

# ОБЗОР ПРОСТРАНСТВА ВИДЫ ОБЗОРА

# Обзор пространства

Перемещение ДН антенны РЛС, подчиненное определенному закону, называют радиолокационным обзором.

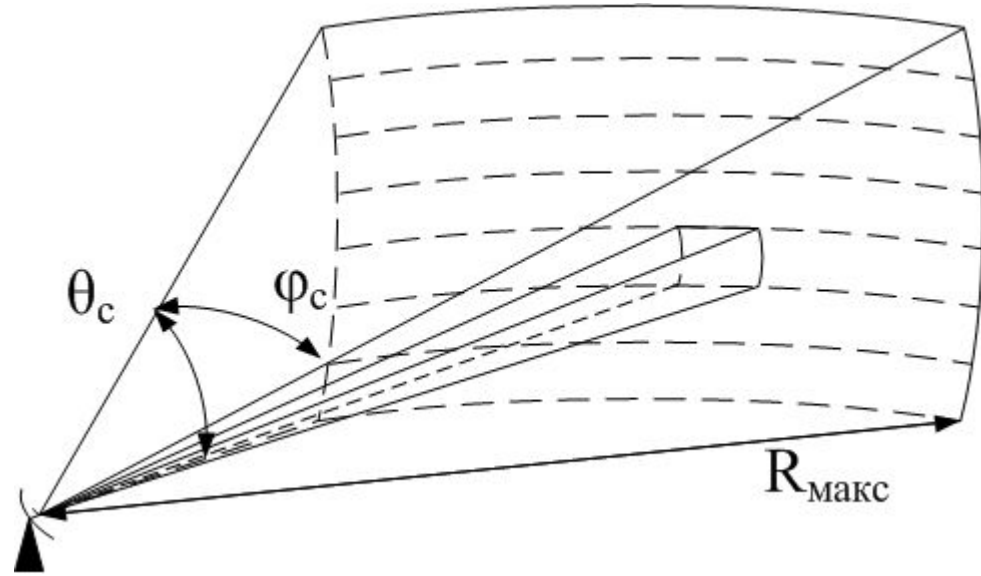
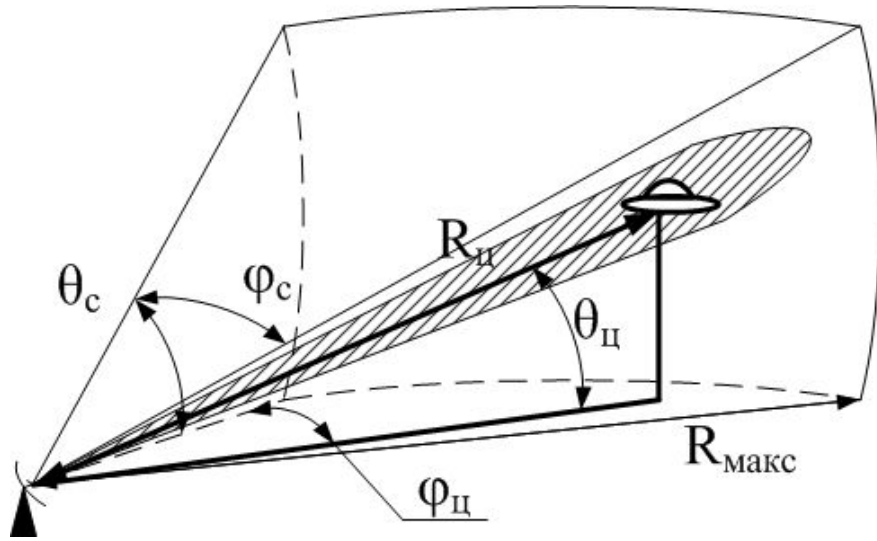
В процессе данного перемещения РЛС излучает и принимает радиоимпульсы и производит обработку сигнала, решая задачу обнаружения.

Пространство, в пределах которого осуществляется обзор РЛС, называют рабочей зоной радиолокатора или сектором обзора.

**Рабочая зона РЛС определяется:**

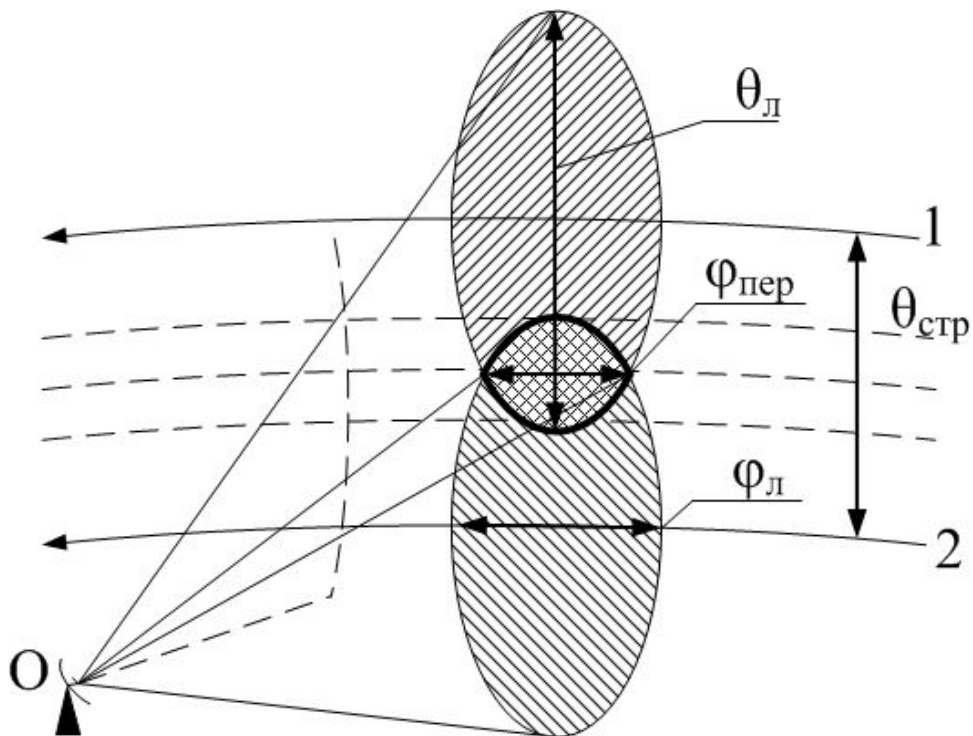
- сектором обзора по азимуту  $\varphi_c$ ;
- сектором обзора по углу места  $\theta_c$ ;
- максимальной дальностью обнаружения  $R_M$ .

# Обзор области пространства

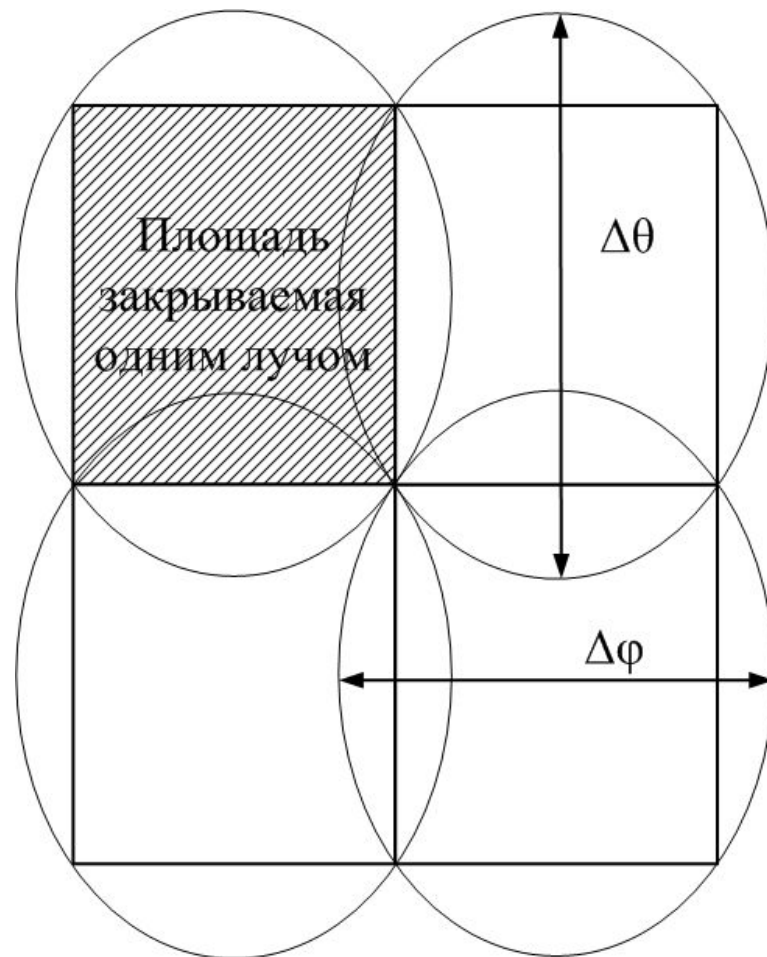


**РЛС измеряет:** азимут цели  $\varphi$ ; угол места цели  $\theta$ ; наклонную дальность  $R$ ; высоту цели  $H$ ; радиальную скорость  $V_r$ .

# Пересечение лучей при обзоре



Наложение сечений диаграммы направленности на смежных участках траектории при непрерывном перемещении



Наложение сечений диаграммы направленности на смежных положениях луча при его дискретных переключениях

# Период обзора пространства

Период обзора РЛС – это отрезок времени между двумя последовательными прохождениями диаграммы направленности через одну и ту же точку пространства

Чем выше скорость обнаруживаемых целей, тем меньше должен быть период обзора. Период обзора современных РЛС составляет:

- 1-2 с для РЛС малой дальности ( $R_{\text{обн}} < 5-10$  км);
- 2-4 с для РЛС средней дальности ( $R_{\text{обн}} = 10-50$  км);
- 5-10 с для РЛС большой дальности ( $R_{\text{обн}} > 100$  км).

Еще одной важной характеристикой обзорного режима является время облучения цели.

В случае непрерывного движения ДН – это время, в течение которого цель находится в пределах ДН антенны.

В случае дискретного перемещения ДН – это время стояния луча в одном угловом направлении.

# Методы сканирования пространства

Основные механизмы перемещения ДН антенны (сканирования):

## 1. Механическое сканирование

Достоинства: постоянные ширина ДН и КУ антенной системы для всего сектора обзора.

Недостатки: ограничение на скорость движения антенной системы и отсутствие возможности произвольного перемещения луча по сектору обзора

## 2 Электронное сканирование

Достоинства: гибкость в управлении положением ДН в пределах сектора обзора, высокая скорость переключения луча

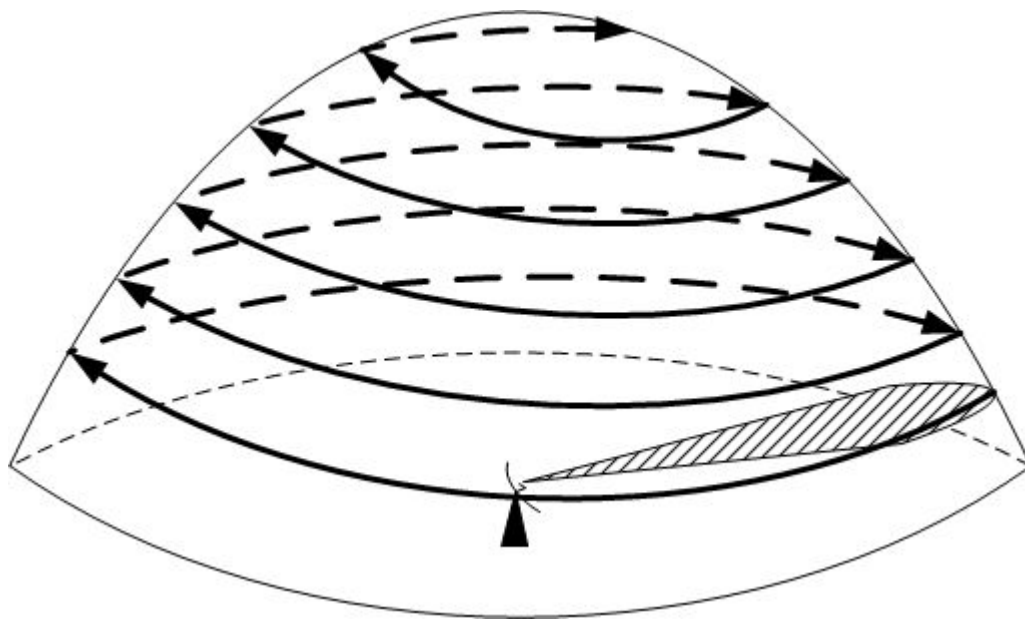
Недостатки: расширение ДН и падение КУ при отклонении луча от нормали антенной системы.

