

Билет № 17

1. Уравнения движения интегрирующего гироскопа и их анализ Стр. 110, 112-113

В интегрирующем гироскопе (ИГ), построенном на базе двухстепенного гироскопа, гироскопический момент, вызванный угловой скоростью основания, уравнивается демпфирующим моментом. Первые ИГ, спроектированные до 50-х годов XX в., имели пневмодемпферы, которые обладали нестабильными характеристиками по демпфированию и не позволяли создать точные приборы.

Поэтому наибольшее распространение получили поплавковые интегрирующие гироскопы (ПИГ); автором первого патента на такой гироскоп (1943 г.) является профессор Ткачев.

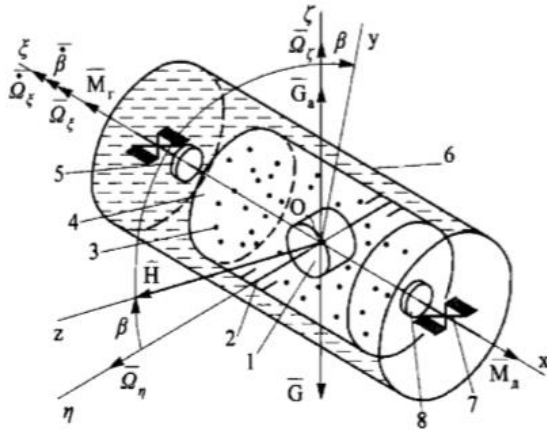


Рис. 63. Схема ПИГ:

1 — гидродвигатель (гиромотор); 2 — главные опоры гироскопа — опоры ротора; 3 — газовая среда (5 % He, 95 % H₂); 4 — корпус поплавка; 5 — датчик угла; 6 — корпус прибора; 7 — опора поплавка; 8 — датчик момента

110

ла. Основной нагрузкой на опору поплавкового гироскопа остается гироскопический момент $H\Omega_\zeta$. Это позволяет применять камневые опоры, виброопоры и магнитные подвесы, которые обеспечивают малые возмущающие моменты. В свою очередь это дает возможность достичь точной балансировки гироскопа, которую осуществляют в два этапа — на воздухе и в жидкости. Балансировка обеспечивает положение центра масс и центра давления в т. O (на оси Ox). В качестве гиромотора применяют синхронный гистерезисный двигатель с частотным управлением, который обеспечивает $H = \text{const}$ (с точностью до $10^{-4} \dots 10^{-5}$).

Запишем уравнение движения ПИГ (см. рис. 63), пренебрегая центробежным инерционным моментом:

$$A_0(\ddot{\beta} + \dot{\Omega}_\zeta) + D\dot{\beta} - H(\Omega_\zeta \cos \beta - \Omega_\eta \sin \beta) + M_x = 0, \quad (73)$$

где $A_0 = A + A_1$ — приведенный момент инерции поплавка с гиромотором (A_1 — момент инерции поплавка относительно оси Ox); M_x — внешний момент.

После преобразований уравнения (73) получим

$$A_0\ddot{\beta} + D\dot{\beta} = H\Omega_\zeta \cos \beta - H\Omega_\eta \sin \beta - A_0\dot{\Omega}_\zeta - M_x. \quad (74)$$

Найдем передаточную функцию $W(s)$ ИГ [2], характеризующую отношения выходной величины β к выходной величине

не Ω_z . Введем (в соответствии с оператором s) обозначения $\dot{\beta} = \beta(s)s$, $\ddot{\beta} = \beta(s)s^2$; при этом $H = \text{const}$, $A_0 = \text{const}$; $D = \text{const}$; $\Omega_z(s)$:

$$\beta(s)(A_0s^2 + Ds) = H\Omega_z(s);$$

$$\beta(s)s(Ts + 1) = i\Omega_z(s);$$

$$W(s) = \frac{\beta(s)}{\Omega_z(s)} = \frac{i}{s(Ts + 1)},$$

где $T = \frac{A_0}{D}$ — постоянная времени ИГ (обычно $T \leq 10^{-3}$ с).

