

АВТОНОМНЫЕ ДОПЛЕРОВСКИЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ДОПЛЕРОВСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЕКТОРА
СКОРОСТИ И УГЛА СНОСА (ДИСС)
ЛЕКЦИЯ

УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Наземные радиоэлектронные системы	
Трассовые РЛС	
Аэродромные РЛС	
Посадочные РЛС	
Вторичные РЛС	
Метео-навигационные РЛС	
Дальней навигации РЛС	
Обзора летного поля РЛС	
РСБН	
И т.д.	

Бортовые радиоэлектронные устройство	
ДИСС	
РВ	
Дальней навигации РЛС	
РСБН	
Корреляционно-экстремальная навигационная система	
РСА	
Радиокомпас	
И т.д.	

- Под системой счисления пути (ССП) понимается система, предназначенная для определения местоположения ЛА по результатам интегрирования составляющих вектора скорости ЛА, измеряемых с помощью бортовых датчиков. Датчиками радиотехнических ССП служат доплеровские измерители скорости и угла сноса (ДИСС).
- Продольная, поперечная и вертикальная составляющие вектора скорости ЛА путем интегрирования измеряемых специальными приборами (акселерометрами) ускорений ЛА по соответствующим направлениям.
- Особенностью всех ССП является ухудшение точности определения местоположения со временем, причина которой заключается в накоплении (интегрировании) погрешностей датчика скорости.

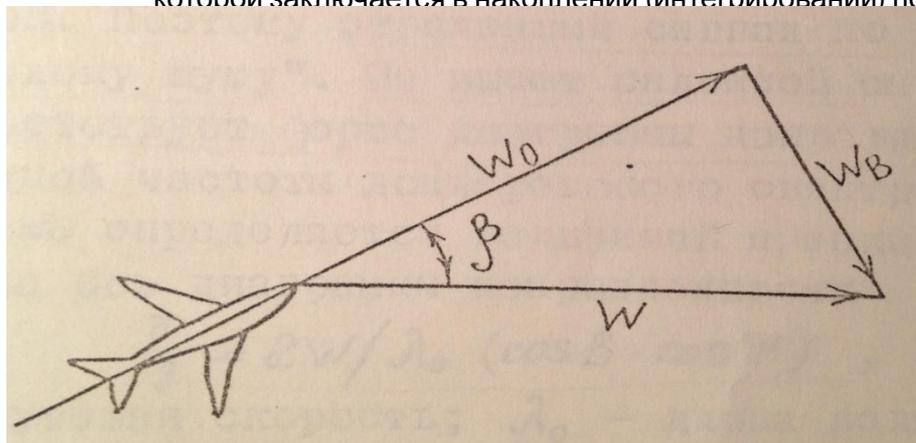


Рис. 1

Путевая скорость \vec{W} складывается из двух составляющих: воздушной скорости \vec{W}_0 , т.е. скорости движения летательного аппарата относительно воздушной среды, и скорости ветра \vec{W}_B , т.е. скорости движения воздушной среды относительно земли. Направление вектора воздушной скорости практически совпадает с направлением оси летательного аппарата. Векторы $\vec{W}, \vec{W}_0, \vec{W}_B$ образуют так называемый навигационный треугольник

АВТОНОМНЫЕ ДОПЛЕРОВСКИЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ:

- Для измерения путевой скорости, угла сноса и составляющих вектора скорости летательных аппаратов (ЛА);
- Для определения координат их местоположения и автоматического управления полетом;
- Для измерения скорости ветра;

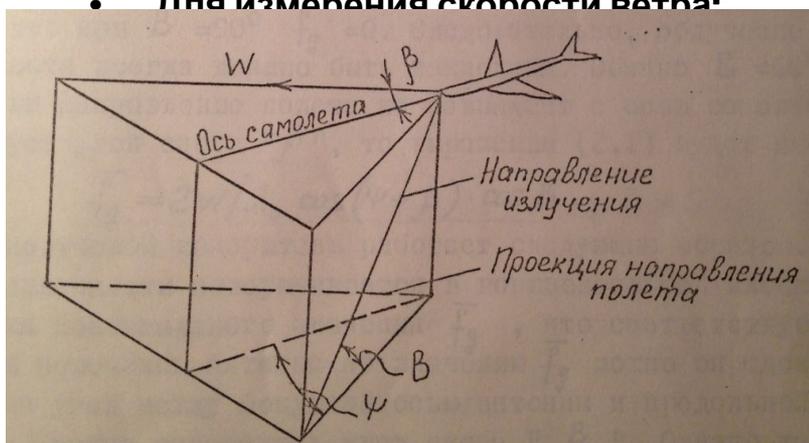
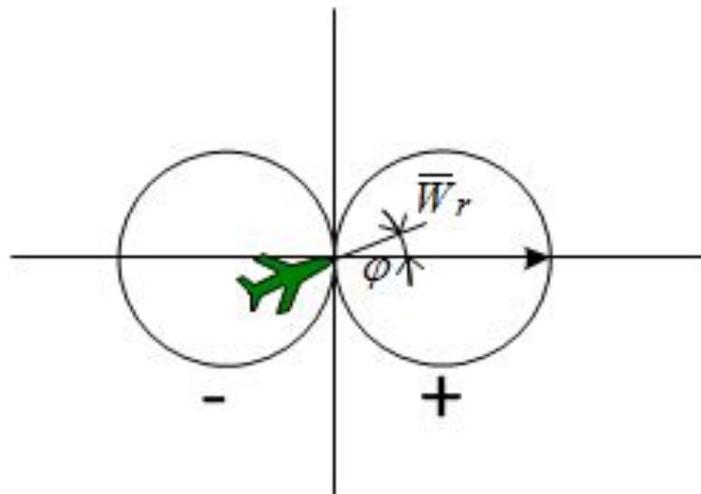


Рис. 1.1



$$\overline{f_d} = \frac{2 \cdot W}{\lambda_0} \cdot (\cos B \cdot \cos \Psi) \quad \text{- если угла сноса нет}$$

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ АВТОНОМНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ



Рис.1.2

ДИСС определяет на борту ЛА направление вектора путевой скорости по отношению к продольной оси ЛА. Для определения направления полета ЛА по отношению к странам света, т.е. в системе координат, связанной с Землей, необходимо знание курса ЛА, определяющего переход по направлению от подвижной системы координат к неподвижной. Итак, для того, чтобы определить, в каком направлении и с какой скоростью летит аппарат, необходимо наличие как доплеровского устройства, измеряющего угол сноса и путевую скорость, так и курсовой системы. Интегрирование получаемых данных о перемещении ЛА с помощью так называемого навигационного вычислителя координат и учет координат начального пункта маршрута позволяет ответить на вопрос, где находится ЛА. Для того, чтобы решить задачу, в каком направлении и сколь долго лететь до пункта назначения, необходимо сопоставить информацию о действительном положении ЛА с заданными координатами пункта назначения.

