

## О ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСС ЗА СЧЕТ СЖАТИЯ СПЕКТРА ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ

Н.Н. Хмуров, канд. техн. наук, А.А. Павличенко, А.А. Хижнюк

Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

В статье рассмотрены вопросы расчета мгновенного спектра преобразованного доплеровского сигнала при монохроматическом и частотно-модулированном излучении. На основании анализа полученного мгновенного спектра преобразованного доплеровского сигнала при частотно-модулированном излучении сделаны выводы о возможности устранения ошибки смещения при измерении путевой скорости и расширения возможности ДИСС.

\*\*\*

У статті розглянуті питання розрахунку миттєвого спектра перетвореного доплерівського сигналу при монохроматичному і частотно-модульованому випромінюванні. На підставі аналізу одержаного миттєвого спектра перетвореного доплерівського сигналу при частотно-модульованому випромінюванні зроблені висновки про можливість усунення помилки зсуву при вимірі шляхової швидкості і розширення можливості ДВШЗ.

\*\*\*

The questions of account of an instant spectrum transformed Dopler's signal with monochromatic and frequency-modulated radiation are considered in this article. On the basis of the analysis of the received instant spectrum transformed Dopler's signal with frequency-modulated radiation were made conclusions about opportunity to eliminate displacement mistake when travelling speed is measured and to expand of Dopler radar system opportunities .

*Постановка проблемы.* Доплеровские измерители скорости и угла сноса (ДИСС) относятся к автономным навигационным устройствам, с помощью которых определяются следующие навигационные параметры: вектор путевой скорости и угол сноса летательного аппарата (ЛА). Однако, при определении навигационных параметров, существенное влияние оказывает подстилающая поверхность (коэффициент обратного рассеивания). При полете над сушей коэффициент обратного рассеивания изменяется незначительно в пределах диаграммы направленности антенны (ДНА). При переходе с суши на море коэффициент обратного рассеивания изменяется настолько, что это приводит к искажению доплеровского спектра, т.е. "центр тяжести" доплеровского спектра смещается в область низких частот (Рис. 1).

*Выделение нерешенной проблемы.* Указанные факторы приводят к ошибкам измерения путевой скорости. Ошибки измерения путевой скорости составляют от 1% до 5% [1]. Такие ошибки являются

недопустимыми, особенно при длительных полетах ЛА.

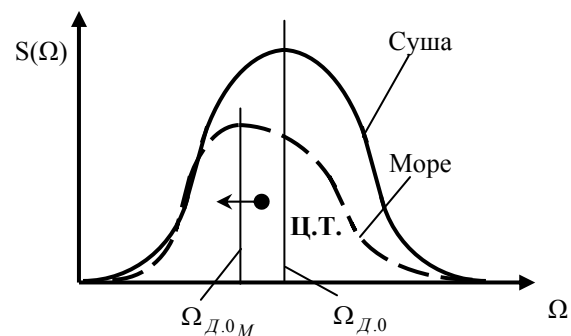


Рис. 1. Смещение центральной частоты доплеровского спектра в зависимости от подстилающей поверхности

*Анализ известных достижений.* Для уменьшения ошибки измерения путевой скорости применяются специальные меры, такие как введение четвертого дополнительного луча, с помощью которого определяется характер отражающей поверхности и вносится поправка в текущие навигационные параметры (ДИСС-7), применение специфической ком-

мутации лучей (формирование равносигнального направления) в ДИСС зарубежного производства, усреднение среднестатистической ошибки при полете над водой (переключатель “суша-море”) в ДИСС Ш-013 и других модификациях.

*Цель статьи.* Предлагается получить более высокую точность путем применения ЛЧМ сигнала.