## 3 Электронно-механическое сканирование

# Перемещение луча при обзоре пространства

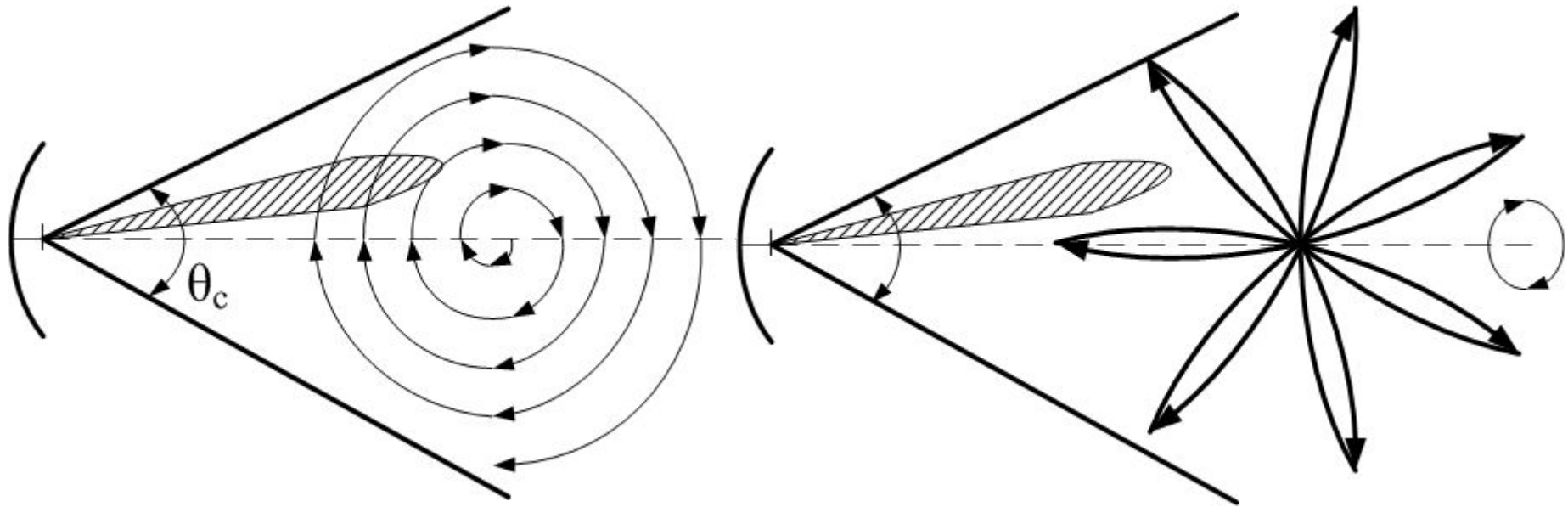
Основные траектории перемещения луча ДН в пространстве:

- винтовой обзор;
- спиральный обзор;
- зигзагообразный обзор.



Траектория движения ДН при винтовом обзоре

# Спиральный обзор

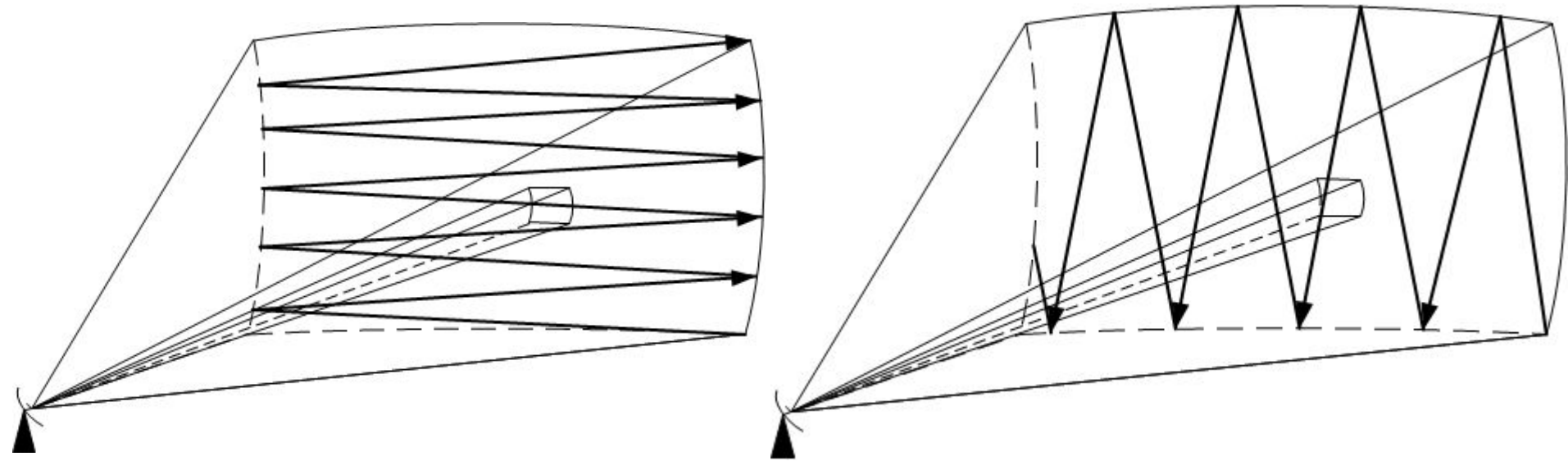


Траектория движения ДН при спиральном обзоре: скорость переносного движения больше (слева) и меньше (справа) скорости относительного движения



# Зигзагообразный обзор

Траектория движения ДН при зигзагообразном обзоре: скорость переносного движения больше и меньше скорости относительного движения слева и справа соответственно.



# Круговой обзор для РЛС с плоской антенной

# Круговой обзор с плоской антенной

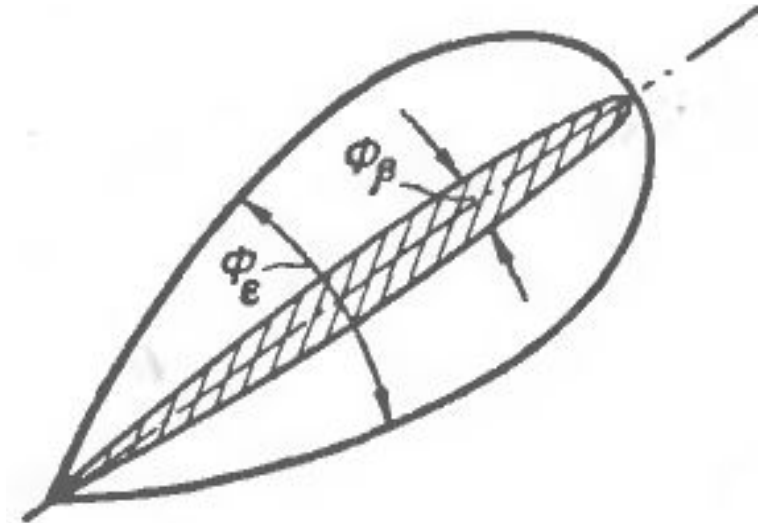
Круговой обзор представляет собой вращение антенной системы вокруг неподвижной оси.

Вращение происходит в азимутальной плоскости, поэтому сектор обзора по этой координате равен  $360^\circ$  или  $180^\circ$ , сектор обзора по углу места равен ширине ДН в этой плоскости.

Ширину ДН в угломестной плоскости оценивают из соотношения:

$$\Delta\theta = \arcsin\left(\frac{H}{R}\right)$$

$H$  – максимальная высота полета цели;  
 $R$  – максимальная наклонная дальность

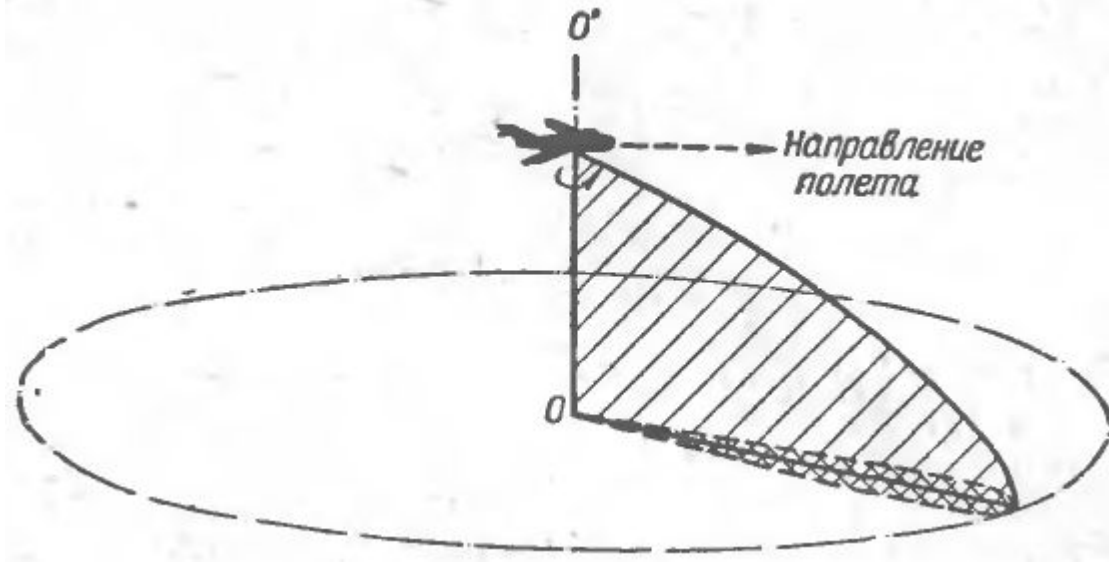


Плоская ДН антенны

# Применение кругового обзора

Данный вид обзора используется:

- в РЛС обзора летного поля (Атлантика);
- РЛС контроля наземного и морского пространства (РЛС на базе технологии СКИРЛ, Furuno и т.д.);
- в РЛС панорамного обзора;
- в РЛС обнаружения воздушных объектов (П-18, Каста).



Круговой обзор самолетной панорамной станцией

# Параметры кругового обзора

Скорость вращения антенной системы – количество оборотов антенны в единицу времени, измеряется об/с, об/мин.

Данный параметр определяет период обзора и темп выдачи радиолокационной информации.

Скорость вращения для обзорных РЛС с дальностью действия 200-300 км выбирают порядка 10 об/мин.

Для РЛС обзора летного поля и контроля наземной и морской поверхности с дальностью действия 5-30 км скорость вращения составляет 0,5-1 об/с, что обусловлено высокими требованиями к темпу выдачи информации.

# Уравнение радиолокации для РЛС кругового обзора

За период обзора  $T_{\text{ОБЗ}}$  антенна проходит  $2\pi$  рад, соответственно ширину ДН  $\Delta\varphi$  антенна пройдет за время облучения цели  $T_{\text{ОБЛ}}$ , определяемым следующим выражением:

$$T_{\text{обл}} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot T_{\text{обз}} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{1}{\Omega}$$

где:

$\Delta\varphi$ , рад – ширина ДН антенны;

$T_{\text{П}}$ , сек – период повторения (излучения) импульсов;

$\Omega$ , Гц – частота вращения антенной системы;

$T_{\text{ОБЗ}} = 1/\Omega$  – период обзора сектора по азимуту, равный  $360^\circ$  или  $2\pi$  рад.