ОДНОЛУЧЕВОЙ ДИСС

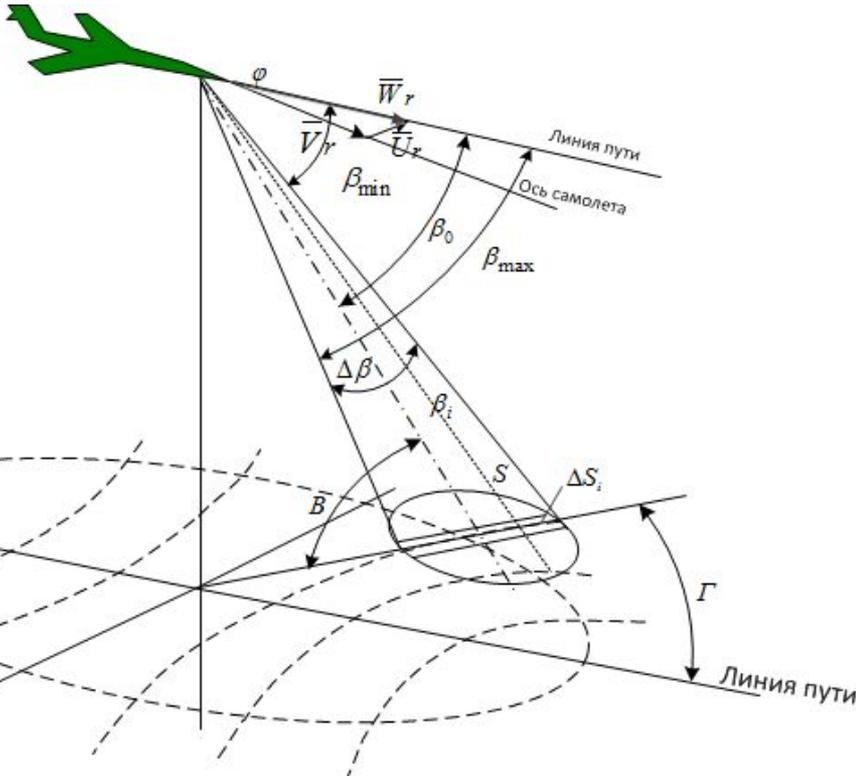


Рис. 1.3

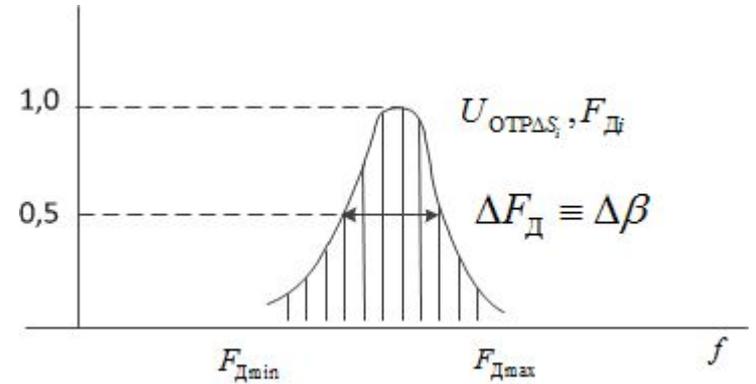


Рис. 1.4

$$u_{OTPS} = \sum_{i=1}^N U_{OTPAS_i} \sin \left[(\omega_0 + \omega_{di})t - \varphi_i \right] \quad (1)$$

$$\lambda = 0,8 \dots 3 \quad \Delta\beta = \lambda / Da$$

$$Da = 30 \dots 40$$

$$\beta_0 = 65^\circ \dots 75^\circ$$

$$\Delta F_{до,5} = \frac{2W}{\lambda} \left[\cos \left(\beta_0 - \frac{\Delta\beta}{2} \right) - \cos \left(\beta_0 + \frac{\Delta\beta}{2} \right) \right] = \frac{4W}{\lambda} \sin \left(\beta_0 \cdot \frac{\Delta\beta}{2} \right) \cdot \sin \beta_0 = \frac{4W}{\lambda} \Delta\beta \cdot \sin \beta_0 \quad (2)$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТРАЖЕНИЯ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

- 1 - пашня
- 2 - лес
- 3 - поле с зеленой травой
- 4 - песчаная пустыня
- 5 - поле, покрытое снегом
- 6 - ледовая поверхность