*Постановка задачи.* Для решения этой задачи предварительно рассмотрим спектр частот преобразованного сигнала при излучении монохроматических колебаний. В качестве модели подстилающей поверхности выберем модель, которая широко применяется в радиолокации, т.е. в виде множества случайных отражателей. Суммарный сигнал от них можно представить в виде результата наложений неслучайных по форме элементарных сигналов, возникающих в случайные моменты времени. Такое представление модели отражающей поверхности позволяет получить корреляционную функцию отраженного (преобразованного) сигнала с учетом формы излученного сигнала, параметров радиолокатора, относительное движение радиолокатора и отражателей. Для удобства вычислений выберем антенну радиолокатора с карандашной диаграммой направленности. Графически данная модель в системе координат  $(\varphi, \psi)$  для карандашной антенны представлена на рис. 2.

*Основной материал.* Пусть сигнал, излученный передатчиком ДИСС, имеет узкий спектр по сравнению с несущей, что практически всегда имеет место. Представим этот сигнал комплексной функцией

$$\dot{U}_{изл.}(t) = U_1(t) \cdot \exp - j[\omega_0 t + \psi(t)], \quad (1)$$

где  $U_1(t)$  – функция, описывающая АМ сигнал;

$\omega_0$  – несущая частота;

$\psi(t)$  – функция, описывающая ФМ сигнал.

Сигнал, отраженный от  $i$ -го отражателя имеет вид

$$\dot{U}_{отр.}(t) = U_2 \left( t - \frac{2R}{C} \right) \cdot \exp - j \left[ \omega_0 \left( t - \frac{2R}{C} \right) + \psi \left( t - \frac{2R}{C} \right) \right], \quad (2)$$

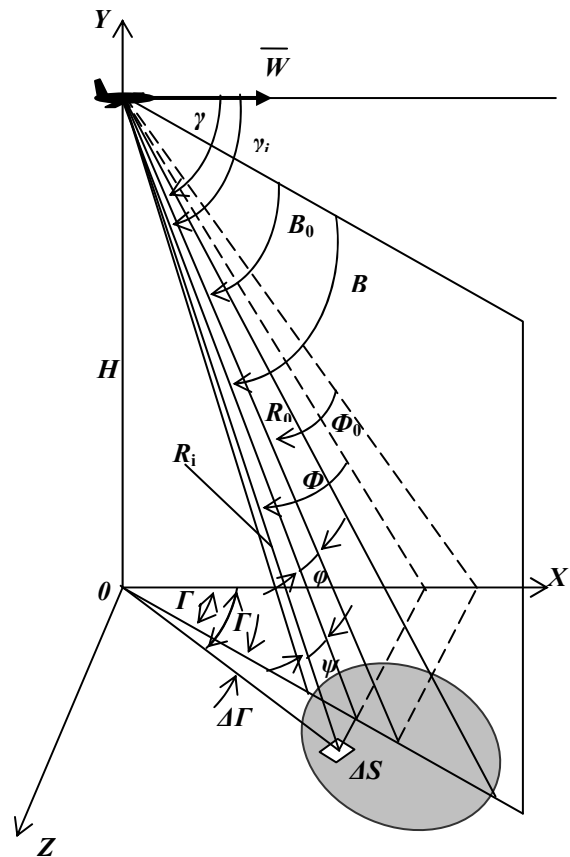


Рис. 2. Система координат  $(\varphi, \psi)$  для карандашной антенны

Получим преобразованный сигнал после гетеродинирования

$$\begin{aligned} \dot{U}_{пр.}(t) &= \dot{U}_{отр.}(t) \cdot \dot{U}_{изл.}^*(t) = \\ &= U_3 \cdot \exp - j \left[ \omega_0 \cdot \left( t - \frac{2R}{C} \right) + \psi \left( t - \frac{2R}{C} \right) - \omega_0 t - \psi(t) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Исходя из формулы (3) можно получить корреляционную функцию преобразованного сигнала, отраженного от местности, представляемой в виде множества случайных отражателей, при совмещении передающей и приемной антеннах

$$K_{пр.}(t, \tau) = \iint_{-\infty}^{\infty} \dot{U}_{пр.}(t) \cdot \dot{U}_{пр.}^*(t - \tau) d\varphi d\psi, \quad (4)$$