# Дальность действия РЛС кругового обзора

Количество импульсов  $N$ , приходящихся на время облучения цели, и участвующих в накоплении составит:

$$N = \frac{T_{\text{обл}}}{Tn} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{T_{\text{обз}}}{Tn}.$$

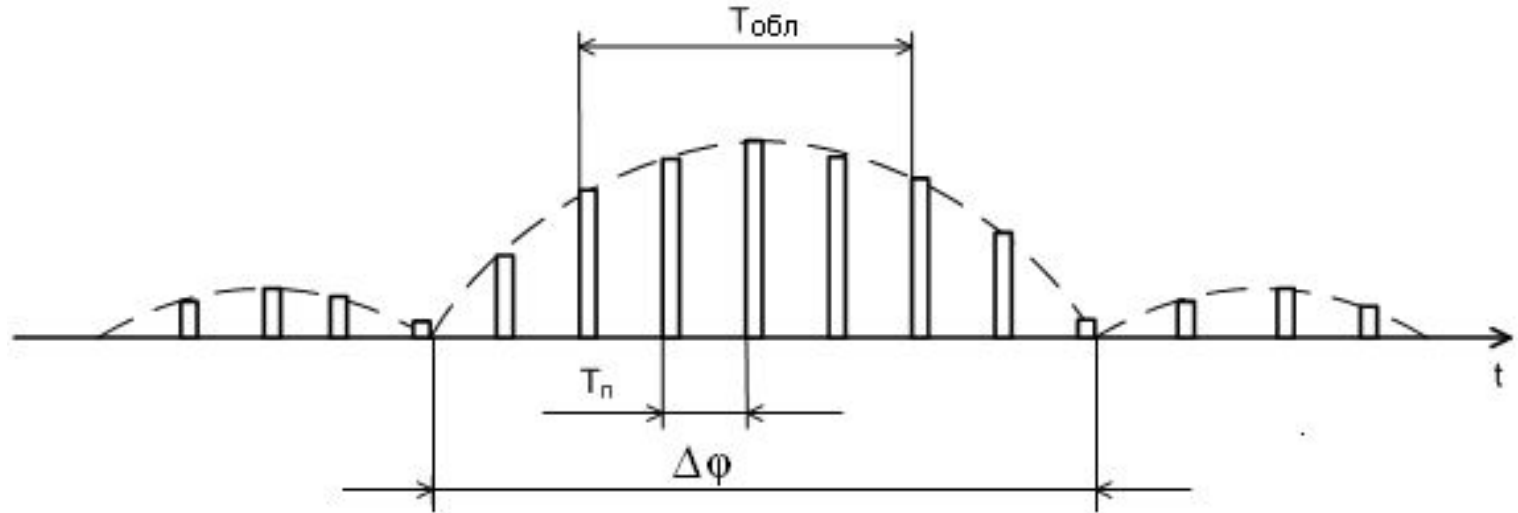
Подставив количество импульсов в основное уравнение радиолокации, получим следующее выражение для дальности обнаружения целей:

$$r_{\text{макс}} = \sqrt[4]{\frac{P_u \cdot \tau_u \cdot N}{\nu \cdot N_0} \cdot \frac{G \cdot \sigma \cdot A}{16\pi^2}} = \sqrt[4]{\frac{P_u \cdot \tau_u}{\nu \cdot N_0} \cdot \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{T_{\text{обз}}}{Tn} \cdot \frac{G \cdot \sigma \cdot A}{16\pi^2}}$$

Дальность действия растет с увеличением периода обзора и расширением ДН по азимуту, однако это приводит к снижению темпа выдачи информации и ухудшению разрешающей способности и точности измерения азимута.

# Вторичная амплитудная модуляция при круговом обзоре

Еще одной особенностью кругового обзора является амплитудная модуляция принимаемых импульсов, соответствующая форме ДН антенны.



Для оптимальной обработки необходимо вводить весовую обработку. Весовые коэффициенты будут пропорциональны квадрату ДН антенны по напряжению.

Для улучшения контраста между сигналом отраженным от цели и сигнала, отраженного поверхности, необходимо уменьшать боковые лепестки ДН.



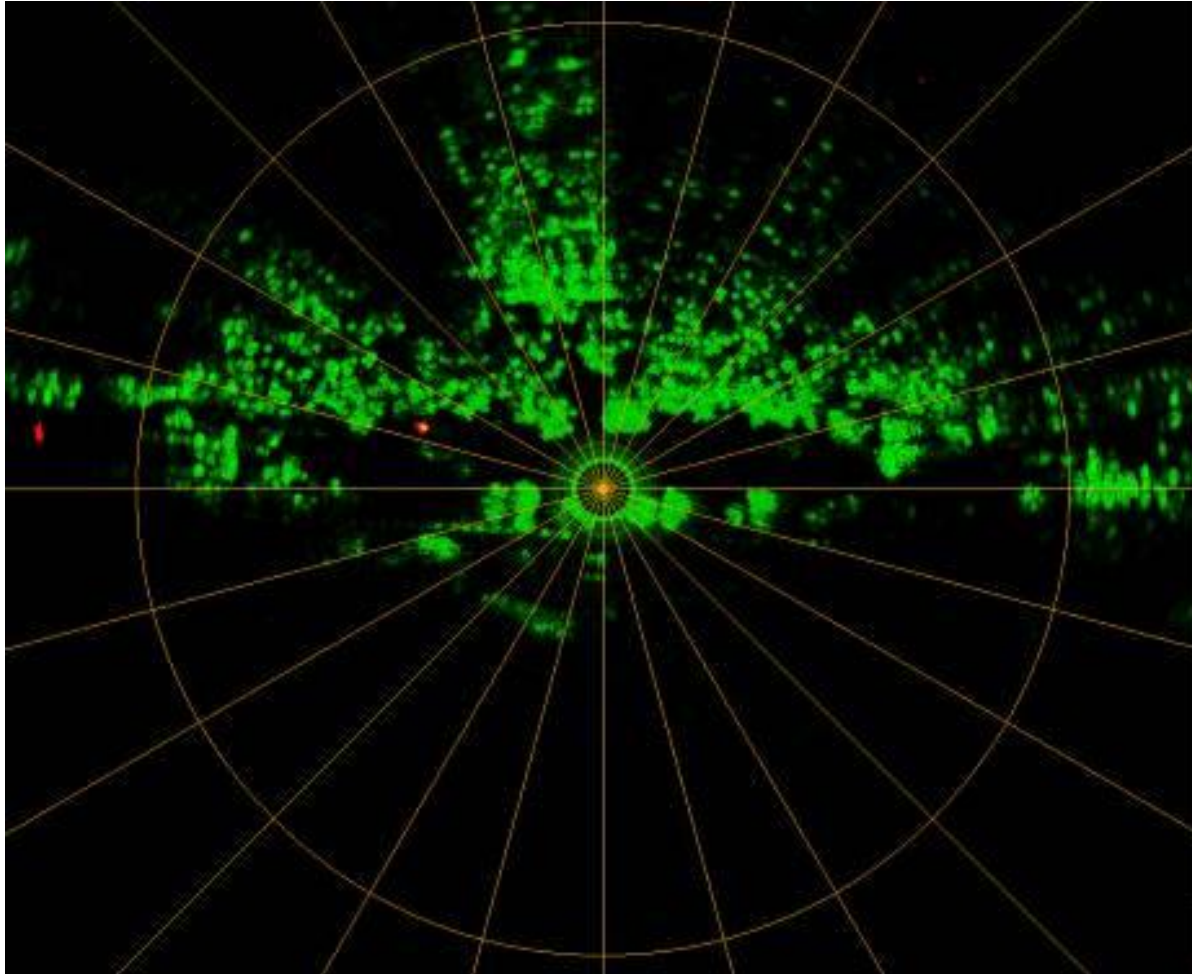
# Отображение кругового обзора

Для отображения полученной радиолокационной информации используются индикаторы кругового обзора.



Индикатор кругового обзора РЛС П-18 – представляет собой осциллограф с круговой разверткой

# Круговой обзор широкополосной РЛС



Индикатор кругового обзора сверхкороткоимпульсной радиолокационной станции малой дальности

# РЛС обзора заданной зоны контроля



Пример работы РЛС обзора летного поля «Атлантика». Реальная картинка, полученная в аэропорту Шереметьево-2 во время испытаний

# Секторный обзор антенной системой на базе ФАР И АФАР

# Требования к сектору обзора

Сектор обзора по азимуту и углу места для таких систем ограничивается возможностями электронного сканирования.

Как правило, сектор сканирования ограничен величиной  $\pm 45^\circ$ , в пределах которой КУ уменьшается на 3 дБ.

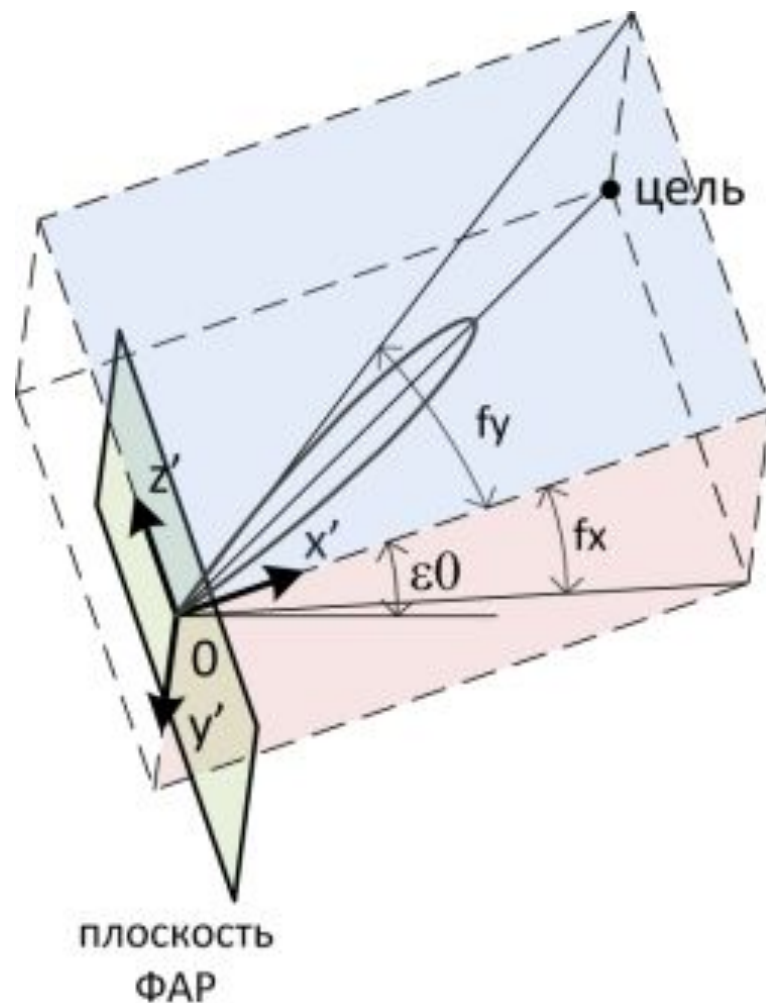
Для ряда специальных применений сектор сканирования может быть расширен до величин  $\pm 60^\circ$ ,  $\pm 72^\circ$ , с уменьшением КУ уже на 6-10 дБ.

Основной задачей для выполнения обзора является заполнение сектора обзора лучами диаграммы направленности так, чтобы не осталось «пустых» мест или «дырок», а количество лучей было минимальным.

# Системы координат, применяемые при секторном обзоре

**Система координат азимут-угол места.** В этой системе координат сектор всегда имеет вид прямоугольника, а форма лучей может существенно меняться вследствие отклонения от нормали решетки.

**Биконическая система координат,** строится в углах отклонения луча ДН от горизонтальной и вертикальной плоскости решетки. В этой системе координат форма луча остается постоянной.