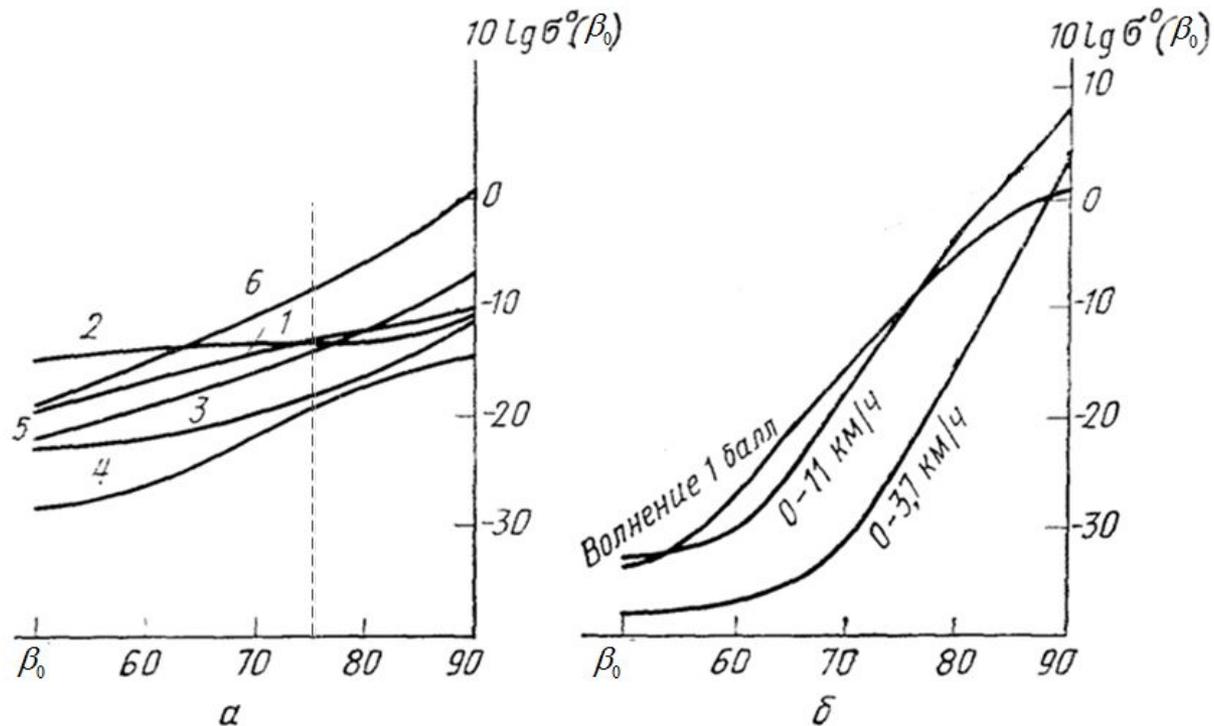


Рис. 1. 5

Величина удельной эффективной площади обратного рассеяния зависит от большего числа параметров: от длины волны и поляризации излучаемых колебаний, вида отражающей поверхности ее характеристик и углов визирования. С увеличением угла визирования растет уровень отраженного сигнала, но это приводит к уменьшению чувствительности доплеровской частоты и минимальный разброс мощности отраженного сигнала. Поэтому компромисс 65 – 75 град.

ПОГРЕШНОСТИ ОДНОЛУЧЕВОГО ДИСС

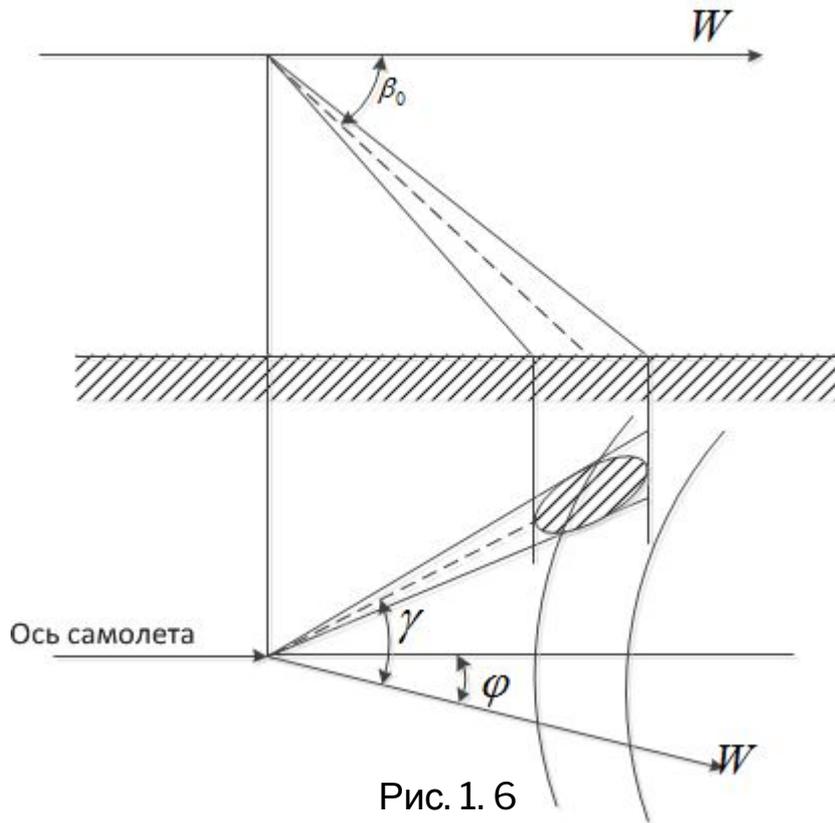


Рис. 1. 6

$$F_{\text{Д}} = \frac{2W}{\lambda} \cos \beta_0 \cdot \cos \gamma \quad (3)$$

$$F_{\text{Д max}} = \frac{2W}{\lambda} \cos \beta_0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \delta F_{\text{Д}} = F_{\text{Д max}} - F_{\text{Д}} &= \frac{2W}{\lambda} \cos \beta_0 \cdot (1 - \cos \gamma) \quad (5) \\ &= \frac{2W}{\lambda} \cos \beta_0 \cdot \frac{\gamma^2}{2} \end{aligned}$$

Угол сноса равен углу, составленному осью самолета и осью ДНА в момент совмещения с направлением вектора путевой скорости, т.е. при $F_{\text{Д}} = F_{\text{Д max}}$
 Однолучевая система не находит практического применения из-за низкой точности измерения

$$\delta \varphi = \gamma \approx \sqrt{\frac{2\delta F_{\text{Д}}}{F_{\text{Д max}}}}$$

(6)

Допустим, если $\frac{2\delta F_{\text{Д}}}{F_{\text{Д max}}} = 0,01$ то погрешность измерения φ составляет

$$\delta \varphi = 0,1 \text{ рад}$$

ПОГРЕШНОСТИ ОДНОЛУЧЕВОГО ДИСС

Второй важной погрешностью однолучевых измерителей является крен летательного аппарата. Пусть из-за крена истинное значение угла визирования отличается от расчетного на $\delta\beta_0$.