Зная $W(s)$, определяют динамические погрешности ИГ [2].

При $T = 0$ гироскоп — идеальное интегрирующее звено:

$$W(s) = \frac{i}{s}.$$

Нежесткость конструкции крепления ротора приводит к дополнительной степени свободы по углу α и увеличению приведенного момента инерции и, следовательно, T . На рис. 64 нежесткость конструкции крепления ротора и гиросузда услов-

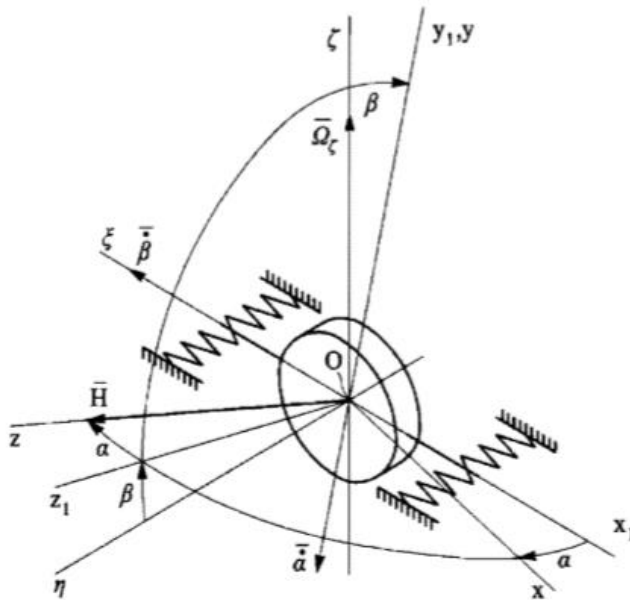


Рис. 64. К выводу уравнений движения ИГ с учетом нежесткости конструкции

113

но иллюстрируется упругой связью (в виде пружин) с приведенной угловой жесткостью K_α . Гироскопический момент $H\dot{\beta}$, действующий на упругую связь (опору), вызывает отклонения по углу α и уравновешивается упругим моментом $K_\alpha\alpha$:

$$H\dot{\beta} = K_\alpha\alpha. \quad (75)$$

Уравнения движения ИГ запишем в соответствии с (74) при $M_x = 0$, $\dot{\Omega}_\xi = 0$, $\Omega_\eta = 0$, $\beta = 0$ и с учетом угловой скорости $\dot{\alpha}$ (см. рис. 64):

$$A_0\ddot{\beta} + D\dot{\beta} = H(\Omega_z - \dot{\alpha}). \quad (76)$$

Определив из равенства (75) $\dot{\alpha} = \frac{H}{K_\alpha}\ddot{\beta}$, получим

$$\left(A_0 + \frac{H^2}{K_\alpha}\right)\ddot{\beta} + D\dot{\beta} = H\Omega_z.$$

2. ДУС с двумя каналами измерения

Стр. 128-130

Трехстепенной датчик угловой скорости, построенный на базе астатического гироскопа

ДУС, построенный на базе трехстепенного гироскопа (рис. 71), применяется в головках самонаведения, системах прицеливания и т. п. В таком приборе трехстепенной гироскоп имеет две системы «перекрестной» обратной связи по моменту,