Преобразованный сигнал с задержкой на  $\tau$  будет иметь вид:

$$\begin{aligned} U_{пр.}(t - \tau) &= U_3 \times \exp - j \left[ \omega_0 \left( t - \tau - \frac{2R}{C} - \frac{2\Delta R}{C} \right) + \right. \\ &+ \left. \psi \left( t - \tau - \frac{2R}{C} - \frac{2\Delta R}{C} \right) - \omega_0 (t - \tau) - \psi(t - \tau) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда корреляционная функция примет вид:

$$K_{PP}(\tau, t) = \frac{P_{ИЗЛ} \lambda^2}{64\pi^3} \iint_{\varphi, \psi} \frac{G^2(\varphi, \psi) \cdot G^0(\varphi, \psi)}{R^4} \times \\ \times \exp\left(-j \frac{2\omega_0 \Delta R}{C}\right) \exp\left\{j \left[ \psi(t) - \psi\left(t - \frac{2R}{C}\right) \right]\right\} \times \quad (6) \\ \times \exp\left\{j \left[ \psi\left(t + \tau - \frac{2R}{C} - \frac{2\Delta R}{C}\right) - \psi(t + \tau) \right]\right\} dS(\varphi, \psi)$$

Рассмотрим составляющие этой корреляционной функции.

$P_{ИЗЛ}$  – средняя мощность излучения сигнала (при импульсном излучении средняя мощность импульса);

$\lambda$   $\omega_0$  – длина волны и круговая частота излучаемых колебаний;

$\varphi, \psi$  – углы, отсчитываемые относительно ДНА;

$R$  – расстояние от антенны до некоторого отражателя в пределах облучаемого участка (функции углов  $\varphi, \psi$ ).

$G(\varphi, \psi)$  – функция, которая описывает суммарную диаграмму направленности антенны по мощности излучения и приема в координатах  $\varphi, \psi$ . ДНА карандашной формы описывается кривой Гаусса:

$$G(\varphi, \psi) = G_0 \cdot \exp\left(-\frac{\pi\varphi^2}{\Delta_\varphi^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\pi\psi^2}{\Delta_\psi^2}\right), \quad (7)$$

где  $G_0$  – усиление антенны по мощности в направлении максимума, т.е. вдоль оси ДНА;

$\Delta_\varphi$  и  $\Delta_\psi$  – эффективная ширина ДНА в плоскости углов  $\varphi$  и  $\psi$  соответственно.

$G^0(\varphi, \psi)$  – удельная эффективная отражающая поверхность (суша, море). Данную функцию можно трактовать как диаграмму обратного рассеивания.

$$G^0(B) = G^0(B_0) \cdot \exp k\Delta B = G^0(B_0) \cdot \exp k\varphi, \quad (8)$$

где  $\varphi = B - B_0 = \Delta B$ .

$dS(\varphi, \psi)$  – элемент площадки в системе координат  $(\varphi, \psi)$ :

$$dS = R^2 \cdot \sin B d\varphi d\psi, \quad (9)$$

где  $\varphi = B - B_0; \psi = \Phi - \Phi_0$

Корреляционная функция (6) при представле-

нии смещений в виде функции от  $\tau$  зависит только от переменных  $\tau$  и  $t$ . Сохранение в некоторых случаях зависимости корреляционной функции от  $t$  дает возможность получить больше информации об отраженном сигнале при излучении модулированных колебаний [1].

