу линий. В таком индикаторе горизонтальная развертка является разверткой дальности:

Поскольку период качания антенны значительно больше, чем длительность развертки дальности T_p , то за время T_p угол места можно считать неизменным. Поэтому развертка на экране представляет форму параболы (7б). Вид экрана ИИВ типа дальность-высота показан на рис.7,б.

Линии равных высот в этом индикаторе будут представлять прямые, а линии равных углов места - параболы.

Полагая в формуле (1) $k_z=0$, т.е. считая Землю плоской, получим для вертикальной развертки

$$y = k_n t \sin \varepsilon. \quad (2)$$

При условии $T_{\text{кач}} \gg T_p$ (см. (6.14)), развертки на экране индикатора будут иметь вид прямых линий, выходящих из одной точки и имеющих меняющийся от одного периода повторения к другому угол наклона, как это показано на рис.7,б.

Индикатор типа дальность-высота имеет полярный деформированный растр. Деформация растра обеспечивает крупный масштаб по угловому смещению развертки и позволяет развернуть в действительности наблюдаемый сектор углов места в $20^\circ \dots 30^\circ$ в сектор $70^\circ \dots 80^\circ$ на экране индикатора. Такое растяжение углов вызывает геометрические искажения.

Сигналы от точечных целей на индикаторе типа дальность-высота будут иметь вид дужек (как на ИКО), угловая ширина которых определяется шириной ДНА по углу места. Однако из-за имеющейся разницы в масштабах по осям x и y эти дужки будут почти вертикальными штрихами. Их длина при постоянной высоте будет увеличиваться с увеличением дальности.