# Методика расстановки лучей при секторном обзоре

- 1 Эквидистантная расстановка лучей в биконической системе координат без учета расширения ДН при отклонении
- 2 Эквидистантная расстановка лучей в биконической системе координат с учетом расширения ДН при отклонении
- 3 Переход из биконической системы координат в систему координат азимут-угол места
- 4 Коррекция количества лучей в обеих системах координат с учетом заданного сектора сканирования по азимуту и углу места

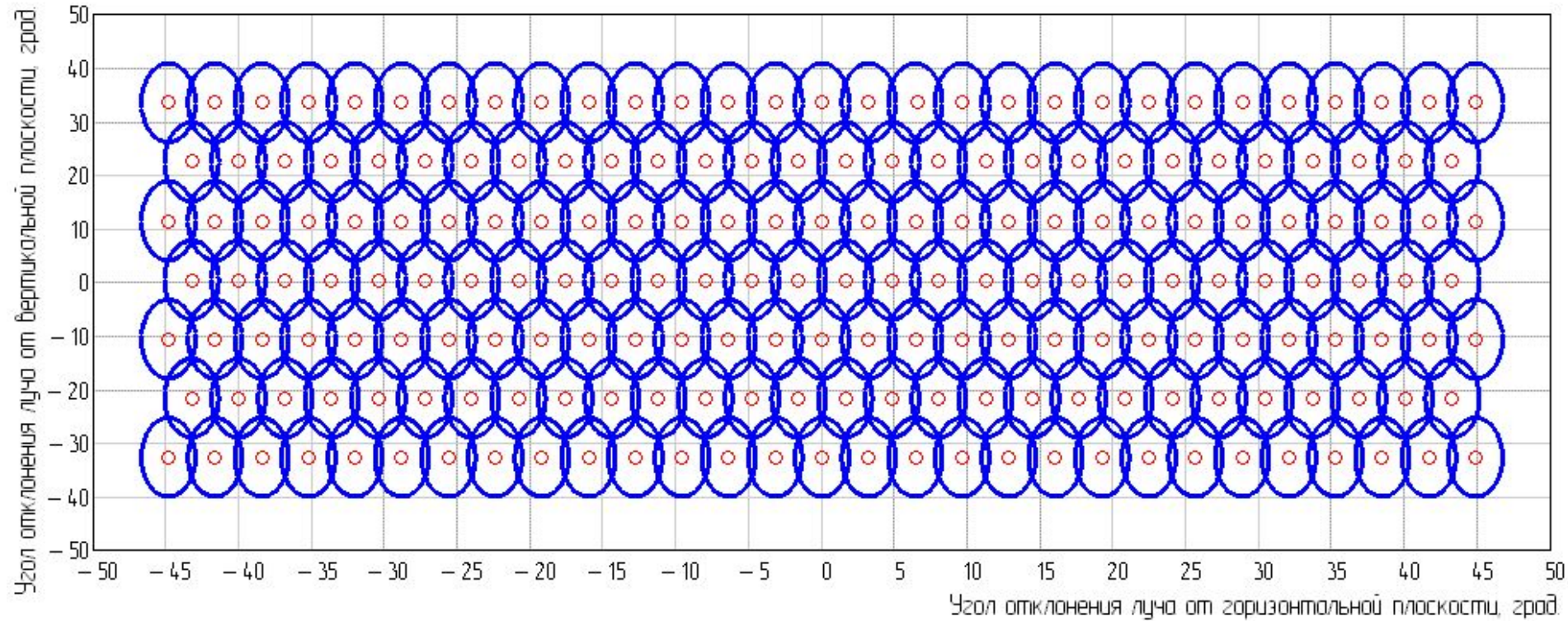


# Эквидистантная расстановка без учета расширения лучей при отклонении

Расстояния между центрами лучей в биконической СК в горизонтальной плоскости  $L\alpha$  и вертикальной плоскости  $L\varepsilon$  определяются выражениями:

$$L\alpha = d\alpha - \frac{d\alpha}{2} \cdot (2 - \sqrt{3}) \quad L\varepsilon = d\varepsilon - \frac{d\varepsilon}{4}$$

где  $d\alpha$  и  $d\varepsilon$  – ширина ДН по азимуту и углу места соответственно.

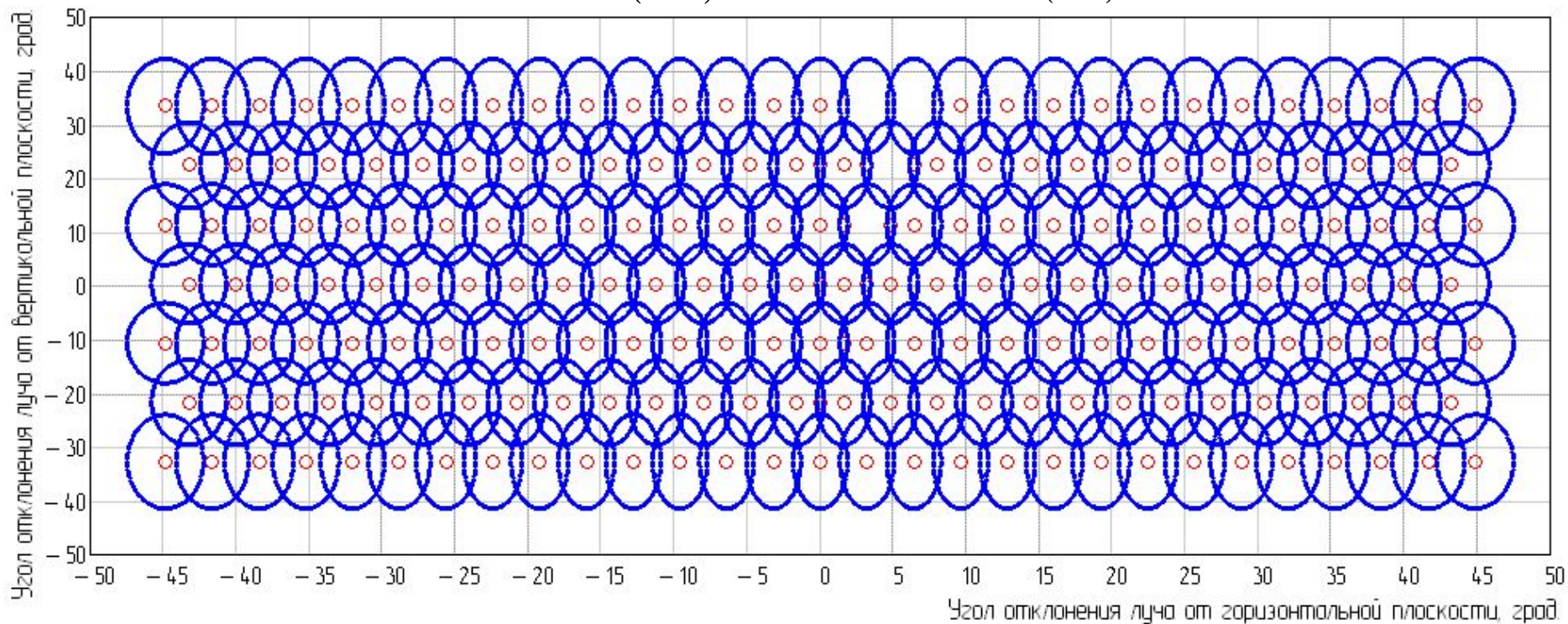




# Эквидистантная расстановка с учетом расширения лучей при отклонении

$C\alpha$  – координата центра луча в горизонтальной плоскости, а  $C\varepsilon$  – в вертикальной, тогда ширины ДН будут определяться выражениями:

$$d\alpha_{расш.} = \frac{d\alpha}{\cos(C\alpha)} \quad d\varepsilon_{расш.} = \frac{d\varepsilon}{\cos(C\varepsilon)}$$



# Переход от биконической к сферической системе координат

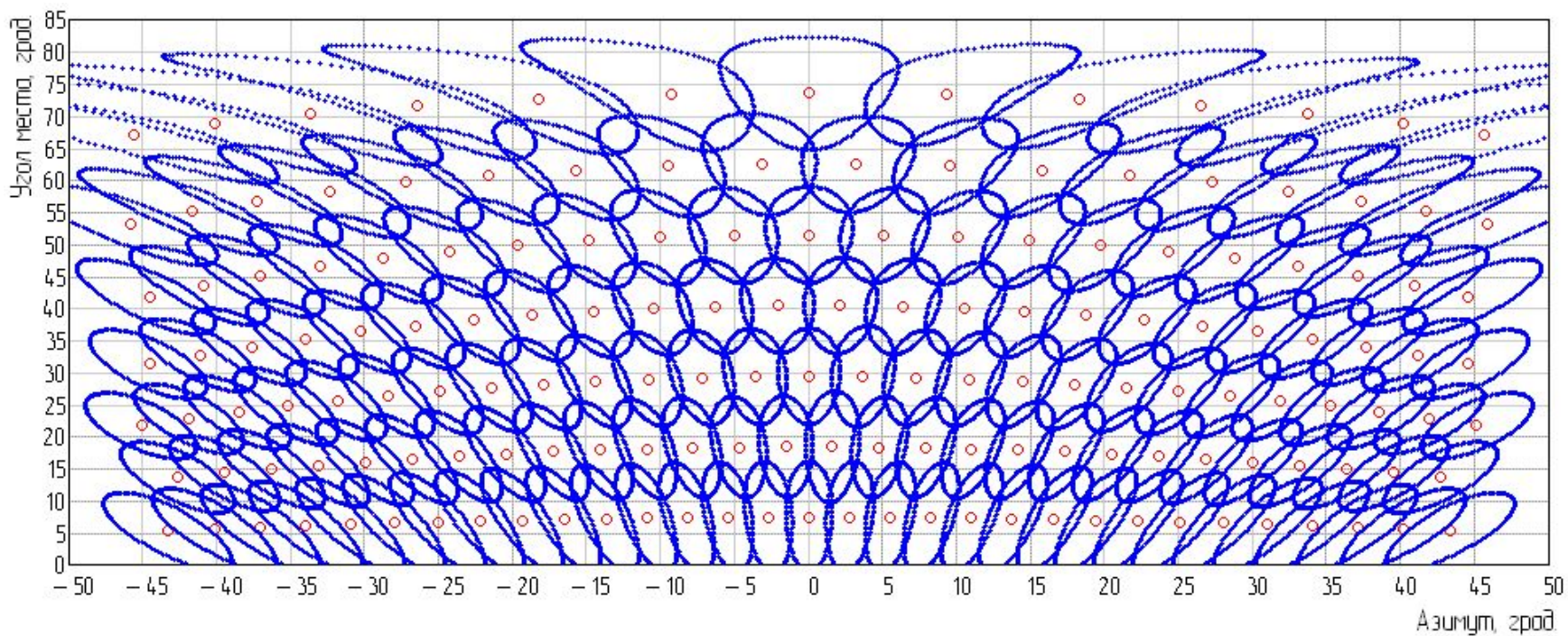
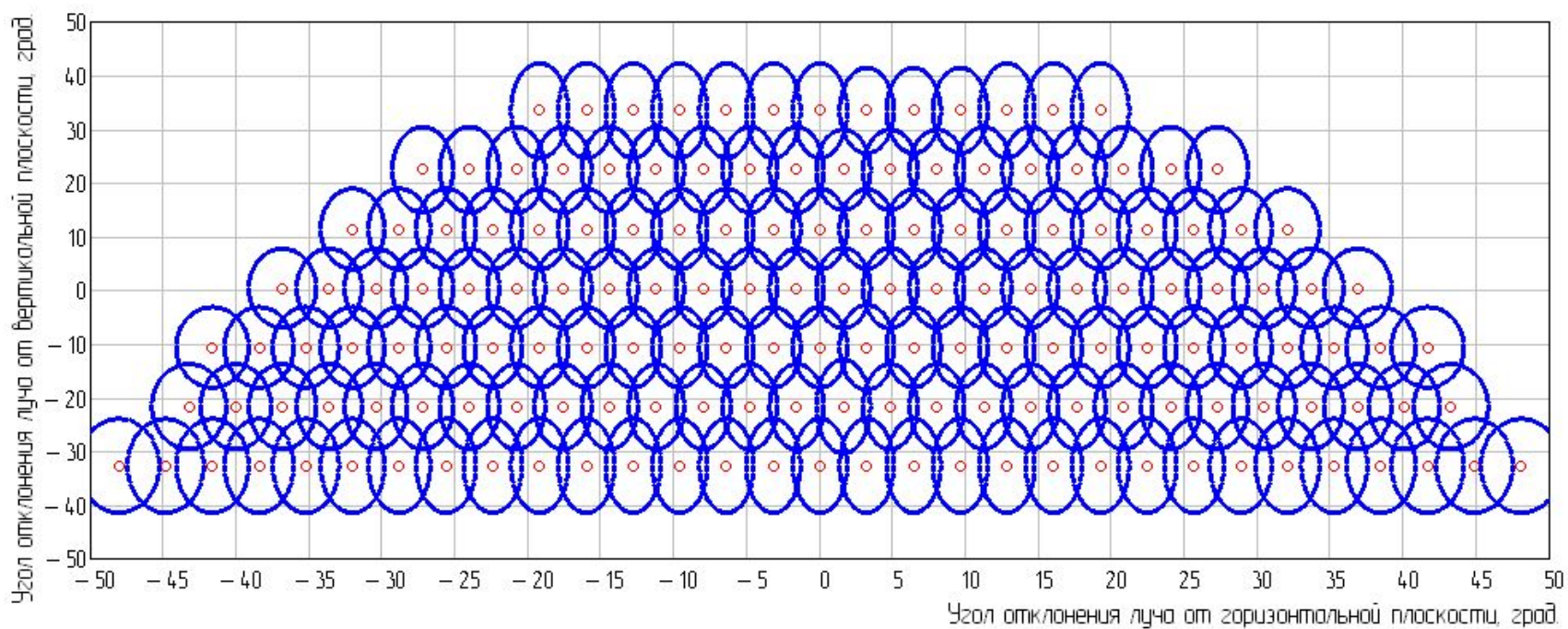
Перевод любой точки плоскости биконической системы координат в систему координат азимут-угол места выполняется согласно следующим выражениями:

$$X\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin(fy + \varepsilon_0)}{\sqrt{1 + (\cos^2(fy) \cdot tg^2(fx))}}\right) \quad Y\alpha = \arg(\cos(fy + \varepsilon_0) + i \cdot \cos(fy) \cdot tg(fx))$$