Величина  $\Delta R$  в выражении (6) в первом приближении равна проекции расстояния пройденного за время  $\tau$  ( $W\tau$ ) на направление радиус-вектора, проведенного от локатора до отражателя

$$\Delta R = -W \cdot \tau \cdot \cos \gamma_i,$$

где  $\gamma_i$  – угол между вектором скорости и направлением на отражатель. Знак “-” означает, что при положительном направлении вектора скорости расстояние между локатором и отражателем уменьшается. В первом приближении

$$\Delta R = -W \cdot \tau \cdot (\cos B_0 \cos \Gamma_0 - \varphi \cdot \sin B_0 \cos \Gamma_0 - \psi \cdot \sin \Gamma_0). \quad (10)$$

Функцию  $\sin B$  из выражения (8) можно представить как

$$\sin B \approx \sin B_0 - \varphi \cdot \cos B_0 \quad (11)$$

С учетом выражений (7), (8), (9) текущее значение корреляционной функции преобразованного доплеровского сигнала можно записать в виде:

$$K(\tau, t) = \frac{P\lambda^2 G_0^2 G^0(B_0)}{64\pi^3 R^2} \iint_{\varphi, \psi} \exp\left\{k\varphi - \frac{2\pi\varphi^2}{\Delta_\varphi^2} - \frac{2\pi\psi^2}{\Delta_\psi^2}\right\} \times \\ \times \exp\left\{-j \frac{2\omega_0 \Delta R}{C}\right\} \exp\left\{j \left[ \psi(t) - \psi\left(t - \frac{2R}{C}\right) \right]\right\} \times \quad (12) \\ \times \exp\left\{j \left[ \psi\left(t + \tau - \frac{2R}{C} - \frac{2\Delta R}{C}\right) - \psi(t + \tau) \right]\right\} \sin B d\varphi d\psi$$

Используя полученное выражение, найдем текущее значение корреляционной функции, а затем, используя известное преобразование Винера-Хинчина

$$S(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} K(\tau, t) \cdot \exp(-j\omega\tau) d\tau, \quad (13)$$

найдем спектр преобразованного доплеровского сигнала для двух случаев:

1. Излучаемый сигнал немодулирован, т.е. отсутствует амплитудная и фазовая модуляция

$$U(t)=1; \psi(t)=0.$$

2. Излучаемый сигнал модулирован по частоте по линейному пилообразному закону, т.е.

$$U(t)=1; \psi(t)=0,5\beta t^2; -\frac{T_M}{2} \leq t \leq \frac{T_M}{2}.$$

$$\beta - \text{скорость изменения частоты. } \beta = \frac{2\Delta\omega}{T_M};$$

$\Delta\omega$  - девиация частоты;

$T$  - период повторения.

### 1. Определение спектра преобразованного доплеровского сигнала при излучении непрерывных немодулированных колебаний

Для немодулированных колебаний  $U(t)=1; \psi(t)=0$ . Выражение для корреляционной функции преобразованного сигнала принимает вид:

$$K(\tau, t) = P \iint_{-\infty}^{\infty} \exp\left(k\varphi - \frac{2\pi}{\Delta_\varphi^2} \varphi^2 - \frac{2\pi}{\Delta_\psi^2} \psi^2\right) \times \exp\left(j\omega_0 \frac{2\Delta R}{C}\right) d\varphi d\psi \quad (14)$$

Подставим в полученное выражение значение (9) и произведем преобразования

$$\Delta R = W\tau(\cos B_0 \cdot \cos \Gamma_0 - \varphi \cdot \sin B_0 \cdot \cos \Gamma_0 - \psi \cdot \sin \Gamma_0).$$

Выражение для корреляционной функции преобразованного сигнала при излучении ДИСС немодулированных колебаний принимает вид

$$K(\tau, t) = P \cdot \frac{\Delta_\varphi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta_\psi}{\sqrt{2}} \cdot \exp\left(\frac{\Delta_\varphi^2 k^2}{8\pi}\right) \times \exp\left\{-\left[\frac{\Delta_\varphi^2}{8\pi} \left(\omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0\right)^2 + \frac{\Delta_\psi^2}{8\pi} \left(\omega_0 \frac{2W}{C} \sin \Gamma_0\right)^2\right] \tau^2\right\} \times \exp\left\{-j \left[\frac{\Delta_\varphi^2 k}{8\pi} \left(\omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0\right) - \left(\omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0\right)\right] \tau\right\} \quad (15)$$