Рис.8. Функциональная схема ИИВ

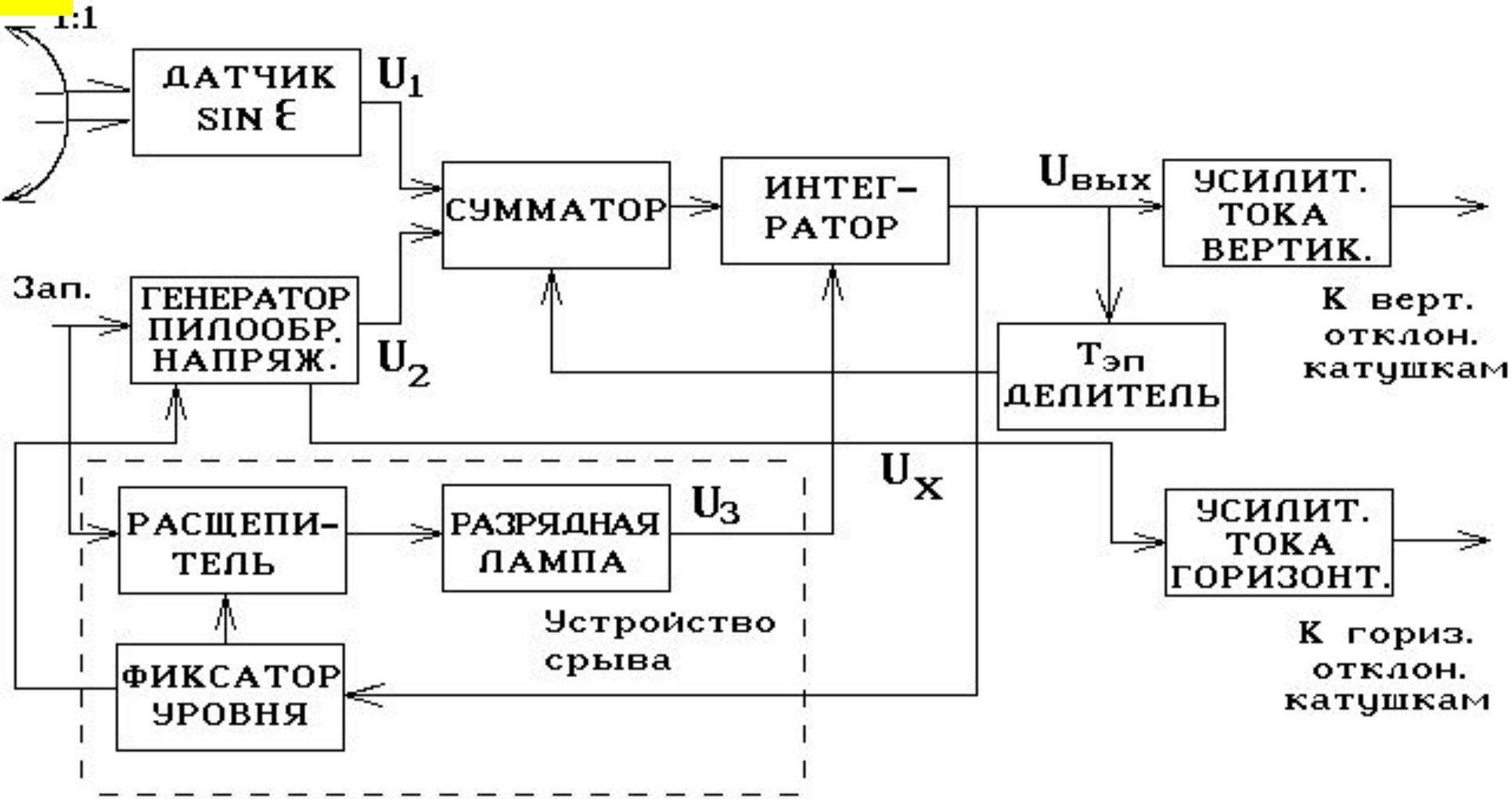


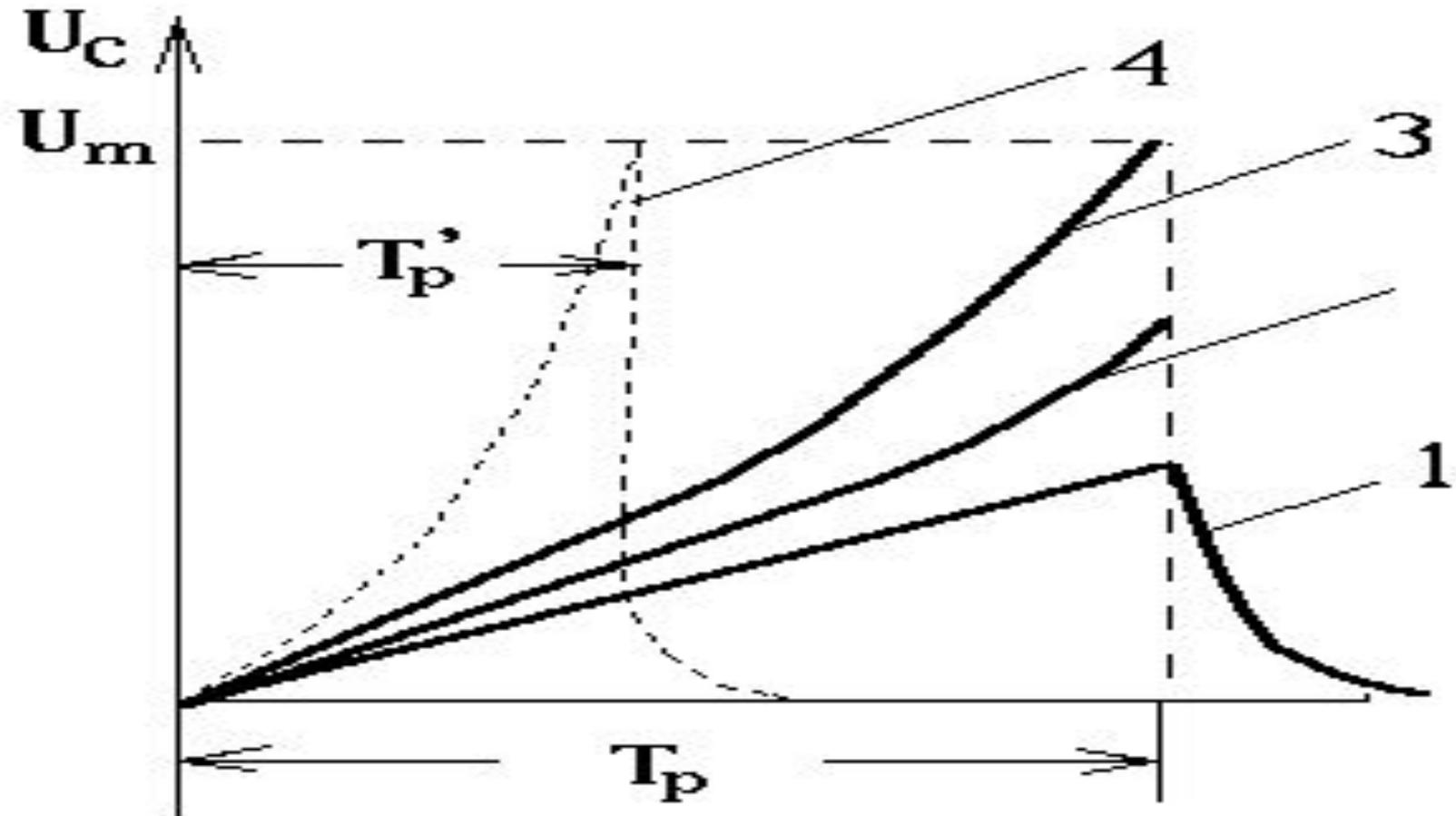
Рис.7. Функциональная схема устройства формирования раstra в ИИВ