Если продифференцируем максимальную доплеровскую частоту по углу визирования, то получим

$$\frac{dF_{д max}}{d\beta_0} = \frac{2W}{\lambda} (-\sin \beta_0), \text{ что при конечных приращениях равно}$$
$$\delta F_{д max} = \frac{2W}{\lambda} (-\sin \beta_0) \cdot \delta\beta_0$$

Тогда

$$\left| \frac{\delta W}{W} \right| = \left| \frac{\delta F_{д max}}{F_{д max}} \right| = \delta\beta_0 \cdot \tan \beta_0$$

Стабилизация антенны в горизонтальной плоскости или введение поправок на крен при обработке усложняет измеритель, но не устраняет недостатков однолучевого метода, к которым следует отнести высокие требования к стабильности частоты излучаемых колебаний.

Решение проблемы: многолучевые ДИСС

МНОГОЛУЧЕВОЙ ДИСС

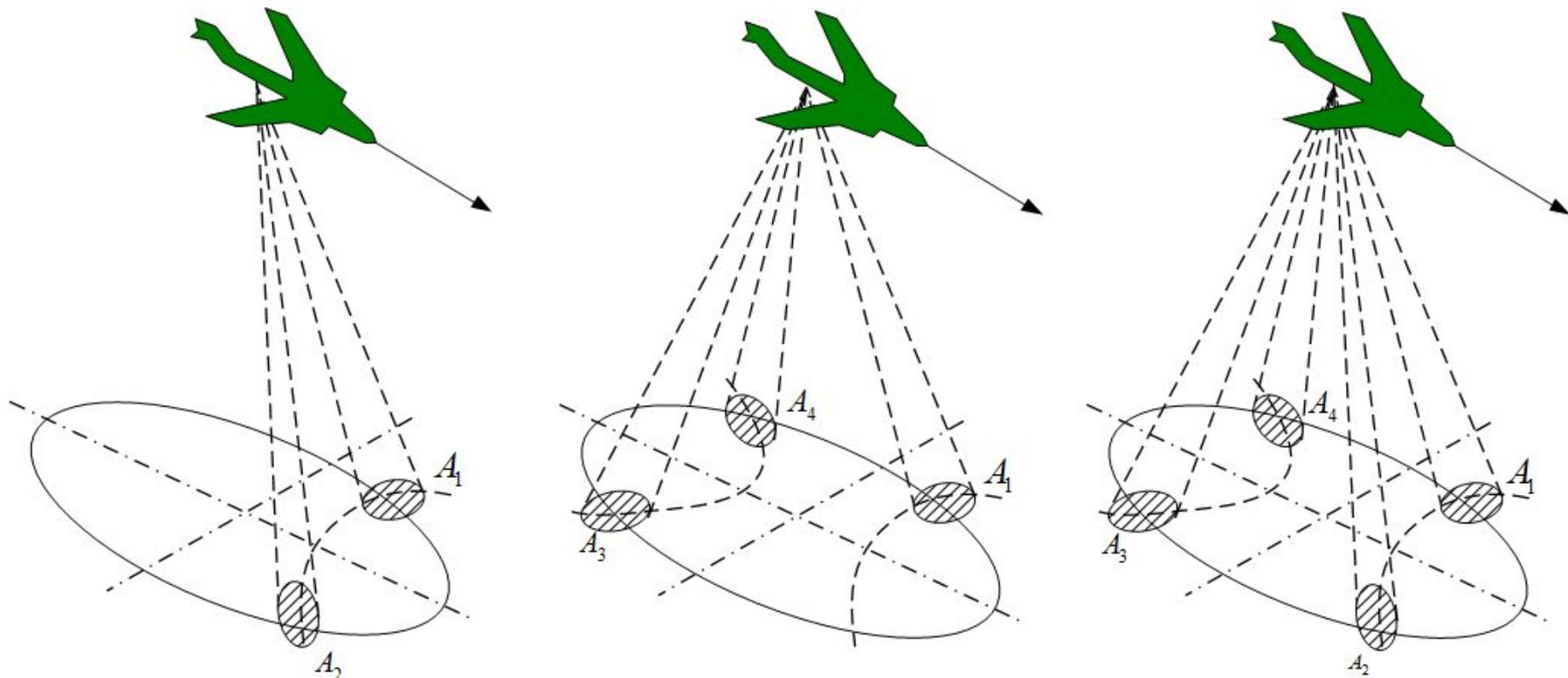


Рис.1.7 Многолучевые ДИСС

По назначению и способу построения измерители вектора скорости ЛА могут быть условно разделены на два основных типа: ДИСС, измеряющие путевую скорость и угол сноса ЛА или продольную и поперечную составляющие вектора путевой скорости (самолетные ДИСС), и ДИСС, измеряющие полный вектор скорости ЛА, т.е. три его составляющие (вертолетные ДИСС)