Определим усредненный спектр доплеровского сигнала в соответствии с выражением (13)

$$S_{CP}(\omega) = \frac{P_0 \cdot 2\sqrt{\pi}}{\Delta\omega_D} \exp\left[-\frac{(\omega - \Omega_{D,0} + \Delta\Omega_D)^2}{\Delta\Omega_D^2}\right] \quad (16)$$

Рассмотрим подробнее составляющие спектра

доплеровского сигнала при излучении ДИСС немодулированных колебаний.

$$P_0 = \frac{P \cdot \Delta_\varphi \cdot \Delta_\psi}{2} \exp\left(\frac{\Delta_\varphi^2 \cdot k^2}{8\pi}\right) - \text{мощность отраженного сигнала.}$$

и

$$\Delta\omega_D = \sqrt{\Delta\Omega_\varphi^2 + \Delta\Omega_\psi^2} - \text{эффективная ширина доплеровского спектра для "карандашной" ДНА,}$$

$$\text{где } \Delta\Omega_\varphi^2 = \frac{\Delta_\varphi^2}{2\pi} \left(\omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0\right)^2,$$

$$\Delta\Omega_\psi^2 = \frac{\Delta_\psi^2}{2\pi} \left(\omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0\right)^2$$

и

$$\Delta_\varphi = \Delta_\psi = \Delta.$$

$$\Delta\omega_D = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \omega_0 \frac{2W}{C} \cdot \Delta \cdot \sin \gamma_0,$$

где угол  $\gamma_0$  - угол между вектором скорости  $\vec{W}$  и осью ДНА.

$$\Omega_{D,0} = \omega_0 \frac{2W}{C} \cos B_0 \cos \Gamma_0 = \omega_0 \frac{2W}{C} \cos \gamma_0 - \text{доплеровская частота, соответствующая оси ДНА.}$$

доплеровская частота, соответствующая оси ДНА.

$$\Delta\Omega_D = \frac{\Delta_\varphi^2 \cdot k}{8\pi} \omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0 - \text{смещение частоты доплеровского сигнала, обусловленное характером обратного рассеивания (k).}$$

Определим среднюю частоту доплеровского спектра в соответствии с выражением

Определим среднюю частоту доплеровского спектра в соответствии с выражением

$$\omega_{CP} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega \cdot S(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega}; \quad (17)$$

$$\omega_{CP} = \Omega_D - \Delta\Omega_D. \quad (18)$$

### 2. Определение спектра преобразованного доплеровского сигнала при частотно-модулированном излучении

Пусть локалатором ДИСС излучается линейно

частотно-модулированный (ЛЧМ) сигнал  $\dot{U}_{ИЗЛ.}(t) = U_1(t) \cdot \exp - j[\omega_0 t + \psi(t)]$ . В соответствии с выражениями (1), (2), (3), (4) и с учетом условия  $U(t) = 1; \psi(t) = 0,5\beta t^2; -\frac{T_M}{2} \leq t \leq \frac{T_M}{2}$  получим корреляционную функцию преобразованного сигнала.

Корреляционная функция преобразованного сигнала имеет вид

$$K_{ПР.}(t, \tau) = P \frac{\Delta_\phi \Delta_\psi}{2} \exp\left(-\frac{\Delta_\phi^2 k^2}{8\pi}\right) \times \\ \times \exp\left\{-\frac{\Delta_\phi^2}{8\pi} \left[ (\omega_0 + \beta \cdot t) \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0 + \right. \right. \\ \left. \left. + \beta \frac{2R_0}{C} \operatorname{ctg} B_0 \right]^2 + \frac{\Delta_\psi^2}{8\pi} \left[ (\omega_0 + \beta \cdot t) \frac{2W}{C} \sin \Gamma_0 \right]^2 \right\} \tau^2 + \\ + j \left\{ (\omega_0 + \beta \cdot t) \cos B_0 \cos \Gamma_0 - \beta \frac{2R_0}{C} - \right. \\ \left. - \frac{\Delta_\phi^2 k}{4\pi} \left[ (\omega_0 + \beta \cdot t) \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0 + \beta \frac{2R_0}{C} \operatorname{ctg} B_0 \right] \right\} \tau$$