Формирование развертки высоты в индикаторе дальность-высота. Развертка высоты (7б), имеющая в индикаторе дальность-высота вид параболы, может быть получена, если проинтегрировать напряжение вида

Эта особенность и определяет способ формирования вертикальной развертки в индикаторе. Функциональная схема устройства формирования раstra приведена на рис.7.

Напряжение $u_1 = k'_H \sin \varepsilon$ формируется потенциометрическим датчиком синусоидального напряжения, движок которого связан с валом качания антенны РЛС. Линейно-нарастающее напряжение $u_2 = 2k'_3 t$ (пилообразное напряжение) формируется под воздействием импульса запуска генератором пилообразного напряжения (ГПН), который используется также для формирования горизонтальной развертки (развертки дальности) индикатора.

В качестве интегратора может быть использован емкостной накопитель. Процесс интегрирования поясняется рис.6.25.



- 1 - $U_{BX} = K_H \sin \epsilon_1 = \text{const};$
- 2 - $U_{BX} = K_H \sin \epsilon_1 + 2K_3 t;$
- 3 - $U_{BX} = K_H \sin \epsilon_1 + B_1 t + A_1 t^2 .$

Рис.11. К пояснению принципа работы интегратора.

Таким образом, для определения высоты полета цели ИИВ может быть построен двумя основными способами: в координатах дальность - угол места (секторный индикатор с прямоугольным растром) и в координатах дальность высота (секторный индикатор с полярным растром). Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