127

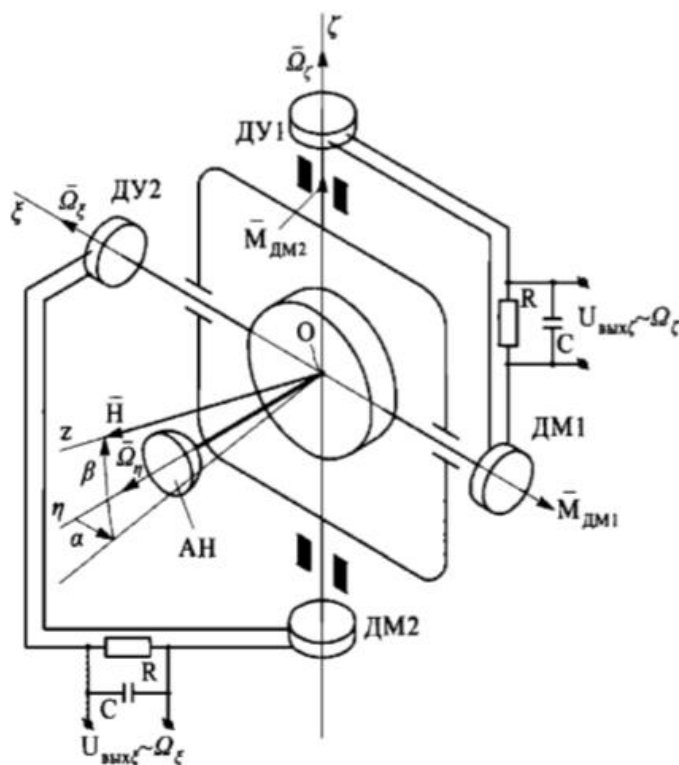


Рис. 71. Схема ДУС с тремя степенями свободы:

АН — антенна наведения

состоящие из датчиков угла (\$ДУ1\$, \$ДУ2\$), усилителей, \$RC\$-цепочек, датчиков момента (\$ДМ1\$, \$ДМ2\$). Устройство слежения за целью крепится на гиросузле: это оптические или тепловизионные устройства, радиоантенны. При появлении угловой скорости \$\Omega_\zeta\$ сигнал с \$ДУ1\$ поступает на \$ДМ1\$, который развивает момент \$M_{ДМ1} = K\alpha\$, вызывающий прецессию гироскопа \$\dot{\alpha} = \frac{K}{H}\alpha\$. Очевидно, что угловая скорость прецессии нарастает до тех пор, пока не сравняется с \$\Omega_\zeta\$:

$$\frac{K}{H}\alpha_* = \Omega_\zeta, \quad \alpha_* = \frac{H\Omega_\zeta}{K},$$

т. е. установившееся значение угла \$\alpha_*\$ пропорционально угловой скорости объекта \$\Omega_\zeta\$ по каналу оси \$O\xi\$. Момент датчика за-

висит от тока i_{DM} : $M_{DM1} = K_{DM}i_{DM} = K\alpha_* = H\Omega_\zeta$, т. е. момент ДМ1 уравновешивает гироскопический момент $H\Omega_\zeta$:

$$i_{DM} = \frac{H}{K_{DM}}\Omega_\zeta.$$

Выходной сигнал снимается с термостабильного сопротивления R :

$$U_{вых\zeta} = R \frac{H}{K_{DM}}\Omega_\zeta = h\Omega_\zeta,$$

где $h = \frac{RH}{K_{DM}}$ — чувствительность ДУС.

Аналогично по каналу оси $O\xi$ $U_{вых\xi} = h\Omega_\xi$. Нестабильность чувствительности $\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta K_{DM}}{K_{DM}}$ во многом определяет точность прибора.

Составим прецессионные уравнения движения ДУС. Для этого определим проекции абсолютной угловой скорости на оси Резаля $Oxuz$ (рис. 72):

$$\begin{aligned}\omega_x &= -\dot{\beta} - \Omega_\xi \cos \alpha - \Omega_\eta \sin \alpha; \\ \omega_y &= (\dot{\alpha} + \Omega_\zeta) \cos \beta - \sin \beta (\Omega_\eta \cos \alpha - \Omega_\xi \sin \alpha); \\ \omega_z &\ll \Omega.\end{aligned}$$