Мгновенный спектр преобразованного ЛЧМ сигнала имеет вид:

$$S(\omega, t) = \frac{P_0}{\Delta\omega_{ПР.}(t)} \exp\left\{-\frac{[\omega - \Omega_{Д.0}(t) + \Omega_{R.0} + \Delta\Omega_{ПР.}(t)]^2}{\Delta\omega_{ПР.}(t)}\right\} \quad (19)$$

где  $P_0$  - мощность отраженного сигнала;

$\Omega_{Д.0}(t) = (\omega_0 + \beta \cdot t) \frac{2W}{C} \cos B_0 \cos \Gamma_0$  - доплеровское смещение частоты, соответствующее оси ДНА;

$\Omega_{R.0}(t) = \beta \frac{2R_0}{C}$  - дальномерное смещение частоты по оси ДНА.

$\Delta\Omega_{ПР.}(t) = \frac{\Delta_\phi^2 k}{4\pi} \left[ (\omega_0 + \beta \cdot t) \frac{2W}{C} \sin B_0 \times \right. \\ \left. \times \cos \Gamma_0 + \beta \frac{2R_0}{C} \operatorname{ctg} B_0 \right]$  - смещение

спектра преобразованного сигнала, обусловленное характером отражающей поверхности ( $k$ );

$\Delta\omega_{ПР.}(t) = \sqrt{(\Delta\Omega_\phi + \Delta\Omega_R)^2 + \Delta\Omega_\psi^2}$  - эффективная

ширина спектра преобразованного сигнала,

где  $\Delta\Omega_\phi = \frac{\Delta_\phi^2}{2\pi} (\omega_0 + \beta t) \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0$ ;

$$\Delta\Omega_R = \frac{\Delta_\phi^2}{2\pi} \beta \frac{2R_0}{C} \operatorname{ctg} B_0$$

$$\Delta\Omega_\psi^2 = \frac{\Delta_\psi^2}{2\pi} \left( \omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0 \right)^2$$

$$\Delta\Omega_\psi = \frac{\Delta_\psi^2}{2\pi} (\omega_0 + \beta t) \frac{2W}{C} \sin \Gamma_0$$

Усредненное за период модуляции значение спектра можно получить из выражения:

$$S_{СР.}(\omega) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(\omega, t) dt$$

$$S_{СР.}(\omega) = \frac{P_0}{\Delta\omega_{ПР.СР.}} \exp\left\{-\frac{(\omega - \Omega_{СР.Д.0} + \Omega_{R.0} + \Delta\Omega_{СР.})^2}{\Delta\omega_{ПР.СР.}^2}\right\}$$

где  $\Omega_{СР.Д.0} = \omega_0 \frac{2W}{C} \cos B_0 \cos \Gamma_0$  - среднее значение доплеровское частоты, соответствующее оси ДНА;

$\Omega_{R.0} = \beta \frac{2R_0}{C}$  - дальномерное смещение частоты по оси ДНА.

$$\Delta\Omega_{ПР.СР.} = \frac{\Delta_\phi^2 k}{4\pi} \left[ \omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0 + \beta \frac{2R_0}{C} \operatorname{ctg} B_0 \right]$$

- смещение спектра преобразованного сигнала, обусловленное характером отражающей поверхности ( $k$ ).