ДВУХЛУЧЕВОЙ ДИСС

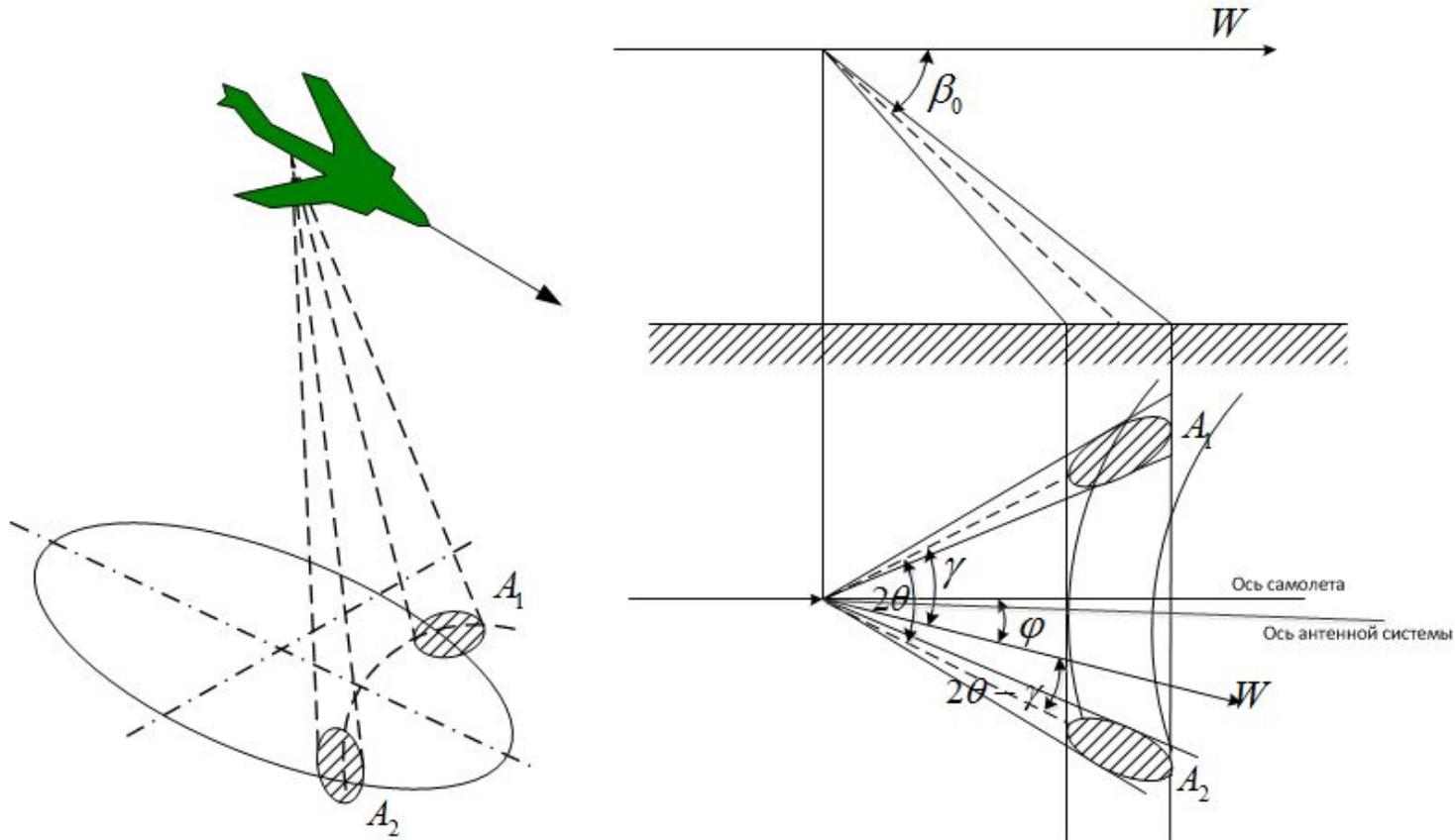


Рис. 1.8 Двухлучевые ДИСС

Точность при этом выше, так как лучи пересекают линии равных частот под углом близким к прямому, и это обеспечивает большую чувствительность. Угол θ выбирается равным 45 град.

ДВУХЛУЧЕВОЙ ДИСС

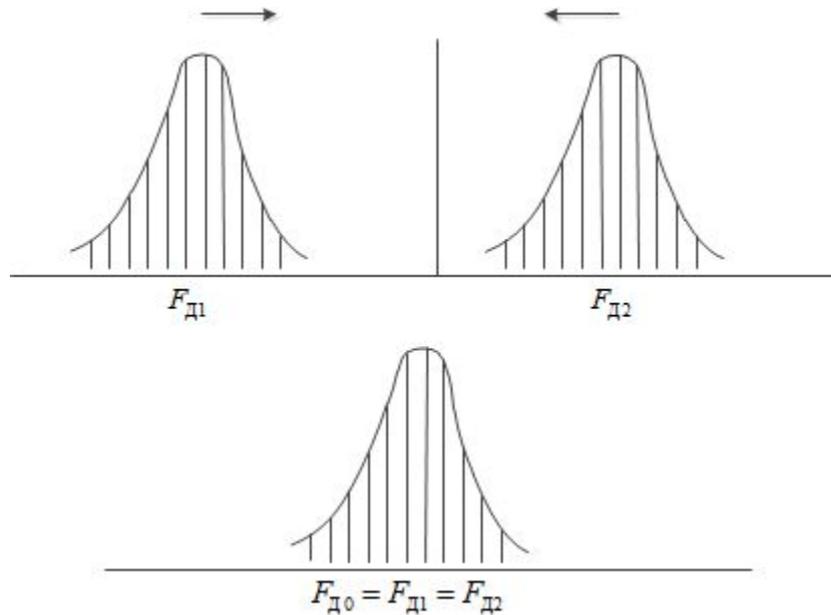


Рис.1.9

Необходимо иметь $\gamma = \theta$, но если равенство частот $F_{д1}$ и $F_{д2}$ установлено истинно и их Разность, отличаясь от нуля составляет $\delta F_{д} = F_{д0}$, то это приводит к погрешности в определении угла сноса $\delta\varphi = \gamma - \theta$, т.к. ее значение обычно невелико, то можно принять:

$$\delta\varphi \approx \sin \delta\varphi = \sin(\gamma - \theta) = \frac{-F_{д\text{разн}}}{\frac{4W}{\lambda} \cos \beta \cdot \sin \theta} = \frac{-F_{д\text{разн}}}{2F_{д} \cdot \tan \theta}, \quad \text{где } F_{д} = \frac{2W}{\lambda} \cdot \cos \beta_0 \cdot \cos \theta$$

Относительная погрешность оценки угла сноса примерно в 30 раз меньше, чем у однолучевых ДИСС, но погрешность из-за крена остается примерно такой же.