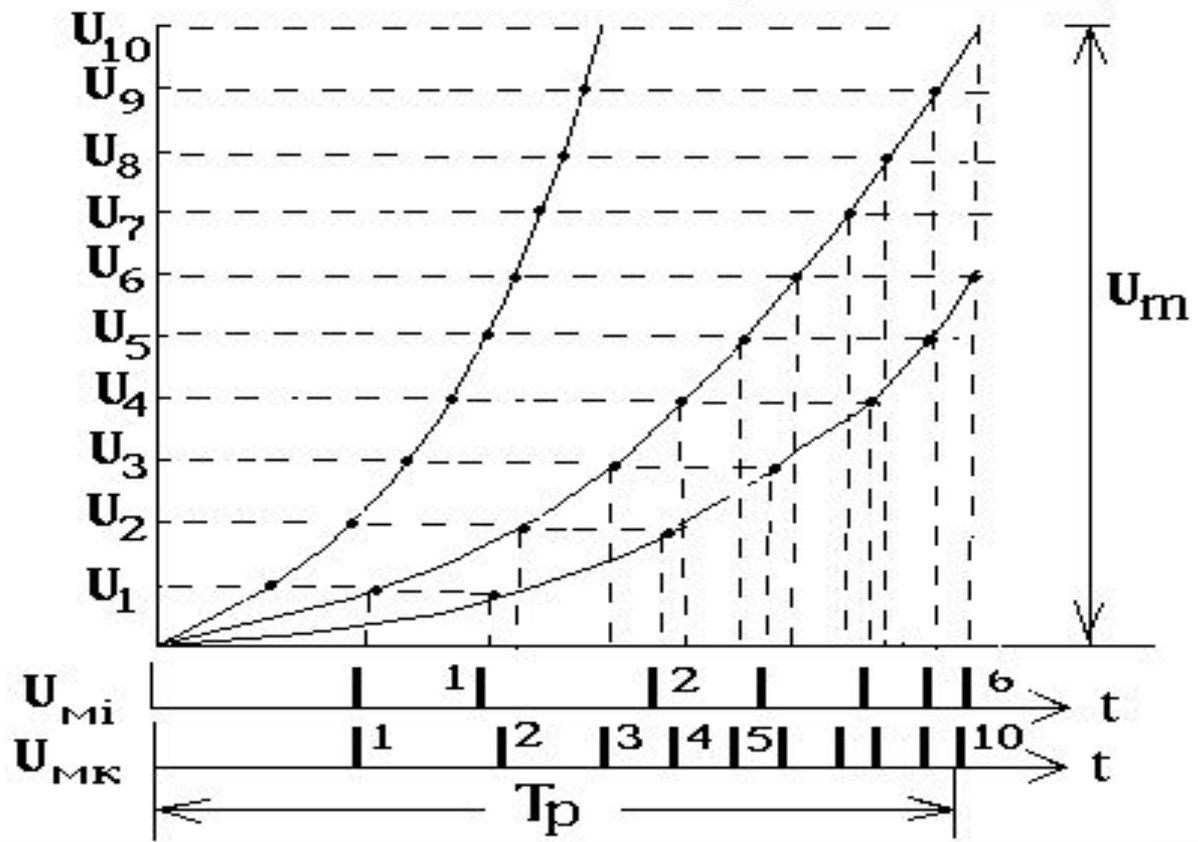


Рис.14. Функциональная схема и принцип формирования меток высоты

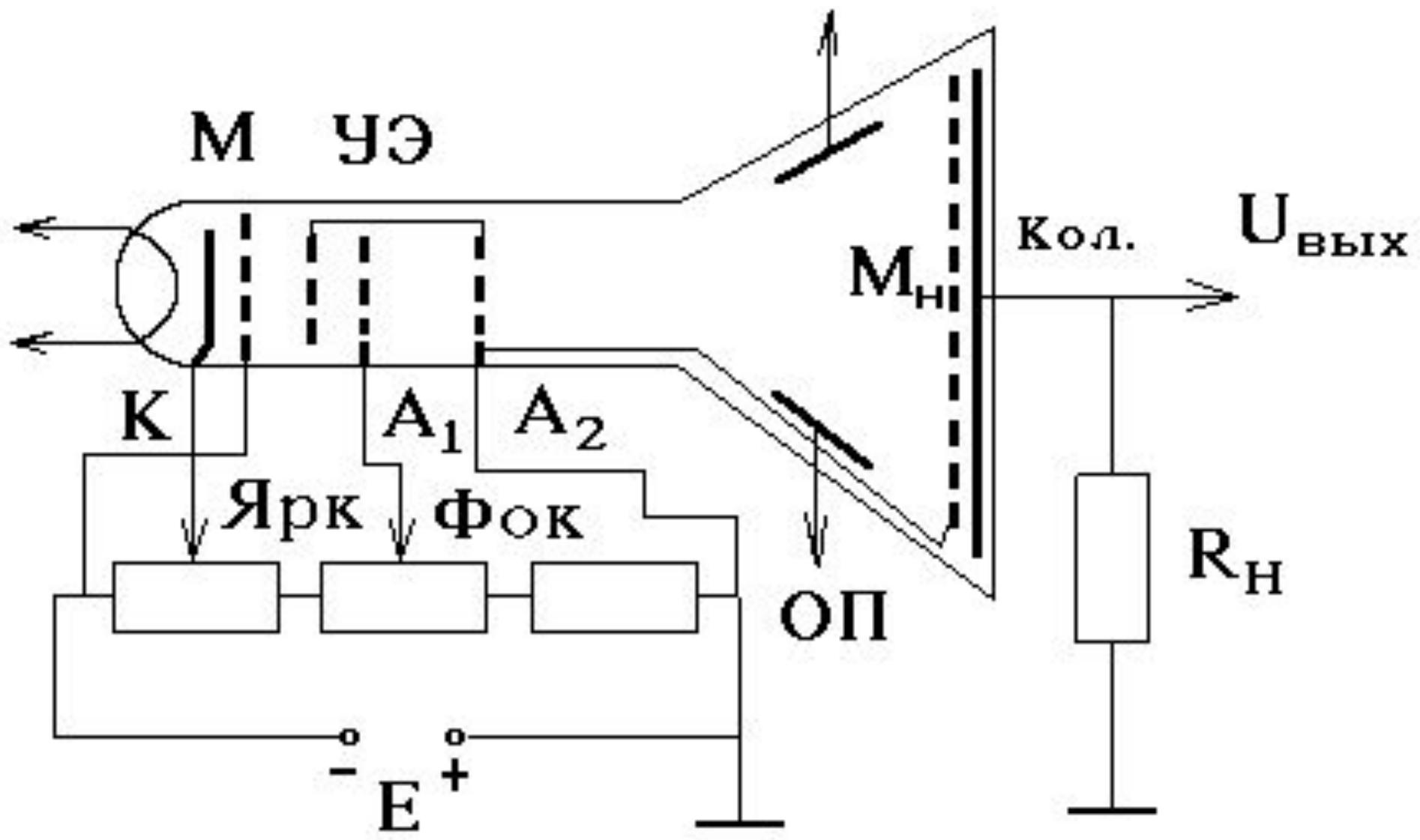


Рис.15. Импульсно-формирующая матричная трубка

Поскольку нити матрицы расположены равномерно, то для перемещения электронного пучка с любой нити на соседнюю требуются одинаковые изменения отклоняющего напряжения, т.е. нити выполняют роль уровней напряжений, при достижении которых напряжением высоты формируются короткие импульсы

Эти импульсы соответствуют равноотстоящим друг от друга высотам, т.е. являются метками высоты.