Прецессионные уравнения ДУС ($H = \text{const}$):

$$\begin{aligned}-H\omega_y + K\alpha + M_x &= 0; \\ H\omega_x + \frac{K\beta + M_{y1}}{\cos \beta} &= 0.\end{aligned}$$

Обозначим $\omega_{ссп} = \frac{M_x}{H}$, $\omega'_{ссп} = \frac{M_y}{H}$, $\frac{K}{H} = \varepsilon$. Тогда

$$\begin{aligned}\dot{\alpha} \cos \beta + \Omega_\zeta \cos \beta - \sin \beta (\Omega_\eta \cos \alpha - \Omega_\xi \sin \alpha) - \varepsilon\alpha - \omega_{ссп} &= 0; \\ \cos \beta (\dot{\beta} + \Omega_\xi \cos \alpha + \Omega_\eta \sin \alpha) - \varepsilon\beta - \omega'_{ссп} &\approx 0.\end{aligned}$$

Для малых α и β получим

$$\begin{aligned}\dot{\alpha} - \varepsilon\alpha &= -\Omega_\zeta + \beta\Omega_\eta + \omega_{ссп}; \\ \dot{\beta} - \varepsilon\beta &= -\Omega_\xi - \alpha\Omega_\eta + \omega'_{ссп}.\end{aligned}\tag{87}$$

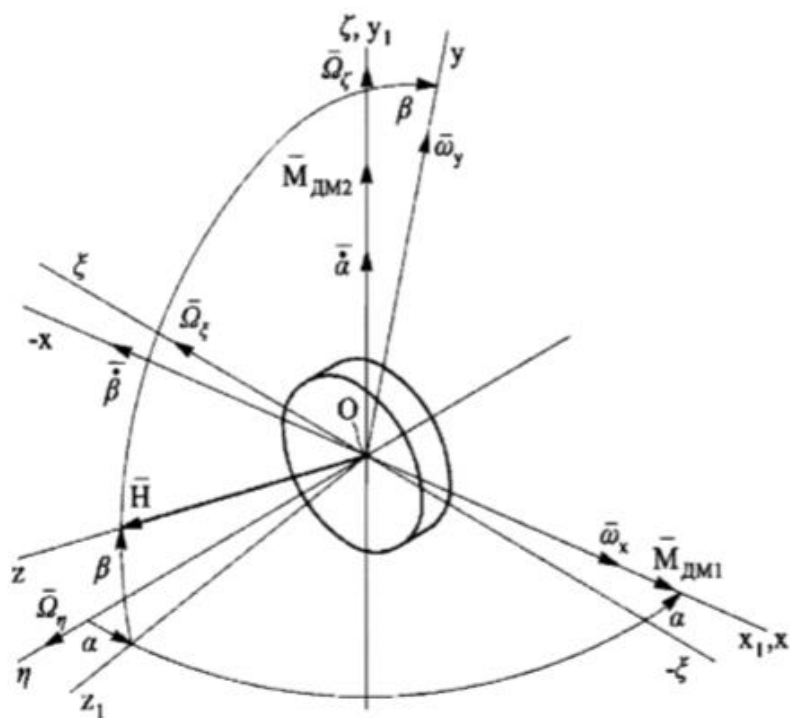


Рис. 72. К выводу уравнений движения ДУС с тремя степенями свободы

Составляющие $\beta\Omega_\eta$, $\alpha\Omega_\eta$ определяют погрешность прибора, обусловленную перекрестной угловой скоростью Ω_η , поэтому необходимо обеспечить работу ДУС при малых α и β .

Погрешности, вызванные ССП, уменьшаются при малых M_x , M_{y1} и увеличении ϵ , значение которого выбирают из условий устойчивости системы. При отсутствии погрешности (87) $\alpha = \frac{\Omega_\zeta}{\epsilon}$, $\beta = \frac{\Omega_\xi}{\epsilon}$. Часто такой двухкомпонентный ДУС выполняют на базе трехстепенного гироскопа с внутренним кардановым подвесом.