

УДК 623 4 028

ГЕОМЕТРИЯ СИНТЕЗИРОВАНИЯ АПЕРТУРЫ ПРИ ПЕРЕДНЕ-БОКОВОМ ОБЗОРЕ ОБЪЕКТА, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ПОВЕРХНОСТИ

И. В. Симановский,

канд. техн. наук, зам. генерального директора

Е. А. Войнов,

канд. техн. наук, зам. директора научно-производственного комплекса
Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ "Гранит"»

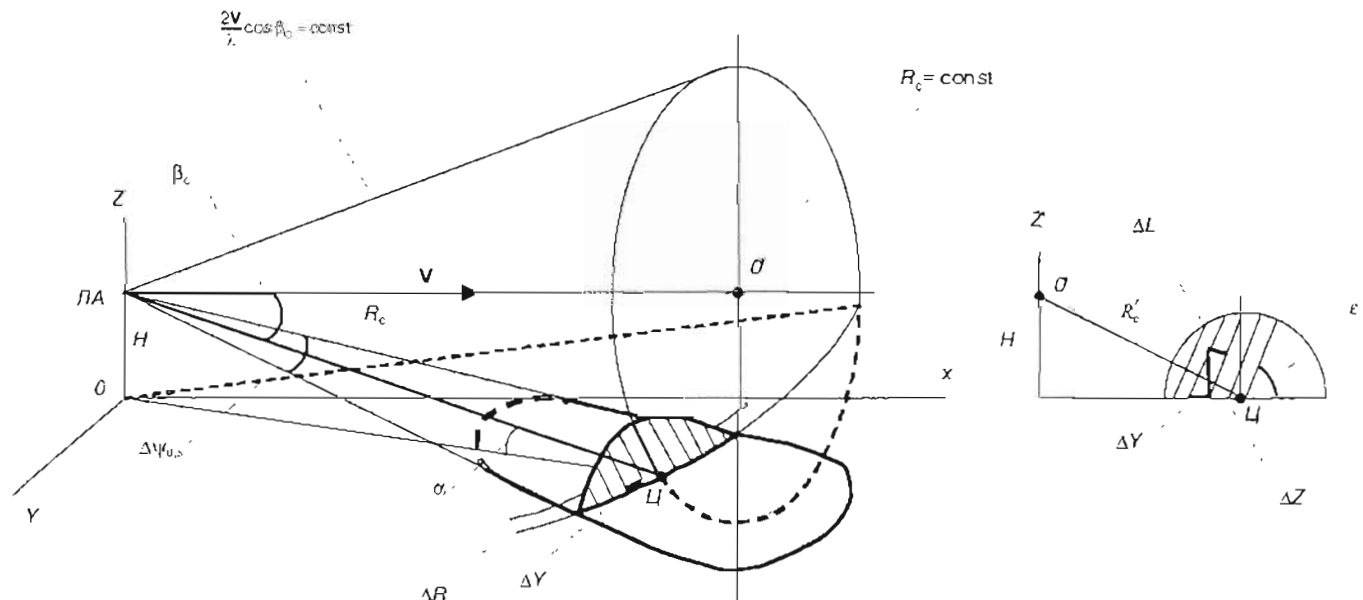
Приведены геометрические соотношения синтезирования при передне-боковом обзоре объекта, расположенного на поверхности, определяющие разрешение РЛС ЛА в горизонтальной, вертикальной и наклонной плоскостях, а также при сближении ЛА с объектом по траектории, обеспечивающей синтезирование.

Geometrical correlations of synthesizing on forward and side surveillance of a surface marking object that determine the resolution of the aircraft's radar station in horizontal, vertical and oblique planes are listed in the article as well as correlations of synthesizing when the aircraft is approaching the object along the trajectory ensuring synthesizing.

Синтезирование апертуры при передне-боковом обзоре объекта, расположенного на поверхности, имеет свои геометрические особенности.

На рис. 1 представлена пространственная схема синтезирования объекта с летательного аппарата (ЛА), движущегося со скоростью V ($V \parallel OX$) на высоте

H в плоскости ZOX , при этом луч антенны РЛС игольчатой формы с размером $\Delta\psi_{0,5}$ направлен на объект, расположенный на плоскости YOX , под углом синтезирования β_c и углом визирования объекта α на дальности синтезирования R_c .