Достоинством такого способа является возможность отображения меток высоты в рабочем режиме ИИВ, т.е. совместно с отображением эхо-сигналов. Недостатком - зависимость точности формирования меток высоты от ошибок формирования напряжения высоты. Кроме того, надежность импульсно-формирующей ЭЛТ невелика.

Вопрос №3. Режимы работы ИКО.

Индикатор кругового обзора может работать в режимах:

1. кругового обзора
2. кольцевого обзора
3. в секторном режиме
4. режим прямоугольной развертки.

Режим кругового обзора — это такой режим работы, когда переключатель «Задержка» стоит в положении «Выкл.». В этом случае на экране индикатора обстановка воспроизводится по дальности от 0 км до значения выбранного масштаба (на рис. 2.87, а от 0 км до 200 км), а по азимуту — от 0° до 360° .

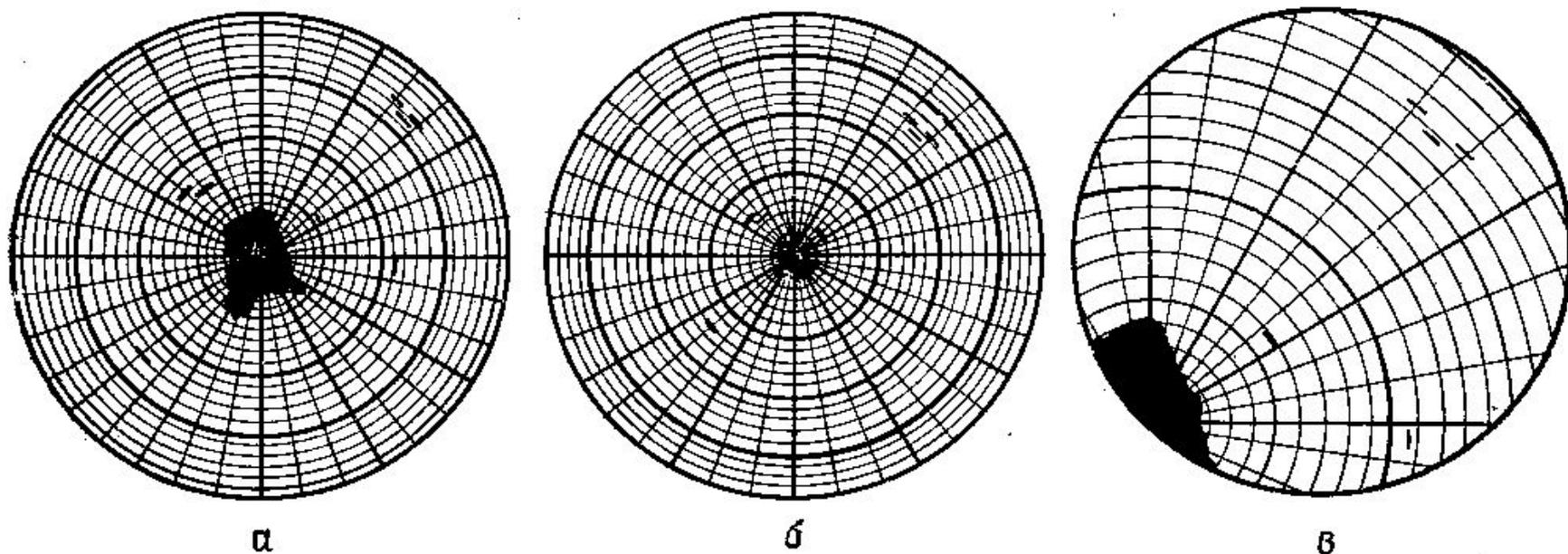


Рис. 2.87. Вид экранов ИКО в различных режимах работы:
а — режим кругового обзора; б — режим кольцевого обзора с задержкой на 20 км; в — секторный режим

В режим кольцевого обзора индикатор переводится постановкой переключателя «Задержка» в положение «Вкл.». В этом случае обстановка воспроизводится с дистанции, определяемой ручкой «Задержка», так как схема задержки развертки дальности начинает формировать ее с некоторым запаздыванием относительно излученного зондирующего импульса.

На рис. 2.87,б показано, что в центре экрана не 0 км, а 20 км, это можно определить по положению целей. Здесь задержка запуска выбрана в 20 км.