где:

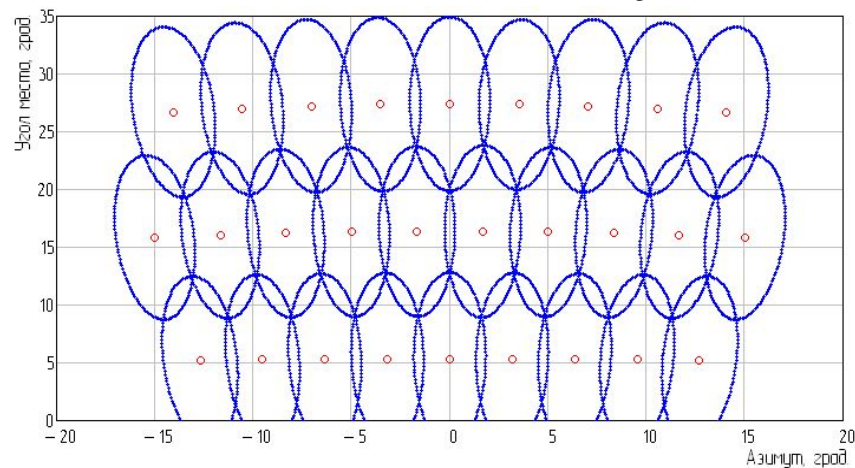
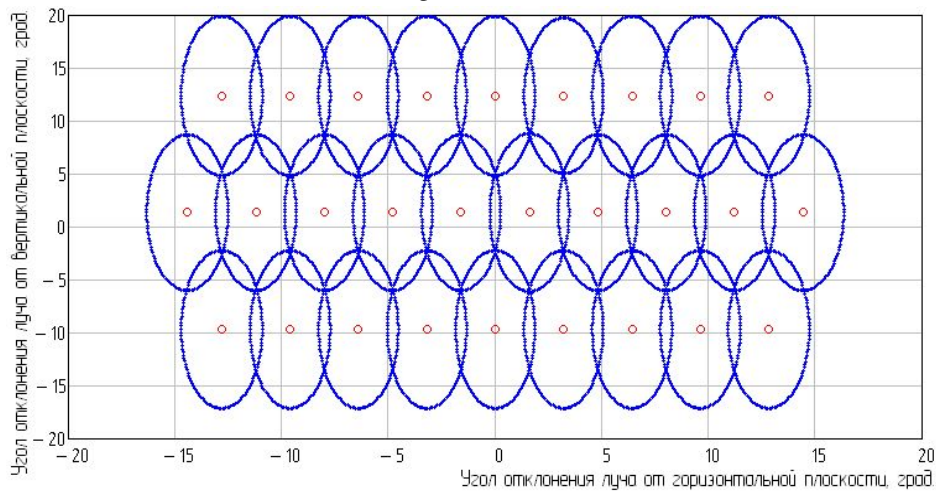
- $fy$  – угол отклонения луча от вертикальной плоскости в биконической СК;
- $fx$  – угол отклонения луча от горизонтальной плоскости в биконической СК;
- $\varepsilon_0$  – угол наклона антенного полотна в вертикальной плоскости;
- $X\alpha$  – координата по азимуту в СК азимут-угол места;
- $Y\alpha$  – координата по углу места в СК азимут-угол места;



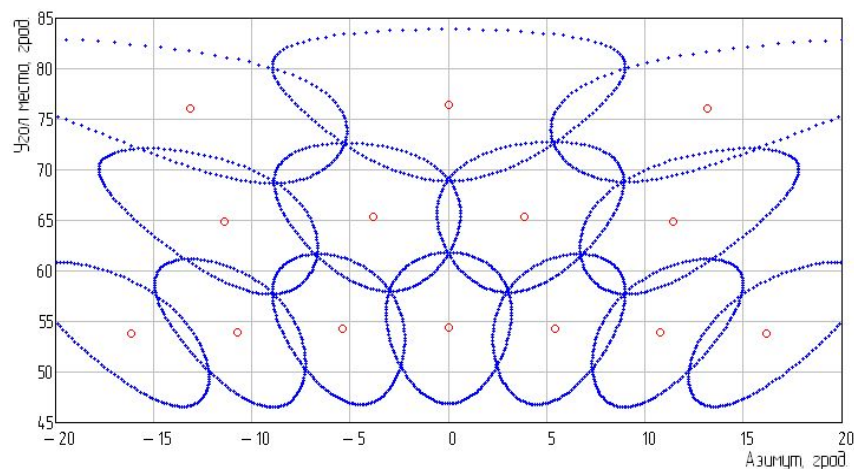
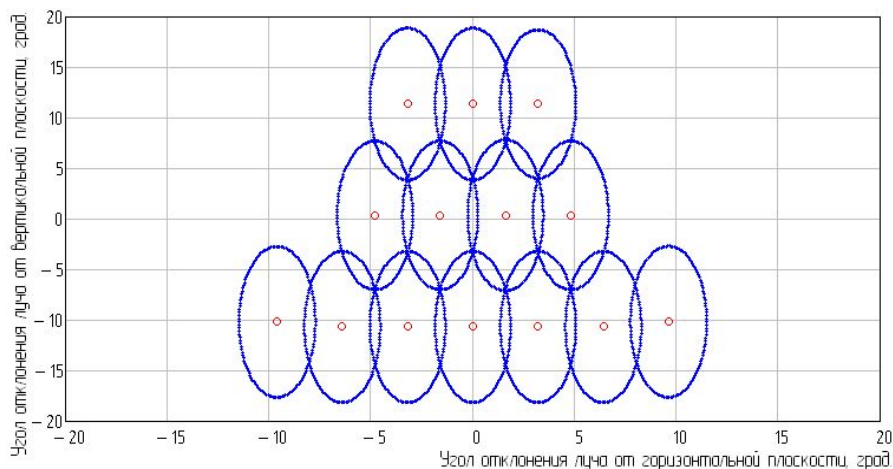




# Влияние угла места на количество лучей



Расстановка лучей в биконической СК и СК азимут-угол места для сектора  $30^\circ \times 30^\circ$  при изменении угла места от  $0^\circ$  до  $30^\circ$



Расстановка лучей в биконической СК и СК азимут-угол места для сектора  $30^\circ \times 30^\circ$  при изменении угла места от  $50^\circ$  до  $80^\circ$

# Уравнение радиолокации для секторного сканирования с помощью ФАР и АФАР

Заданы:

- сектор обзора по азимуту  $\theta_\alpha$  и углу места  $\theta_\varepsilon$ ;
- ширина ДН по азимуту  $d\alpha$  и углу места  $d\varepsilon$ ;
- требуемое время обзора сектора  $T_{\text{обз}}$ ;
- период повторения импульсов  $T_{\text{п}}$ .

Определяется количество лучей  $N_{\text{луч}}$  необходимое для заполнения сектора обзора по изложенной выше методике.

Определяется максимальное время стояния луча  $T_{\text{луч}}$  в одном угловом направлении:

$$T_{\text{луч}} = \frac{T_{\text{обз}}}{N_{\text{луч}}},$$

# Дальность действия РЛС с ФАР и АФАР

Количество импульсов  $N$ , принимаемых РЛС за время нахождения ДН в одном угловом направлении:

$$N_{имп} = \frac{T_{луч}}{T_{п}} = \frac{T_{обз}}{N_{луч} \cdot T_{п}}.$$

Подставив количество импульсов в основное уравнение радиолокации, получим следующее выражение для дальности обнаружения целей:

$$r_{макс} = \sqrt[4]{\frac{P_u \cdot \tau_u \cdot N_{имп} \cdot G \cdot \sigma \cdot A}{\nu \cdot N_0 \cdot 16\pi^2}} = \sqrt[4]{\frac{P_u \cdot \tau_u \cdot T_{обз}}{\nu \cdot N_0 \cdot T_{п} \cdot N_{луч}} \cdot \frac{G \cdot \sigma \cdot A}{16\pi^2}}.$$

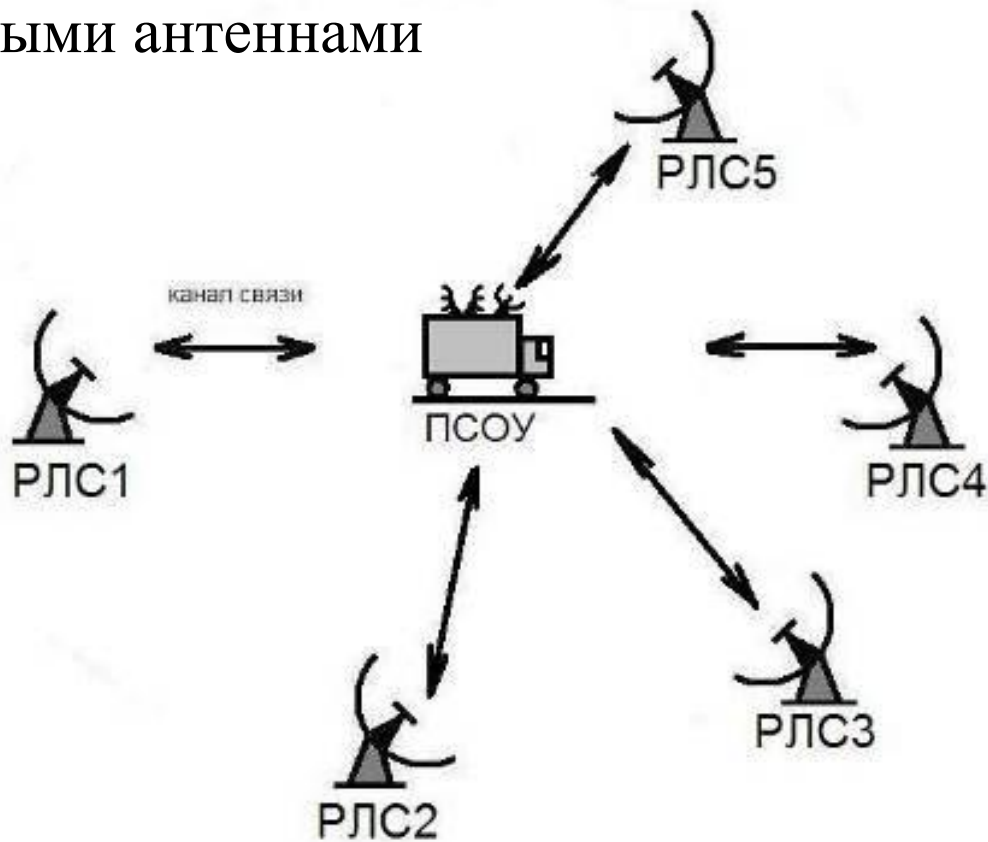
Дальность действия растет с увеличением периода обзора и уменьшением количества лучей. Следовательно, узкая ДН и большое количество лучей являются негативными факторами для режима обзора.

# Секторный обзор в многопозиционных комплексах, состоящих из РЛС с остронаправленными антеннами

# Обзор в многопозиционных комплексах

МП РЛК представляет из себя систему, состоящую из нескольких разнесенных в пространстве приемных, передающих или приемо-передающих позиций, в которых получаемая информация о целях обрабатывается совместно.

Мы рассматриваем МП РЛК, состоящий из нескольких РЛС с остронаправленными антеннами





# Уравнение радиолокации для МП РЛК

Рассмотрим МП РЛК, состоящий из двух РЛС.