■ Рис. 1. Схема синтезирования апертуры при передне-боковом обзоре объекта

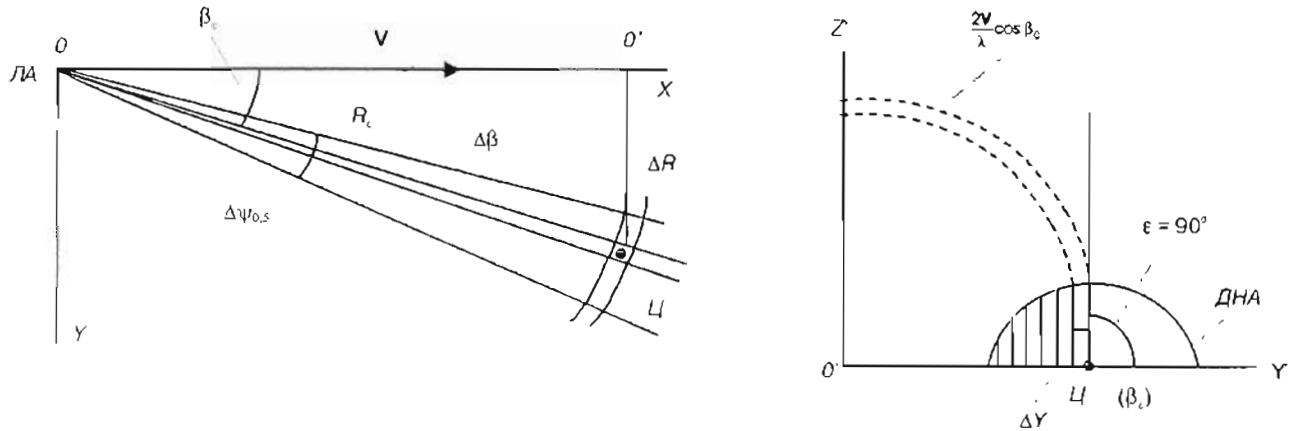


Рис. 2. Схема синтезирования апертуры в горизонтальной плоскости

Поверхность равных доплеровских частот представляет собой конус с уравнением $\frac{2V}{\lambda} \times \cos \beta_c = \text{const}$ (где λ – длина волны излучения РЛС) и осью симметрии, совпадающей с вектором скорости ЛА V . Конус пересекает объект на плоскости YOX , попадающую в луч антенны РЛС, создавая эффект углового разрешения по доплеровским частотам с линейным разрешением ΔL (ΔY – проекция на горизонтальную плоскость; ΔZ – проекция на вертикальную плоскость) на дальности до объекта R_c . Поверхность равных дальностей R_c – шар с радиусом $R_c = \text{const}$ – пересекает конус по линии равных доплеровских частот с разрешением РЛС по дальности ΔR .

Однозначность объекта по доплеровским частотам обеспечивается в пределах направленного на объект луча антенны.

Рассмотрим последовательно геометрию синтезирования апертуры в горизонтальной, вертикальной и наклонной плоскостях.

Схема синтезирования в горизонтальной плоскости (рис. 2) соответствует условиям, когда высота ЛА и угол визирования объекта α стремятся к нулю, а луч антенны располагается на плоскости YOX . Угловое разрешение $\Delta \beta$ и соответствующее ему линейное разрешение ΔL (ΔY) зависят от дальности синтезирования объекта R_c . Известно [1], что для

передне-бокового нефокусированного обзора эти величины составляют $\Delta \beta = \sqrt{\frac{\lambda}{R_c}}$ и $\Delta L = \sqrt{\lambda \times R_c}$ соответственно.

Значение угла синтезирования β_c учитывается в предельном значении времени когерентной обработки:

$$t_k = \frac{\sqrt{\lambda R_c}}{2V \sin \beta_c} \quad (1)$$

Линии углового разрешения пересекают горизонтальную поверхность, на которой расположен объект ζ , под углом ϵ , являющимся углом между касательной к линии разрешения (линия равных доплеровских частот) в точке ζ и горизонтальной плоскостью. Этот угол при синтезировании в горизонтальной плоскости равен 90° , а $\Delta \beta$ и ΔY характеризуют угловое и линейное разрешение РЛС также в горизонтальной плоскости. Разрешение в вертикальной плоскости определяется размером луча антенны $\Delta X_{0.5}$ с учетом уровня его пересечения с горизонтальной плоскостью.

При синтезировании в вертикальной плоскости (рис. 3), когда ось луча антенны РЛС находится в вертикальной плоскости ZOX , объект облучается с высоты ЛА H под углом визирования α , равным углу синтезирования β_c , т. е. $\alpha = \beta_c$. В этом случае угол ϵ