$$F_{д1} = \frac{2W}{\lambda} \cdot \cos \beta_0 \cdot \cos \gamma$$

$$F_{д2} = \frac{2W}{\lambda} \cdot \cos \beta_0 \cdot \cos(2\theta - \gamma)$$

$$F_{д\text{разн}} = F_{д1} - F_{д2} =$$

$$\frac{2W}{\lambda} \cdot \cos \beta_0 \cdot (\cos \gamma - \cos(2\theta - \gamma)) =$$

$$-\frac{4W}{\lambda} \cdot \cos \beta_0 \cdot \sin \theta \cdot \sin(\gamma - \theta)$$

ДВУХЛУЧЕВОЙ ДИСС

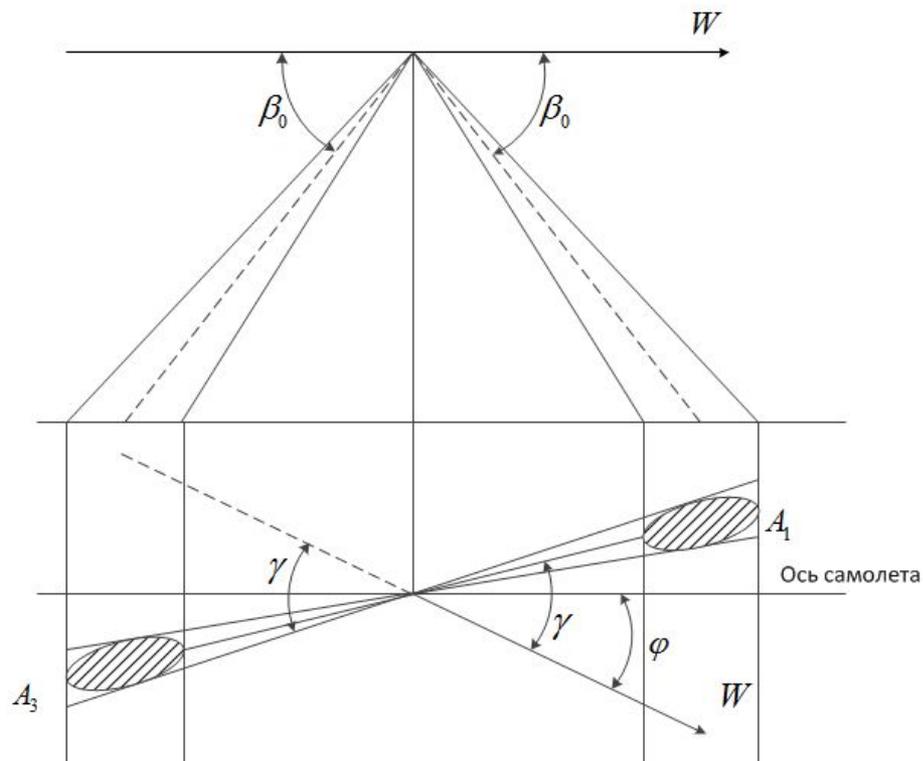
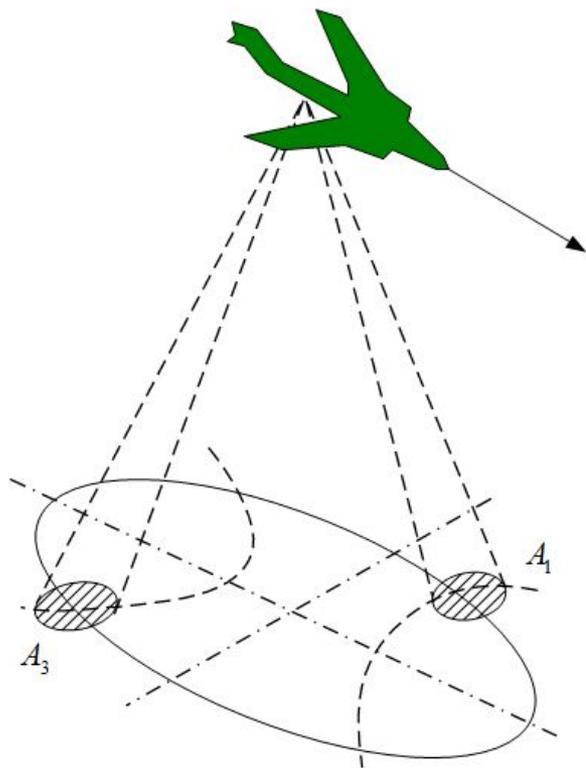


Рис.1.10

Точность измерения путевой скорости существенно повышается при использовании двусторонних систем, имеющих лучи, направленные вперед и назад.

ДВУХЛУЧЕВОЙ ДИСС

$$F_{д1} = \frac{2W}{\lambda} \cdot \cos \beta_0 \cdot \cos \gamma$$

$$F_{д3} = -\frac{2W}{\lambda} \cdot \cos \beta_0 \cdot \cos \gamma$$

$$F_{д\text{разн}} = F_{д1} - F_{д3} = \frac{4W}{\lambda} \cdot \cos \beta_0 \cdot \cos \gamma$$

Рассмотрим погрешности, обусловленные углом крена

$$F_{д\text{разн}} = \frac{4W}{\lambda} \cdot \cos \gamma \cdot [\cos(\beta_0 - \delta\beta) + \cos(\beta_0 + \delta\beta)] = \frac{4W}{\lambda} \cdot \cos \gamma \cdot \cos \beta_0 \cdot \cos \delta\beta$$

Отклонение разностной частоты от ее максимального значения

$$\delta F_{д\text{разн}} = \frac{4W}{\lambda} \cdot \cos \gamma \cdot \cos \beta_0 \cdot (1 - \cos \delta\beta) \quad \frac{\delta F_{д\text{разн}}}{F_{д\text{разн}}} = 1 - \cos \delta\beta = 2 \sin^2 \frac{\delta\beta}{2} \approx \frac{\delta\beta^2}{2}$$

На каждый градус погрешности угла $\Delta\beta$ приходится погрешность оценки путевой