Секторный режим работы устанавливается с помощью схемы смещения центра развертки. В этом режиме ручками горизонтального и вертикального смещения можно точку начала линии

Если на ИКО отображается вся зона обнаружения РЛС, то масштаб индикатора получается мелким, что ухудшает его точность и разрешающую способность. Укрупнение масштаба может быть достигнуто переводом ИКО в **секторный режим работы**. Для этого начало развертки смещается к краю экрана (рис.6.2,а) (режим смещенного центра, например, в РЛС 19Ж6, 55Ж6), либо выносится за пределы экрана (рис.6.2,б).

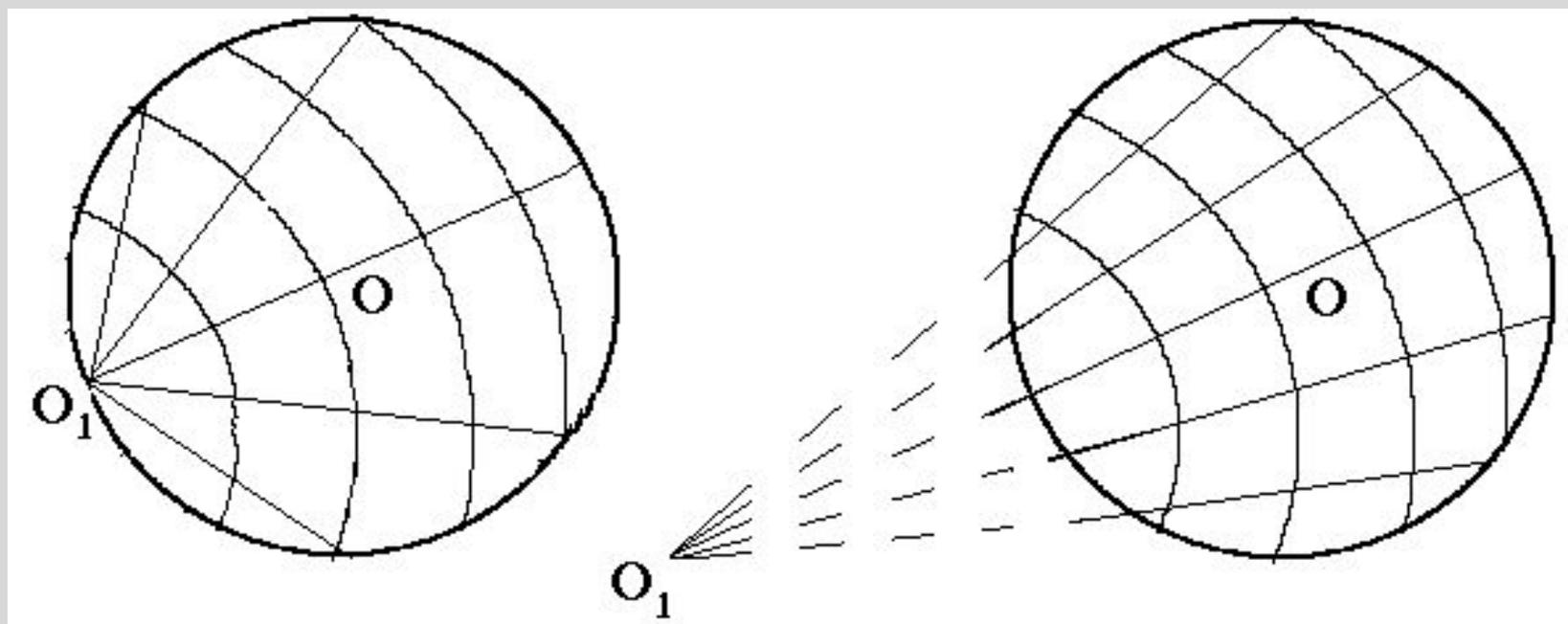


Рис.6.2. Режимы смещенного центра ИКО:

- а) - на край развертки;
- б) - за пределы экрана

Секторный режим с полярным растром позволяет получать неискаженное расположение целей и легко передвигать просматриваемый участок зоны обзора по азимуту и дальности. Однако в этом случае невозможно отдельно регулировать масштабы по дальности и азимуту, а также невозможно значительное (более чем в 2-4 раза) укрупнение масштаба, ибо возникают ухудшения структуры изображения и фокусировки электронного луча трубки. Эти недостатки устраняются в секторных индикаторах с прямоугольным растром (или реализацией в индикаторном устройстве **режима прямоугольной развертки**).