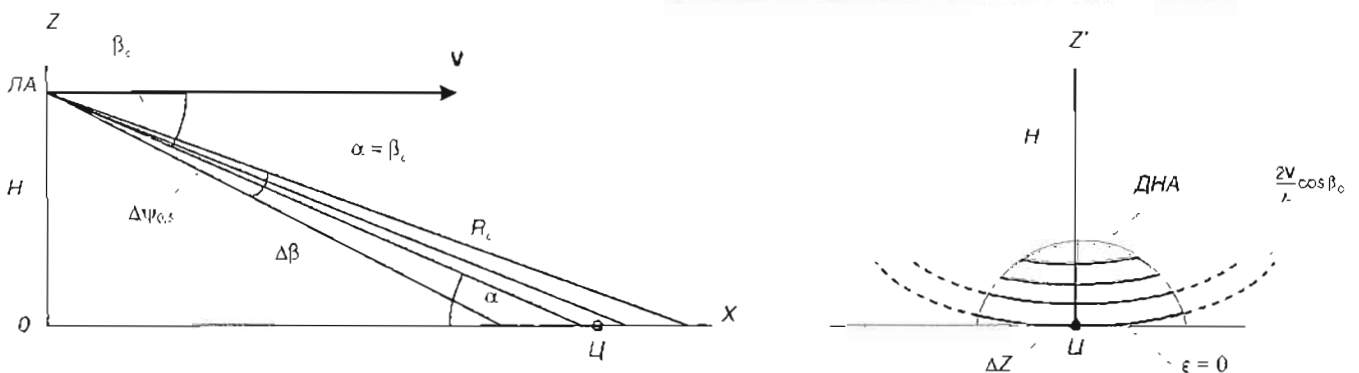
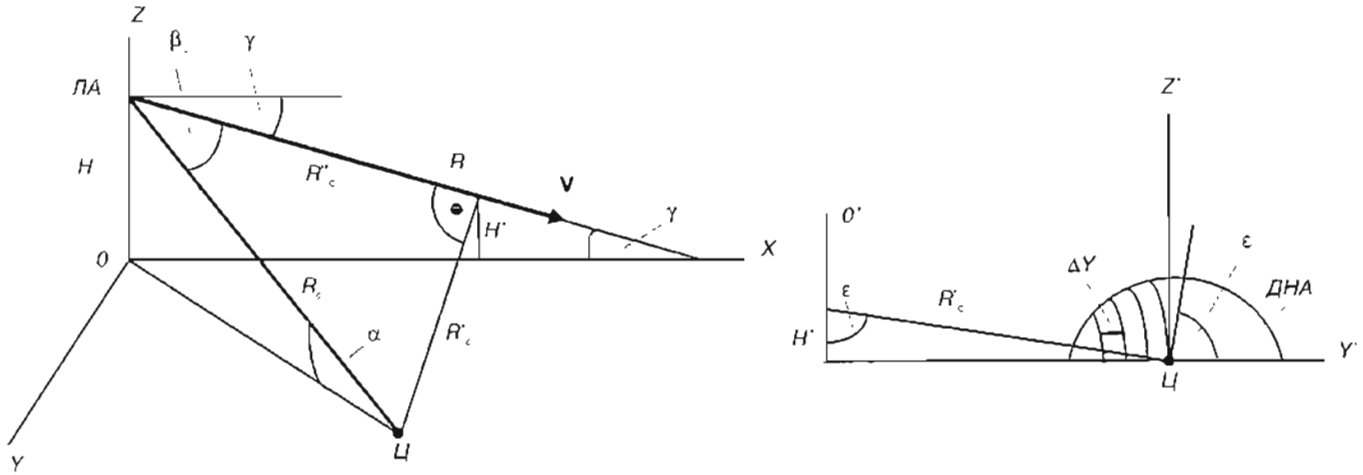


Рис. 3. Схема синтезирования апертуры в вертикальной плоскости



■ Рис. 4. Схема синтезирования апертуры при негоризонтальном направлении вектора скорости \vec{V}

равен нулю, так как линии разрешения параллельны горизонтальной плоскости, а угловое и линейное разрешения $\Delta\beta$ и ΔZ на дальности R_c осуществляются в вертикальной плоскости в пределах луча $\Delta\Psi_{0,5}$, разрешение же в горизонтальной плоскости определяется размером луча $\Delta\Psi_{0,5}$. Это обстоятельство создает предпосылки для разрешения отдельных элементов объекта по высоте на фоне поверхности, что очень важно для решения задачи высокоточного наведения оружия.