скорости 0,00015: $\frac{\delta W}{W} = \frac{\delta F_{д\text{разн}}}{F_{д\text{разн}}} = \frac{\delta\beta^2}{2}$ (в примерно 300 раз по сравнению с однолучевым), но точность оценки угла

сноса остается такой же

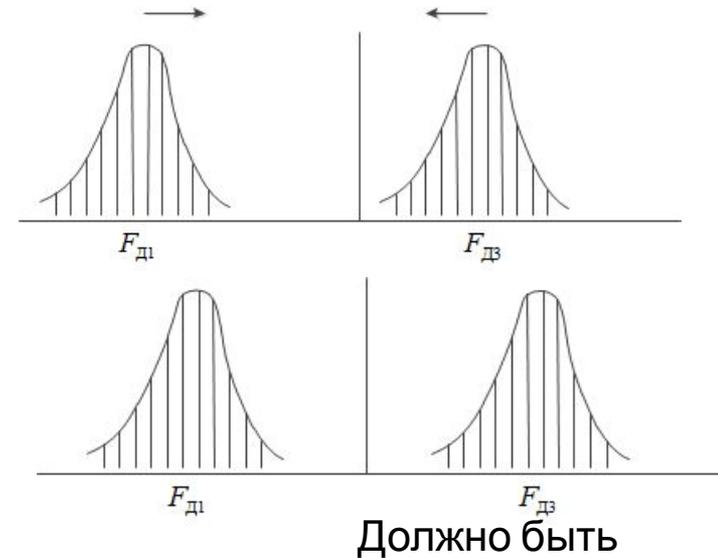


Рис. 1.11

ТРЕХ-ЧЕТЫРЕХЛУЧЕВОЙ ДИСС

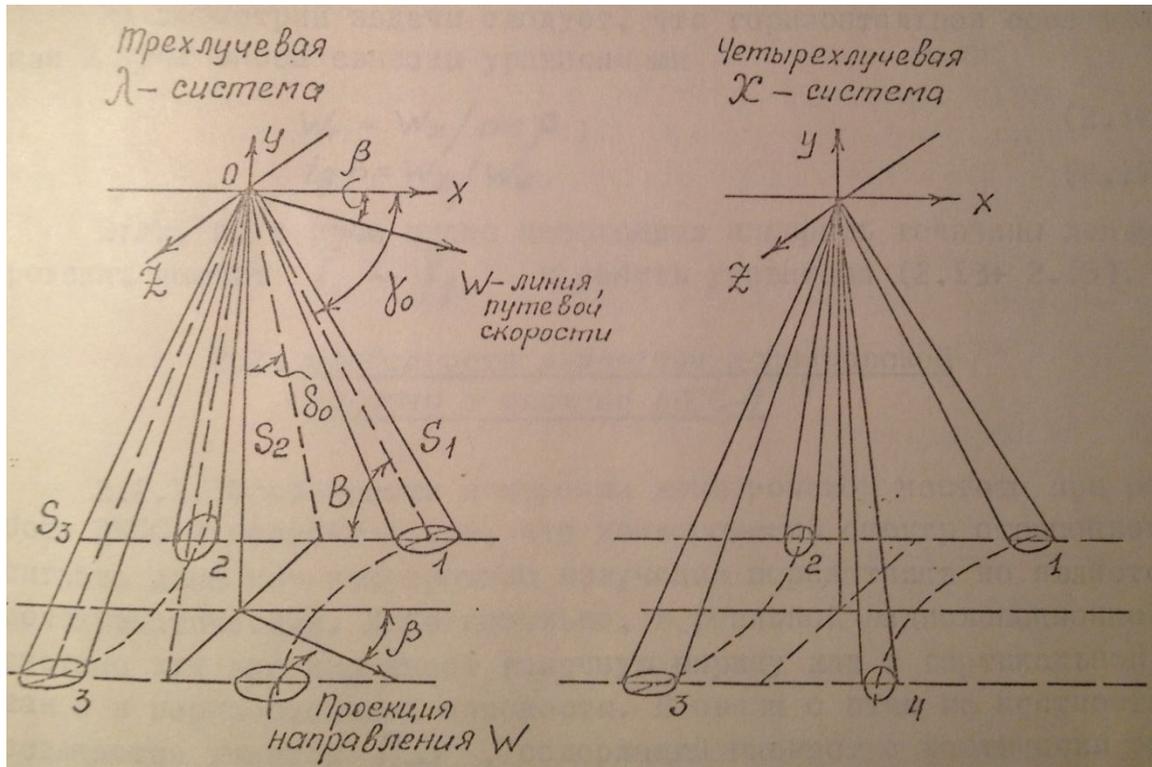


Рис. 1.12

Так как вектор скорости ЛА определяется в общем случае проекциями на три некопланарных направления, то для определения всех трех составляющих необходимо излучать и принимать сигналы минимум по трем значениям доплеровского сдвига частоты определяется равенством

$$\overline{f_D} = \frac{2 \cdot W_s}{\lambda_0}$$

$$W_s = W_x \cdot \cos(\gamma) - W_y \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(90^\circ - \gamma) + W_z \cdot \cos(90^\circ - \delta) \cdot \cos(90^\circ - \gamma) = W_x \cdot \cos(\gamma) - W_y \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\gamma) + W_z \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\gamma)$$

$$\overline{f_D} = \frac{2}{\lambda_0} \cdot [W_x \cdot \cos(\gamma) - W_y \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\gamma) + W_z \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\gamma)]$$