Мощность, излучаемая каждой из РЛС  $P_{\text{изл}}$ ;

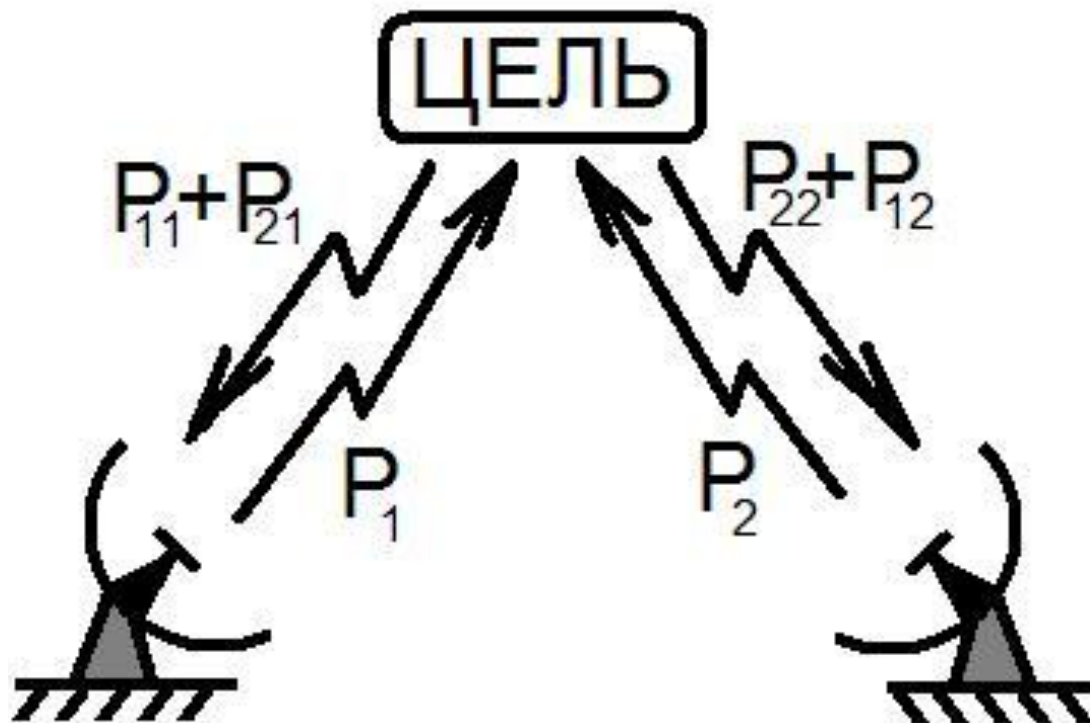
Коэффициенты усиления 1-ой и 2-ой РЛС –  $G_1$  и  $G_2$ ;

Эффективные площади раскрыва антенн –  $A_1$  и  $A_2$ ;

Длина волны  $\lambda$ ;

Расстояние до цели  $R$ ;

ЭПР цели  $\sigma$ .



# Мощность сигнала на цели для МП РЛК

Каждая из РЛС излучает зондирующий сигнал и принимает составляющие отраженного сигнала:

Первая составляющая – сигнал, отраженный от собственного излучения импульса зондирования.

Вторая составляющая – сигнал, отраженный от импульса, излученного другой РЛС.

Плотность потока мощности, падающая на цель, при зондировании 1-ой РЛС:

$$P_{\text{пад.1}} = \frac{G_1 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2}$$

Плотность потока мощности, падающая на цель, при зондировании 2-ой РЛС:

$$P_{\text{пад.2}} = \frac{G_2 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2}$$

# Принимаемая мощность в МП РЛК

Плотность потока мощности, рассеиваемая целью, вследствие зондирования 1-ой РЛС:

$$P_{\text{расс.1}} = \frac{G_1 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2}$$

Плотность потока мощности, рассеиваемая целью, вследствие зондирования 2-ой РЛС:

$$P_{\text{расс.2}} = \frac{G_2 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2}$$

Мощность, принимаемая 1-ой РЛС, вследствие собственного зондирования:

$$P_{\text{прин.11}} = \frac{G_1 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2} \cdot A_1 = \frac{G_1 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{G_1 \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

Мощность, принимаемая 1-ой РЛС, вследствие зондирования 2-ой РЛС:

$$P_{\text{прин.21}} = \frac{G_2 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2} \cdot A_2 = \frac{G_2 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{G_2 \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

# Объединение мощности принимаемых сигналов в МП РЛК

Мощность, принимаемая 2-ой РЛС, вследствие собственного зондирования:

$$P_{\text{прин.22}} = \frac{G_2 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2} \cdot A_2 = \frac{G_2 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{G_2 \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

Мощность, принимаемая 2-ой РЛС, вследствие зондирования 1-ой РЛС:

$$P_{\text{прин.12}} = \frac{G_1 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2} \cdot A_2 = \frac{G_1 \cdot P_{\text{изл}}}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R^2} \cdot \frac{G_2 \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

На выходе МП РЛК складываются напряжения сигналов, соответствующих составляющим мощности. Суммарное напряжение полезного сигнала будет равно:

$$U_{\text{пол.}\Sigma} = \sqrt{P_{\text{прин.11}}} + \sqrt{P_{\text{прин.21}}} + \sqrt{P_{\text{прин.12}}} + \sqrt{P_{\text{прин.22}}}$$

# МП РЛК состоящее из одинаковых РЛС

Если РЛС одинаковые, то  $G_1=G_2=G$  и получим следующее выражение:

$$q_{МПРЛК} = \frac{P_{изл} \cdot \sigma \cdot \lambda^2 \cdot 16 \cdot G^2}{4\pi \cdot (4\pi \cdot R^2)^2 \cdot 4 \cdot P_{ин}} = 4 \cdot q_1$$

$$q_1 = \frac{P_{изл} \cdot \sigma \cdot \lambda^2 \cdot G^2}{4\pi \cdot (4\pi \cdot R^2)^2 \cdot P_{ин}}$$

Для МП РЛК, состоящего из  $M$  РЛС:

$$q_{МПРЛК} = q_1 \cdot M^2$$

При расчетах можно использовать основное уравнение радиолокации подставив следующие параметры:

$$P_{\Sigma} = M \cdot P_{изл} \quad G_{\Sigma} = \sqrt{M} \cdot G$$

где  $P_{изл}$  и  $G$  – излучаемая мощность и коэффициент усиления одной РЛС соответственно.

# Улучшение отношения сигнал/шум для МП РЛК

Подставляя полученные ранее выражения для мощности получим:

$$U_{пол.Σ} = \sqrt{\frac{P_{изл} \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{4\pi \cdot (4\pi \cdot R^2)^2} \cdot (G_1 + 2 \cdot \sqrt{G_1 \cdot G_2} + G_2)} = \sqrt{\frac{P_{изл} \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{4\pi \cdot (4\pi \cdot R^2)^2} \cdot (\sqrt{G_1} + \sqrt{G_2})^2}$$

Если  $P_{ш}$  – напряжение шума на выходе приемного канала каждой РЛС, то при приеме 4-х составляющих сигнала, суммарное напряжение шума на выходе МП РЛК составит:

$$U_{ш.Σ} = \sqrt{4 \cdot P_{ш}}$$

Тогда отношение сигнал/шум на выходе МП РЛК, состоящего из 2-х РЛС составит:

$$q_{МПРЛК} = \left( \frac{U_{пол.Σ}}{U_{ш.Σ}} \right)^2 = \frac{P_{изл} \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{4\pi \cdot (4\pi \cdot R^2)^2 \cdot 4 \cdot P_{ш}} \cdot (\sqrt{G_1} + \sqrt{G_2})^4$$

# Обзор в МП РЛК со сканирующими АС

При переходе к многопозиционной радиолокации возникают условия, при которых область, засвечиваемая всеми РЛС, оказывается ограниченной по дальности и не соответствует ширине ДН одиночной РЛС.



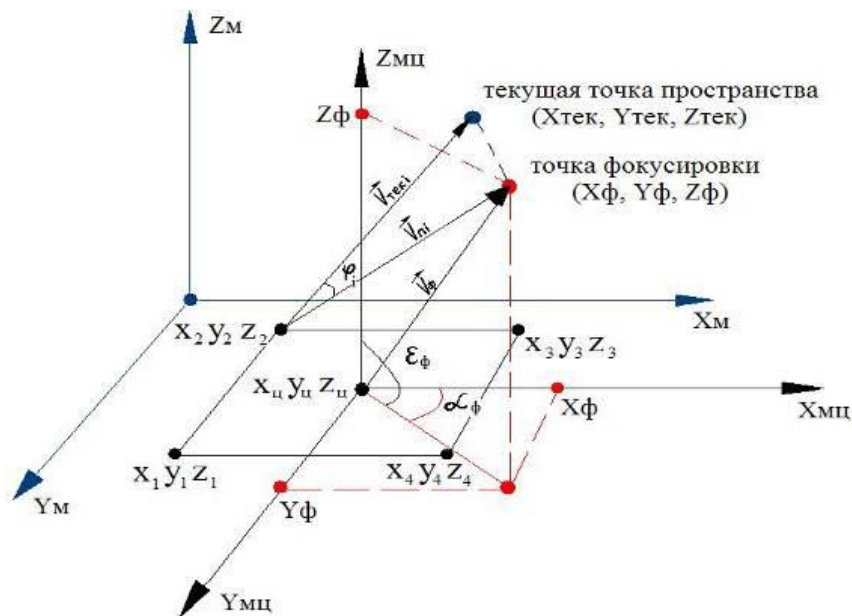
Вводится энергетический элемент объема МП РЛК, представляющего собой область пространства, в пределах которой суммарные потери энергии, возникающие в этой области из-за отклонения от осей диаграммы направленности каждого из радиолокаторов, входящих в состав комплекса, не превышает уровня -3 дБ.

# Элемент объема в МП РЛК

На форму энергетического элемента объема влияют:

- величина базы комплекса  $L$ ;
- число позиций в комплексе и их расположение;
- угловое направление, для которого рассчитывается элемент;
- координаты точки фокусировки по дальности.

Точка фокусировки по дальности это точка, в которой пересекаются оси диаграмм направленности РЛС с учетом их текущего положения, условно это центр элемента объема.





# Расчет элемента объема в МП РЛК

Координаты центра системы

$$X_{ц} = \sum_{i=1}^N \frac{x_{noz i}}{N} [M], Y_{ц} = \sum_{i=1}^N \frac{y_{noz i}}{N} [M], Z_{ц} = \sum_{i=1}^N \frac{z_{noz i}}{N} [M]$$

$X_{поз i}$  [M],  $Y_{поз i}$  [M],  $Z_{поз i}$  [M], - координаты позиции  $i$ -ой РЛС;

Координаты точки фокусировки МП РЛК:

$$X_{\phi} = R_{\phi} \cdot \cos\left(\alpha_{\phi} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \cos\left(\varepsilon_{\phi} \cdot \frac{\pi}{180}\right),$$

$$Y_{\phi} = R_{\phi} \cdot \sin\left(\alpha_{\phi} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \cos\left(\varepsilon_{\phi} \cdot \frac{\pi}{180}\right),$$

$$Z_{\phi} = R_{\phi} \cdot \sin\left(\varepsilon_{\phi} \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$R_{\phi}$  [M],  $\alpha_{\phi}$  [град],  $\varepsilon_{\phi}$  [град], - дальность, азимут и угол места (т.е. координаты) точки фокусировки МП РЛК в местной сферической СК, относительно центра позиции

# Расчет элемента объема в МП РЛК

Обозначим ширину ДН антенн РЛС как  $d\varphi_i$ ,  $d\theta_i$  по азимуту и углу места по уровню -3 дБ каждой из РЛС, входящих в состав МП РЛК; Вектор , соединяющий центр позиций с точкой фокусировки будет иметь вид:

$$\vec{V}_\phi = \{X_\phi - X_\psi, Y_\phi - Y_\psi, Z_\phi - Z_\psi\}$$

При смещении из точки фокусировки получаем точку с текущими координатами  $(X_{\text{тек}}, Y_{\text{тек}}, Z_{\text{тек}})$ , вектора, соединяющие положения позиций РЛС с текущей точкой будут:

$$\vec{V}_{\text{тек}.i} = \{X_{\text{тек}.} - x_{\text{поз}.i}, Y_{\text{тек}.} - y_{\text{поз}.i}, Z_{\text{тек}.} - z_{\text{поз}.i}\}$$