При синтезировании в наклонной плоскости (см. рис. 1) угол наклона линий разрешения к горизонтальной плоскости определяется из очевидных геометрических соотношений.

$$H = R_c \sin \alpha = R'_c \cos \epsilon = R \sin \beta_c \cos \epsilon$$

и равен

$$\epsilon = \arccos \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_c} \right) \quad (2)$$

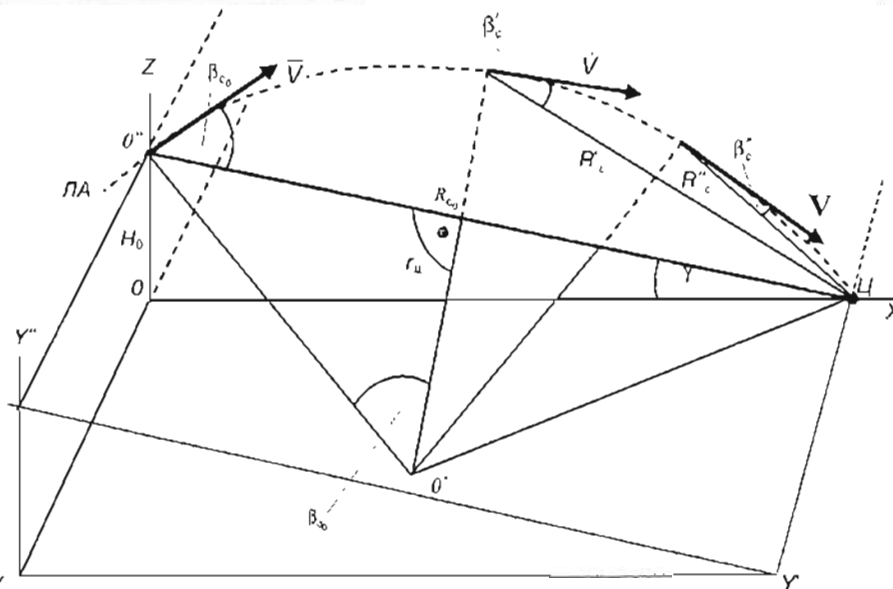
При этом линейные разрешения в горизонтальной и вертикальной плоскостях составляют:

$$\Delta Y = \frac{\Delta L}{\sin \epsilon}; \quad \Delta Z = \frac{\Delta L}{\cos \epsilon} \quad (3)$$

В общем случае передне-бокового обзора, когда вектор скорости ЛА \vec{V} не параллелен горизонтальной плоскости (рис. 4), а находится под углом γ к ней, угол наклона линии разрешения к горизонту ϵ определяется из следующих соотношений:

$$\frac{H}{H'} = \frac{R}{R - R'_c} = \frac{R_c \sin \alpha}{R_c \sin \beta_c \cos \epsilon} = \frac{R_c \sin \alpha}{R_c \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} - \cos \beta_c \right) \sin \gamma};$$

$$\epsilon = \arccos \left(\frac{\sin \alpha - \cos \beta_c \sin \gamma}{\sin \beta_c} \right) \quad (4)$$



■ Рис. 5. Схема синтезирования апертуры при сближении ЛА с объектом

а линейные разрешения в горизонтальной и вертикальной плоскостях составляют: $\Delta Y = \frac{\Delta L}{\sin \epsilon}$ и

$$\Delta Z = \frac{\Delta L}{\sin \epsilon} \text{ соответственно}$$

Представляет интерес процесс синтезирования при сближении ЛА с объектом, характеризующийся последовательным уменьшением угла синтезирования β_c . На рис. 5 представлен такой случай, когда траектория ЛА (штриховая линия на рисунке) находится в плоскости $O''Y''Z''$, пересекающей горизонтальную плоскость YOX под углом γ . Траектория ЛА $O''C$ представляет собой часть окружности с радиусом циркуляции ЛА r_u с центром O' на плоскости $O''Y''Z''$, определяемой допустимыми перегрузками летательного аппарата. В каждой точке траектории вектор скорости ЛА \mathbf{V} расположен по касательной к

траектории, а угол синтезирования $\beta_c = \arcsin \frac{R_c}{2r_u}$ уменьшается при постоянном радиусе циркуляции $r_u - \beta_{c0} > \beta_c' > \beta_c'' \dots$

Тогда при предельном постоянном времени когерентной обработки $t_k(1)$, выбранном для точки O'' ,

$$t_k = \frac{\sqrt{\lambda R_{c0}}}{2V \sin \beta_{c0}} \quad (5)$$

угловое разрешение $\Delta\beta$ в любой точке траектории $O''C$ составит:

$$\Delta\beta = \frac{\lambda R_{c_i}}{2V t_k \sin \beta_{c_i}} \quad (6)$$

а так как $\sin \beta_{c_i} = \frac{R_{c_i}}{2r_u}$, то линейное разрешение $\Delta L = \Delta\beta \cdot R_{c_i}$ будет равно

$$\Delta L = \frac{\lambda r_u}{V t_k} \quad (7)$$

т. е. не будет зависеть от дальности до объекта R_{c_i} .

Приведенные геометрические соотношения могут быть использованы при разработке алгоритмов синтезирования апертуры.

Литература

1. Толстов Е. Ф., Шаповалов А. В. Разрешающая способность РЛС с синтезированной апертурой антенны при произвольном угле наблюдения // Радиотехника, 1983. – № 3. – С. 3–18.