$\Delta\omega_{ПР.СР.}(t) = \sqrt{(\Delta\Omega_\phi + \Delta\Omega_R)^2 + \Delta\Omega_\psi^2}$  - среднее значение эффективной ширины спектра преобразованного сигнала,

где  $\Delta\Omega_\phi = \frac{\Delta_\phi^2}{2\pi} (\omega_0 + \beta t) \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0$ ;

$$\Delta\Omega_R = \frac{\Delta_\phi^2}{2\pi} \beta \frac{2R_0}{C} \operatorname{ctg} B_0$$

$$\Delta\Omega_\psi = \frac{\Delta_\psi^2}{2\pi} (\omega_0 + \beta t) \frac{2W}{C} \sin \Gamma_0$$

Частота, определяемая измерителем  $\Omega_{ИЗМ.}$ , может быть получена из выражения (17)

$$\Omega_{ИЗМ.} = \Omega_{СР.Д0} - \Omega_{R0} - \Delta\Omega_{СР.}$$

Из последнего выражения видно, что измеренная частота содержит три составляющие: доплеровскую частоту  $\Omega_{СР.Д0}$ , дальномерную частоту  $\Omega_{R0}$  и ошибку смещения, обусловленную характером отражающей поверхности  $\Delta\Omega_{СР.}$ .

Как видно из выражения для  $\Delta\Omega_{СР.}$ , ошибку смещения можно сделать равной нулю путем выбора соответствующего параметра модуляции ( $\beta$ ):

$$\frac{\Delta_{\phi}^2 k}{4\pi} \left[ \omega_0 \frac{2W}{C} \sin B_0 \cos \Gamma_0 + \beta \frac{2R_0}{C} \operatorname{ctg} B_0 \right] = 0.$$

Параметр модуляции определяем как

$$\beta = -\omega_0 \frac{W}{H} \cdot \frac{\sin^3 B_0 \cdot \cos \Gamma_0}{\cos B_0}.$$

Подбирая скорость изменения частоты излучаемых колебаний в соответствии с выше полученным выражением, можно избавиться в ДИСС от ошибки смещения ( $\Delta\Omega_{СР.}$ ), обусловленной характером отражающей поверхности ( $k$ ). При этом измеритель будет выдавать значение измеренной частоты.

$$\Omega_{ИЗМ.} = \Omega_{СР.Д.0} - \Omega_{R0} = \omega_0 \frac{2W}{C} \cdot \frac{\cos \Gamma_0}{\cos B_0},$$

откуда

$$W = \frac{C}{2\omega_0} \cdot \frac{\cos B_0}{\cos \Gamma_0} \cdot \Omega_{ИЗМ.} \quad (20)$$

Если выделить в первом члене значение  $|\beta|$ , то значение для  $\Omega_{СР.}$  можно записать в другом виде:

$$\Omega_{ИЗМ.} = |\beta| \cdot \frac{2R_0}{C} \cdot \frac{1}{\sin^2 B_0},$$

откуда

$$R_0 = \frac{C}{2} \cdot \frac{\sin^2 B_0}{|\beta|} \cdot \Omega_{ИЗМ.}, \quad (21)$$

где  $|\beta|$  - значения скорости изменения частоты излучаемых колебаний, взятые по модулю

$$|\beta| = \begin{cases} \beta, & \text{если } \beta > 0 \\ -\beta, & \text{если } \beta < 0 \end{cases}.$$

## Выводы

Как видно из последних выражений (20), (21) при работе ДИСС с излучением частотно-модулированных колебаний при соответствующем выборе скорости изменения частоты можно:

1. Устранить ошибку смещения ДИСС.
2. По измеренному значению  $\Omega_{ИЗМ.}$  определить путевую скорость ЛА ( $W$ ).
3. По другому каналу измерителя (вычислителя) можно по измеренному значению  $\Omega_{ИЗМ.}$  определить наклонную дальность  $R_0$  до поверхности земли по оси ДНА.

## Литература

1. Колчинский В.Е., Мандуровский И.А., Константиновский М.И. Доплеровские устройства и системы навигации. – М.: Сов. радио, 1975.- 430 с.
2. Фельдман Ю.И., Мандуровский И.А. Теория флуктуаций локационных сигналов, отраженных распределенными целями. – М.: Радио и связь, 1988.-272 с.

Поступила в редакцию 03.09.03

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор Костенко П.Ю., Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, г. Харьков