ТРЕХ-ЧЕТЫРЕХЛУЧЕВОЙ ДИСС

$$\overline{f_{Д1}} = \frac{2}{\lambda_0} \cdot [W_x \cdot \cos(\gamma_0) - W_y \cdot \cos(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0) - W_z \cdot \sin(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0)]$$

$$\overline{f_{Д2}} = \frac{2}{\lambda_0} \cdot [W_x \cdot \cos(\gamma_0) + W_y \cdot \cos(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0) + W_z \cdot \sin(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0)]$$

$$\overline{f_{Д3}} = \frac{2}{\lambda_0} \cdot [W_x \cdot \cos(\gamma_0) + W_y \cdot \cos(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0) - W_z \cdot \sin(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0)]$$

$$\overline{f_{Д}} = \overline{f_{Д1}} + \overline{f_{Д2}} \boxtimes \frac{4}{\lambda_0} \cdot W \cdot \cos(\gamma_0)$$

$$W_{Д} = \lambda_{0Д} (\overline{f_{Д1}} + \overline{f_{Д2}}) / (4 \cdot \cos(\gamma_0))$$

$$\overline{f_{Д}} = \overline{f_{Д2}} - \overline{f_{Д1}} \boxtimes \frac{4}{\lambda_0} \cdot W \cdot \cos(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0)$$

$$W_{Д} = \lambda_{0Д} (\overline{f_{Д3}} - \overline{f_{Д1}}) / (4 \cdot \cos(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0))$$

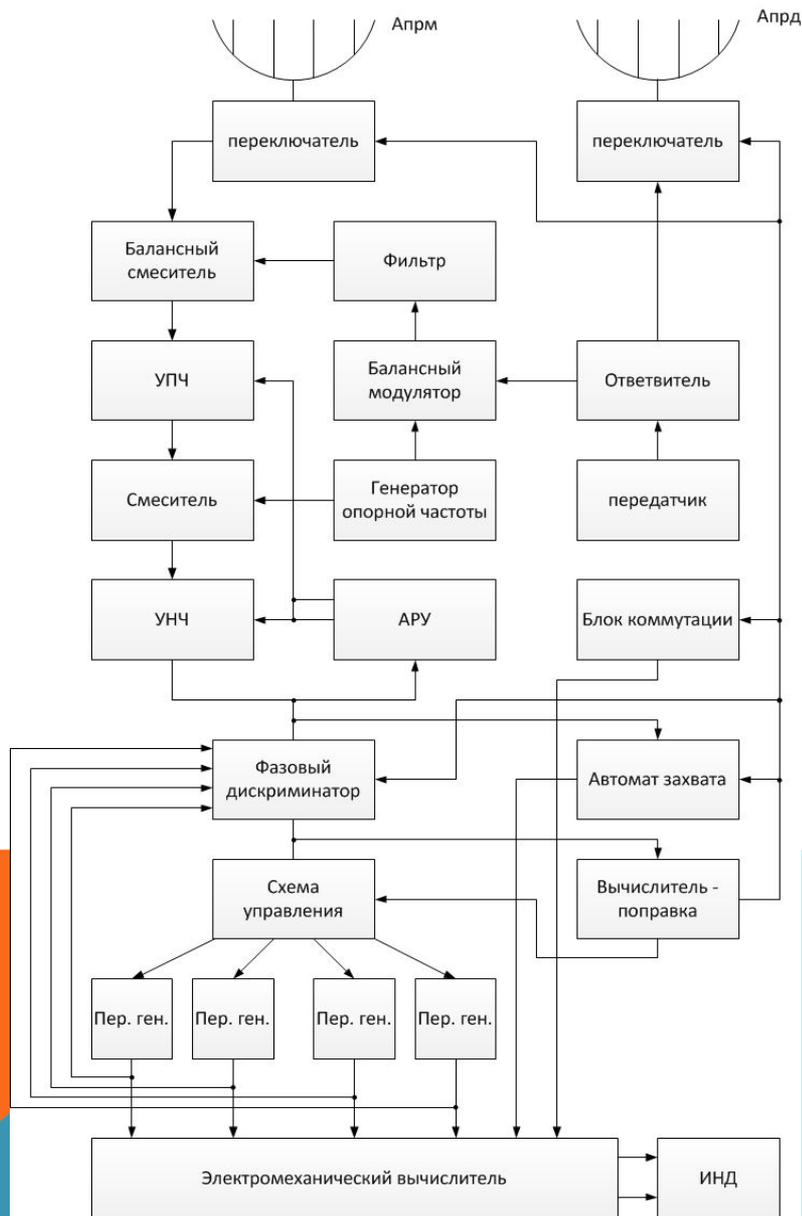
$$\overline{f_{Д}} = \overline{f_{Д2}} - \overline{f_{Д3}} \boxtimes \frac{4}{\lambda_0} \cdot W \cdot \sin(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0)$$

$$W_{Д} = \lambda_{0Д} (\overline{f_{Д2}} - \overline{f_{Д3}}) / (4 \cdot \sin(\delta_0) \cdot \sin(\gamma_0))$$

Из геометрии задачи следует, что горизонтальная составляющая и угол сноса связаны уравнениями

$$W_{Г} = W_{Х} / \cos(\beta) \quad \text{tg}(\beta) = W_{Z} / W_{Х}$$

ТРЕХЛУЧЕВАЯ СИСТЕМА



$$\sigma_f = k \cdot \sqrt{\frac{F_D}{T_y}}$$

$$\sigma_W = (1/F_D) \cdot \sqrt{\frac{2F_D}{T_y}}$$

$$\sigma_\varphi = c \cdot \tan \gamma \cdot (1/F_D) \cdot \sqrt{\frac{2F_D}{T_y}}$$

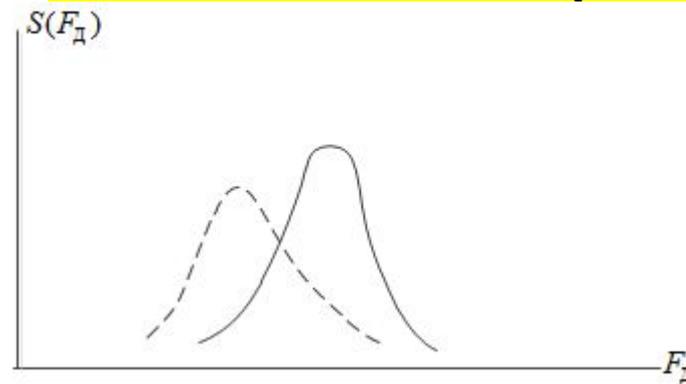


Рис. 1.13

Рис. 1.14