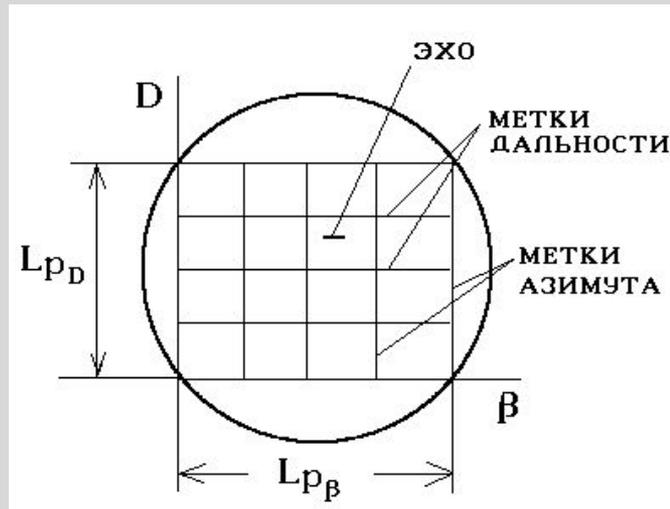
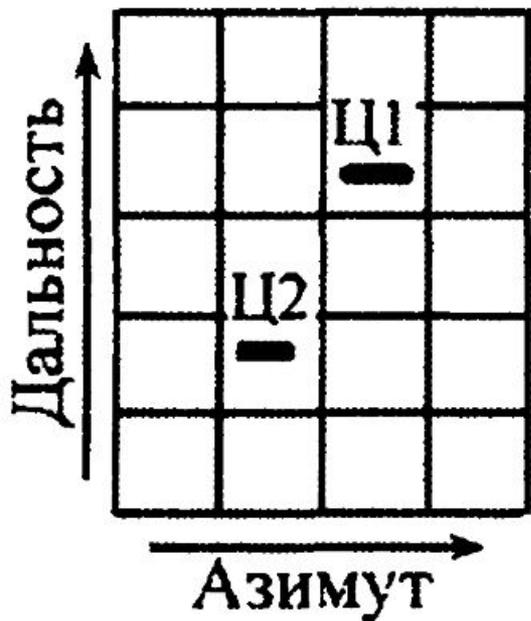
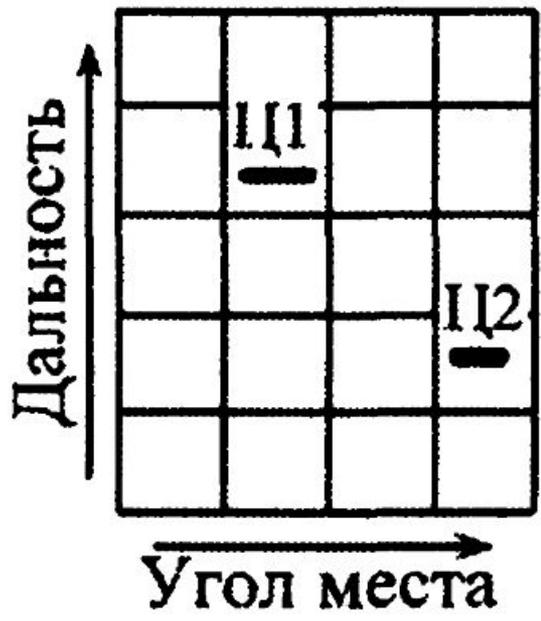


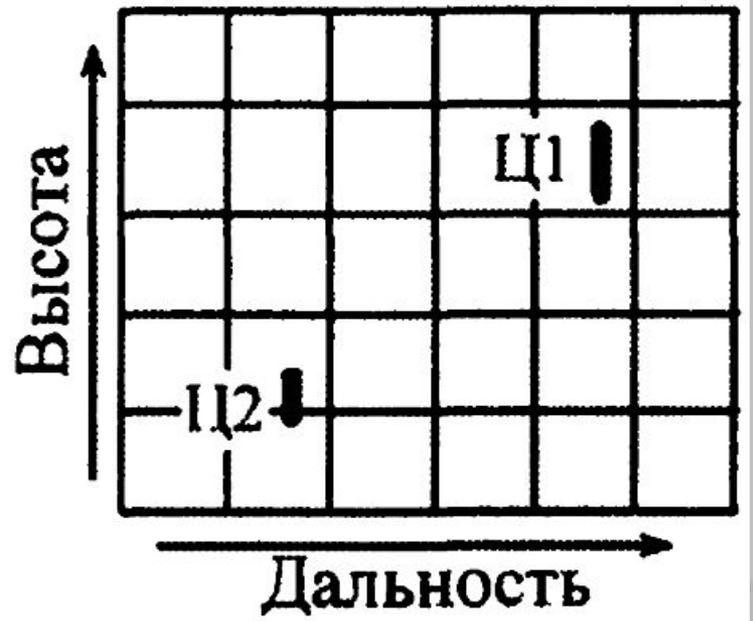
Рис.6.3. Прямоугольный растр индикатора азимута и дальности