Вектора, соединяющие положения позиций РЛС с с точкой фокусировки будут:

$$\vec{V}_{\Pi_i} = \{X_\phi - x_{\text{поз}.i}, Y_\phi - y_{\text{поз}.i}, Z_\phi - z_{\text{поз}.i}\}$$

# Расчет элемента объема в МП РЛК

Положим, что ДН имеет одинаковую ширину по азимуту и углу места для всех позиций  $d\varphi_i = d\theta_i = d\varphi = d\theta = \text{const}$ . Тогда потери, за счет отклонения от точки фокусировки определяются выражением:

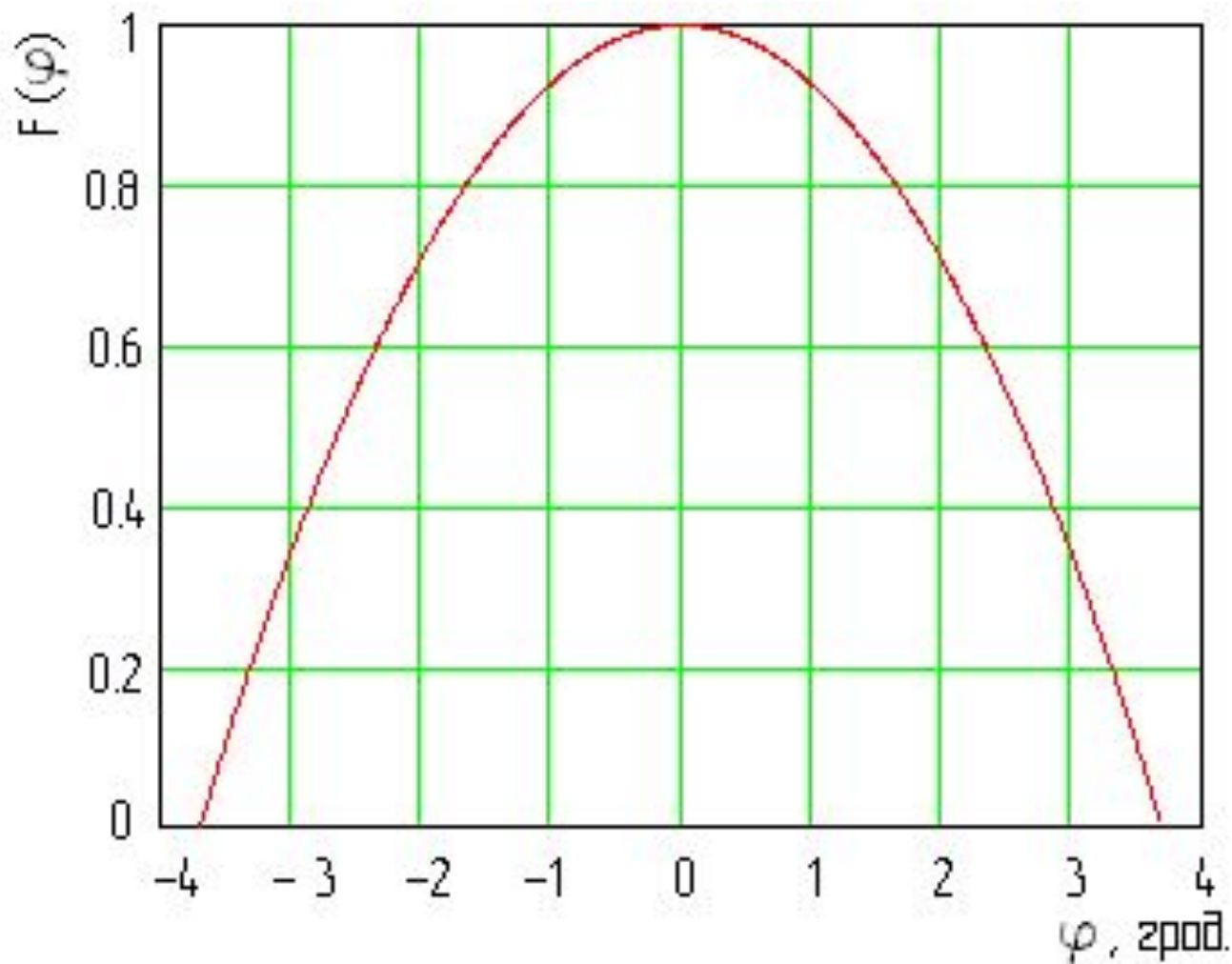
$$P_{\Sigma} = 20 \cdot \log \left( \frac{\sum_i F(\varphi_i)}{N} \right)$$

где  $N$  – число РЛС;

$F(\varphi_i)$  – функция, определяющая потери при отклонении от центра осесимметричной равноширинной ДН на заданный угол  $\varphi_i$ :

$$F(\phi) = \begin{cases} \frac{-4 \cdot \phi^2 \cdot (1 - 0,707)}{d\varphi^2} + 1, & \text{если } |\phi| < \frac{d\varphi}{2 \cdot \sqrt{1 - 0,707}} \\ 0, & \text{если } |\phi| > \frac{d\varphi}{2 \cdot \sqrt{1 - 0,707}} \end{cases}$$

# ДН остронаправленной АС в МП РЛК



$F(\varphi)$  для ДН шириной 4 градуса

# Границы элемента энергетического объема

Углы  $\phi_i$  будут характеризовать отклонения от осей ДН каждой РЛС при смещении из точки фокусировки:

$$\phi_i = \arccos \left( \frac{\vec{V}_{\Pi_i} \cdot \vec{V}_{\text{тек}_i}}{|\vec{V}_{\Pi_i}| \cdot |\vec{V}_{\text{тек}_i}|} \right),$$

где:

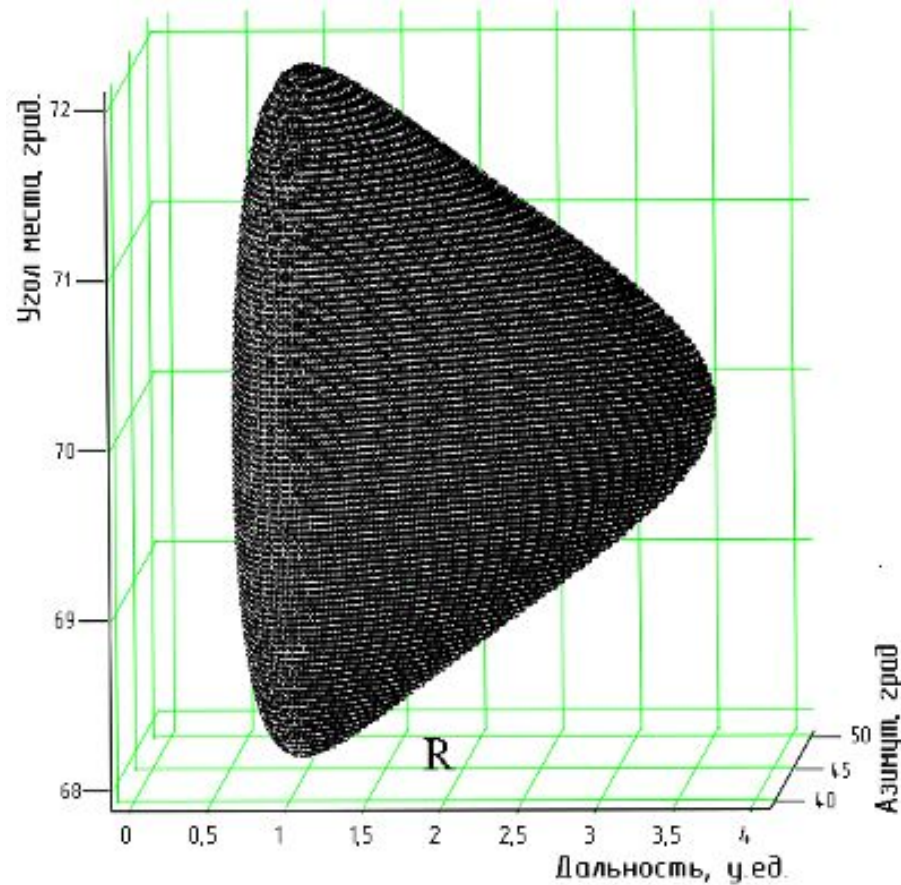
$$\vec{V}_{\Pi_i} \cdot \vec{V}_{\text{тек}_i} = (x_{\text{ф}} - y_{\text{поз}_i}) \cdot (x_{\text{тек}_i} - y_{\text{поз}_i}) + (y_{\text{ф}} - z_{\text{поз}_i}) \cdot (y_{\text{тек}_i} - z_{\text{поз}_i}) + (z_{\text{ф}} - \text{поз}_i) \cdot (\text{тек}_i - \text{поз}_i)$$

$$|\vec{V}_{\Pi_i}| = \sqrt{(x_{\text{ф}} - y_{\text{поз}_i})^2 + (z_{\text{ф}} - z_{\text{поз}_i})^2 + (\text{ф} - \text{поз}_i)^2}$$

$$|\vec{V}_{\text{тек}_i}| = \sqrt{(x_{\text{тек}_i} - y_{\text{поз}_i})^2 + (z_{\text{тек}_i} - z_{\text{поз}_i})^2 + (\text{тек}_i - \text{поз}_i)^2}$$

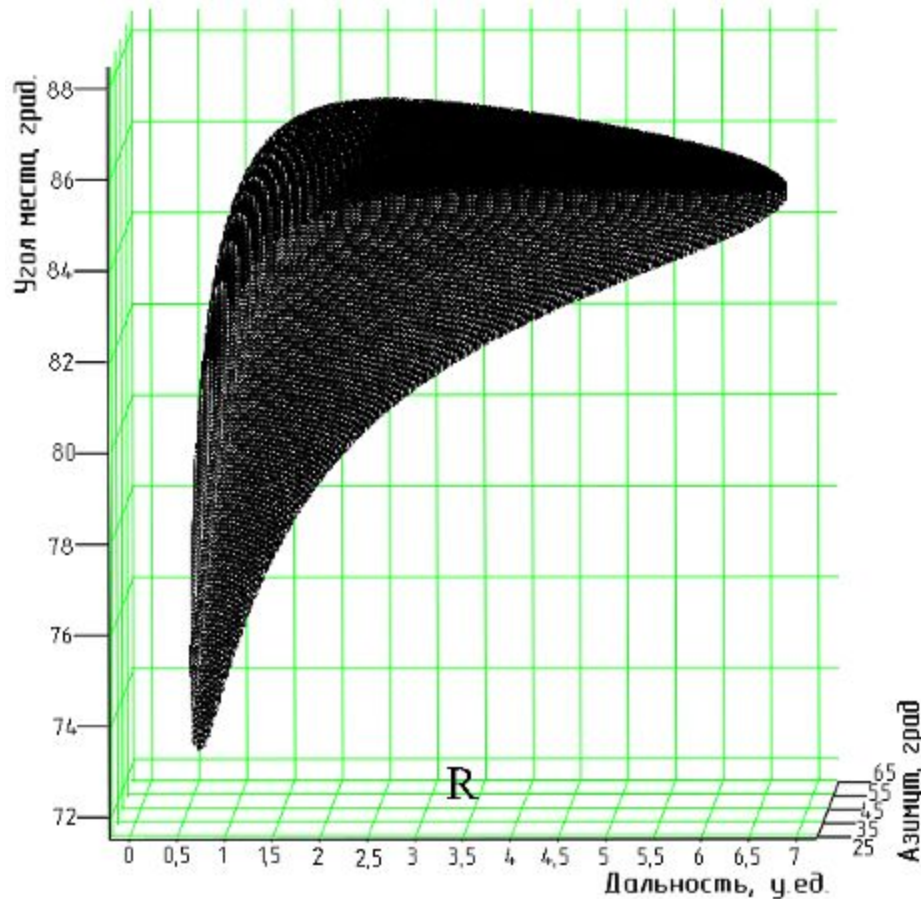
Если суммарные потери  $R_{\Sigma}$  оказываются равными -3 дБ, то рассматриваемая точка принадлежит границе элемента энергетического объема.

# Энергетический элемента объема



Ширина ДН  $4^\circ$  в обеих плоскостях, расстояние до точки фокусировки принимается за условную единицу. Азимут точки фокусировки  $45^\circ$ , угол места -  $70^\circ$ . МП РЛК состоит из 4-х позиций, база – 20 км.

# Энергетический элемента объема



Вид энергетического элемента объема в сферической СК. Ширина ДН  $4^{\circ} \times 15^{\circ}$ . Расстояние до точки фокусировки принимается за условную единицу. Азимут точки фокусировки  $45^{\circ}$ , угол места -  $70^{\circ}$ . МП РЛК состоит из 4-х позиций, база – 20 км.

# Особенности обзора В МП РЛК

Расчет режима обзора МП РЛК можно свести к расчету секторного обзора для одиночной РЛС на базе ФАР, если величина базы комплекса  $L$  выбрана так, что:

- для каждого углового направления есть только 1 энергетический элемент объема и его длина по дальности соответствует требуемой инструментальной дальности комплекса;
- ширина энергетического элемента обзора не отличается более чем на 10% от ширины одиночной РЛС.



# Обзор в РЛС с синтезированной апертурой антенны

# Обзора в РЛС РСА

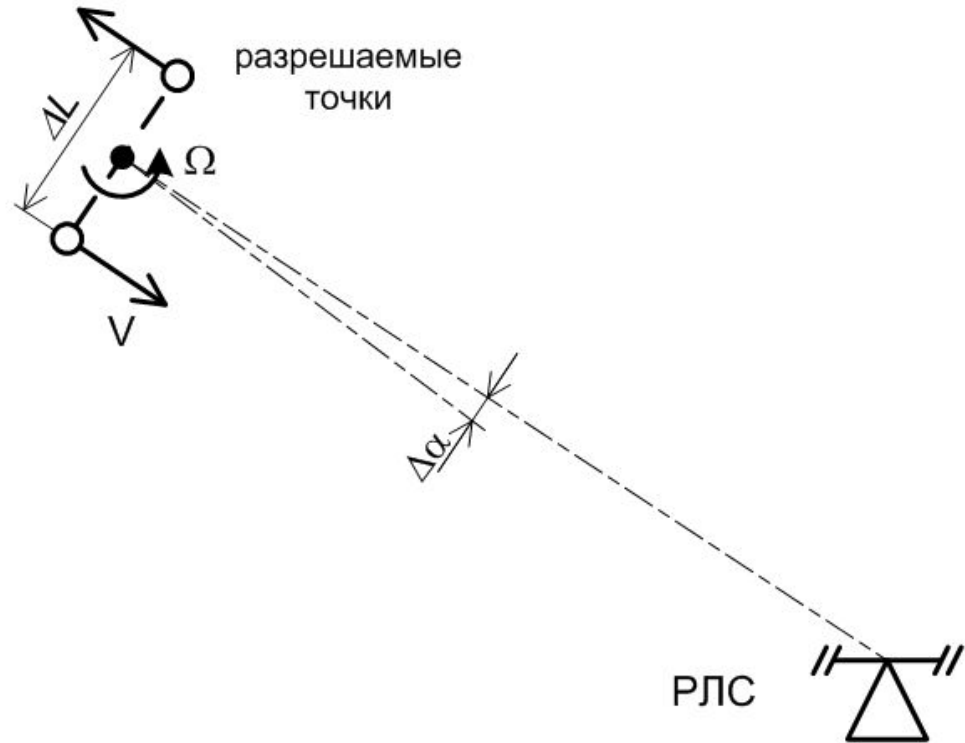
Рассмотрим объект, который совершает только вращательное движение с постоянной скоростью относительно РЛС.

Каждая точка этого объекта будет иметь свою радиальную скорость относительно РЛС, следовательно каждую из них можно выделить по доплеровской частоте.

Расстояние между двумя точками, которые РЛС будет видеть отдельно будет определяться выражением:

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2 \cdot \Delta \alpha}$$

где  $\Delta \alpha$  – угол изменения ракурса цели относительно РЛС



# Радиолокационный синтез апертуры

Получение радиолокационного изображения объекта или поверхности за счет изменения его ракурса относительно РЛС называют синтезом апертуры.

Чем больше изменение ракурса цели, тем меньшее тангенциальное расстояние между 2-мя точками можно разрешить.

Существует два основных типа синтеза апертуры.

- когда РЛС движется относительно цели, называется прямым синтезом апертуры;
- когда цель движется относительно покоящейся РЛС, называется инверсным синтезом апертуры.

# Прямой синтез апертуры

Применяется в задачах дистанционного зондирования Земли, РЛС размещается на самолете или спутнике.

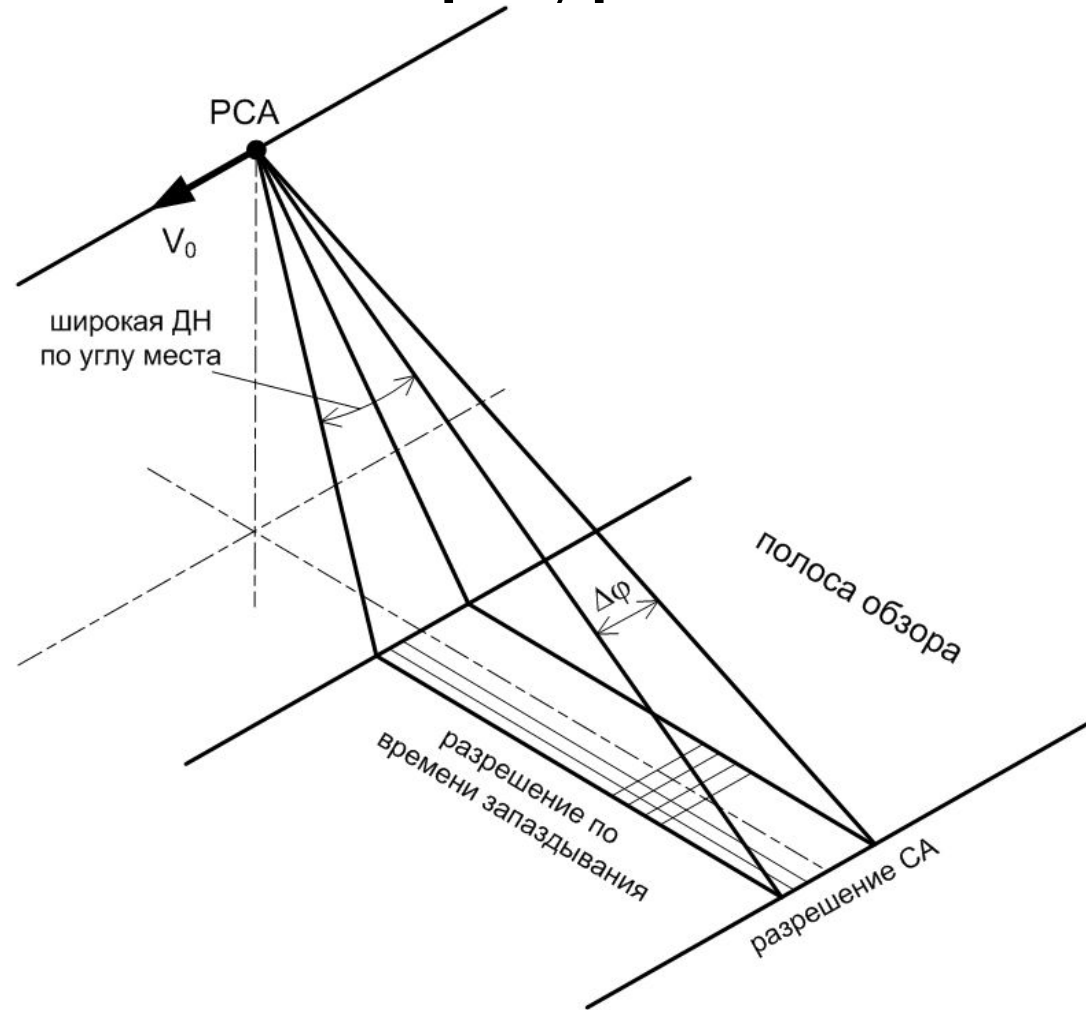
Узкий луч по азимуту, широкий луча по углу места.

Разрешение по азимуту за счет синтеза апертуры.

Разрешение по углу места за счет разрешения по времени запаздывания.

Обработка в простейшем случае сводится к компенсации движения и выполнению преобразования Фурье.

Для калибровки полученных данных требуется знание движения РЛС.



# Параметры прямого синтеза апертуры

Чувствительность РСА – это такая удельная ЭПР фона местности, который создает на выходе приемника мощность, численно равную мощности шумов приемника.

Чем выше чувствительность, тем более контрастное изображение поверхности можно получить.

Частота следования импульсов должна выбираться из условия:

$$F_{\Pi} > \frac{2}{\lambda} \cdot V_0 \cdot \Delta\varphi$$

где  $V_0$  – скорость РЛС,  $\Delta\varphi$  – ширина ДН по азимуту.

Данное условие может быть особенно трудно выполнимым для РСА космического базирования.

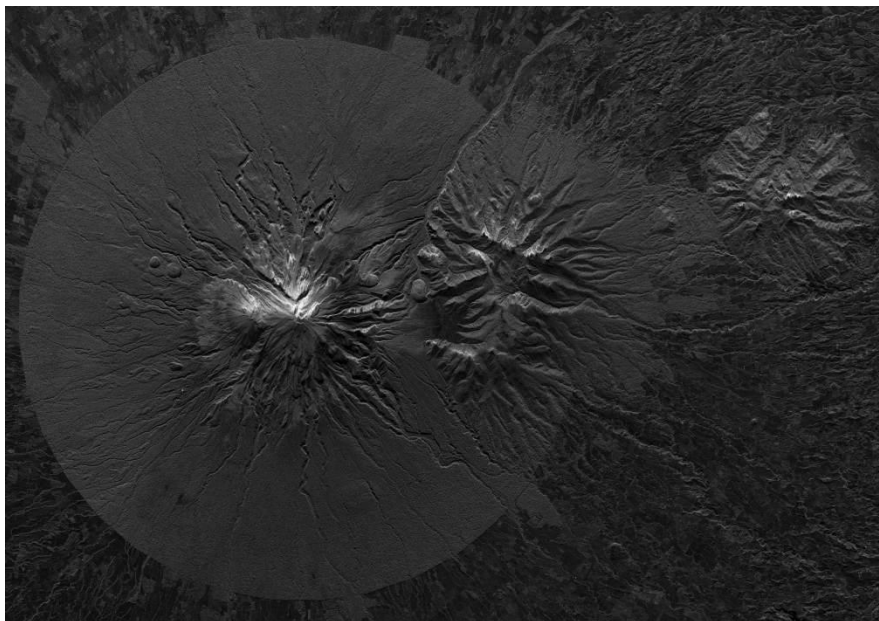
# Снимки TERRASAR-X



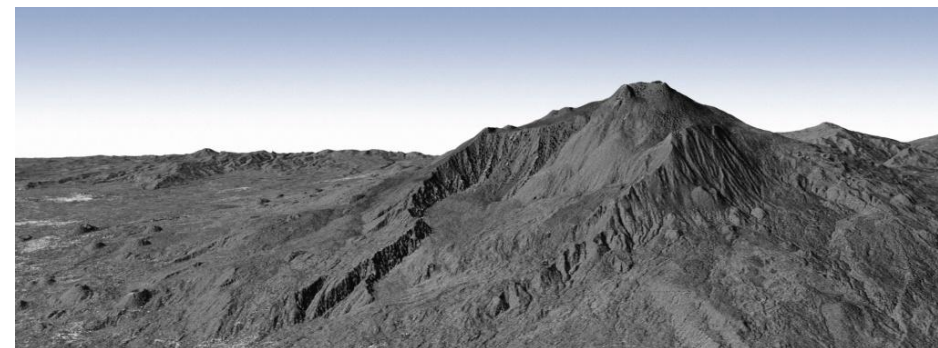
Пирамиды Гизы, ПР с разрешением 1 м



Структура Ришат, СС с разрешением 16 м



Гора Эгмонт, МР с разрешением 3 м



Вулкан Этна, трехмерная модель

# Инверсный синтез апертуры

Необходимый фактор для реализации синтеза – изменение ракурса цели относительно РЛС.

Для получения разрешения 2 м в диапазоне 3 см, достаточно изменения ракурса на  $0,5^\circ$ .

Необходима компенсация движения цели. Цель должна наблюдаться приемлемое время, а ее движение аппроксимировано какой-либо моделью.

В обзорных РЛС синтез апертуры применяется редко, за счет низкой точности сопровождения, иногда синтез применяют в РЛС наведения для распознавания целей.