а)



б)



в)

В *секторных индикаторах с прямоугольным растром*, в отличие от *индикаторов с полярным растром*, происходит искажение участка земной поверхности. Это приводит к ошибкам в относительных расстояниях между целями по положению их отметок на экране. Искажения уменьшаются при сужении ширины просматриваемого сектора и удалении отрезка просматриваемого участка дальности.

Индикаторы дальности и угла места (высоты) по принципу выполнения аналогичны индикаторам дальности и азимута (рис.6.4) и применяются в радиовысотомерах, например, ПРВ-16, ПРВ-13, ПРВ-17 и других.

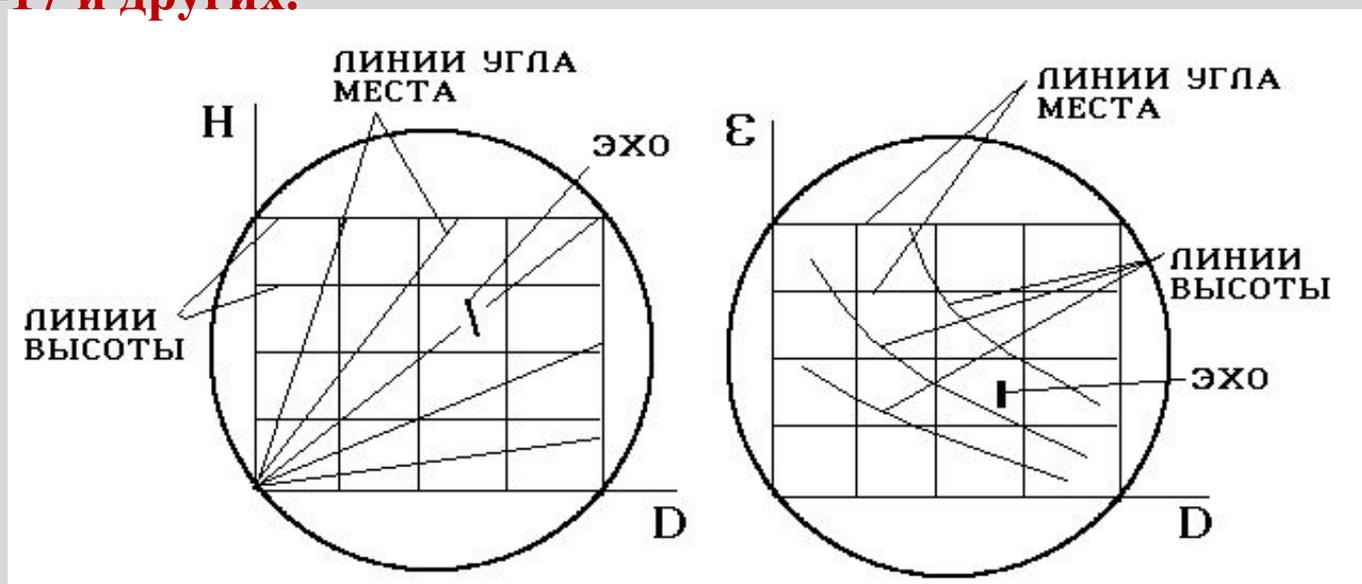


Рис.6.4. Полярный (а) и прямоугольный (б) растр

Секторные индикаторы, а также секторные режимы работы ИКО используются в РЛС для повышения точности определения координат целей и разрешающей способности станции.

Таким образом, в обзорных РЛС в основном применяются индикаторы, позволяющие измерить две координаты целей с яркостными отметками от них. Дальнейшее обогащение содержания изображения на экране ЭЛТ достигается применением ЭЛТ с несколькими электронными пучками, создающих несколько изображений на одном экране, применением разноцветного изображения, специальных экранов, цифровых методов формирования изображения.

Особенности работы индикаторной аппаратуры РЛС П-18.

В РЛС П-18 ИКО и ВИКО могут работать в следующих режимах:

отображение информации РЛС П-18 (своего лоатора) — режим «Л»;

отображение информации высотомера ПРВ-13 или РЛС П-15МН — режим «В»;

отображение обобщенной информации станции и высотомера ПРВ-13 или станции и РЛС П-15МН — режим «В + Л».(кольцевой режим работы).