

6. ИНТЕГРИРУЮЩИЙ ГИРОСКОП

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 поплавок-ные интегрирующие гироскопы (ПИГ); автором первого патента на такой гироскоп (1943 г.) является профессор Ткачев.

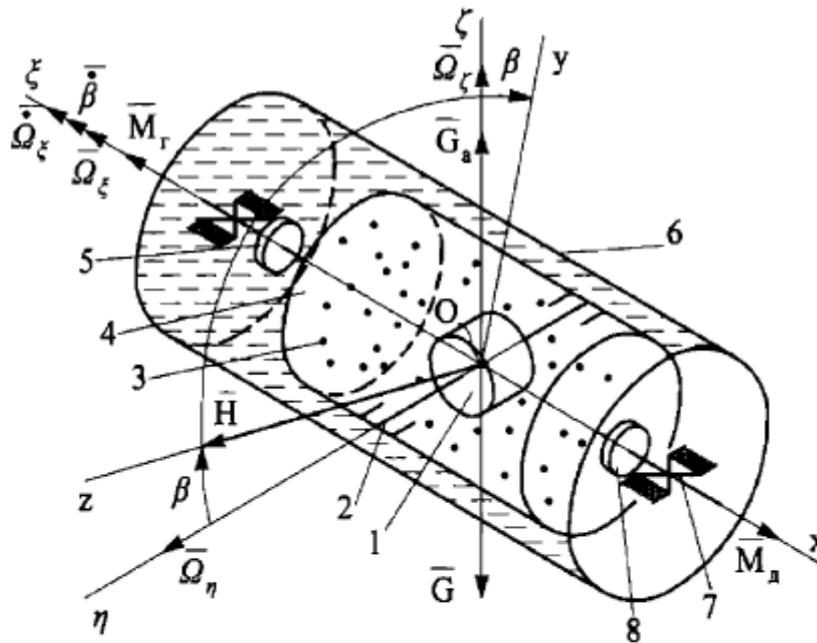


Рис. 63. Схема ПИГ:

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

В соответствии с рис. 63 гироскопический момент $M_r = H\Omega_z \cos\beta$ уравновешивается демпфирующим моментом $M_d = D\dot{\beta}$; при $\beta \rightarrow 0$

$$D\dot{\beta} = H\Omega_z.$$

Проинтегрировав это уравнение, получим (при нулевых постоянных интегрирования)

$$\beta = \frac{H}{D} \int \Omega_z(t) dt = i\psi,$$

где $i = \frac{H}{D}$ — передаточное число ИГ; ψ — угол поворота основания (объекта).

Выходное напряжение ИГ

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{ДУ}} i \psi = i' \psi,$$

где $K_{\text{ДУ}}$ — крутизна выходной характеристики ДУ; $i' = iK_{\text{ДУ}}$.

Нестабильность передаточного отношения i' ИГ характеризуется зависимостью

$$\frac{\Delta i'}{i'} = \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta K_{\text{ДУ}}}{K_{\text{ДУ}}}.$$

Основная причина неустойчивости выходной характеристики ИГ — изменение удельного демпфирующего момента D , который во многом зависит от вязкости поддерживающей жидкости. Для поплавкового гироскопа

$$D = \frac{2\pi r^3 l}{981\delta} \mu,$$

где r, l — радиус и длина поплавка; $\delta \approx 0,1$ мм — зазор (см. рис. 20); μ — динамическая вязкость жидкости.

Используют «тяжелые» жидкости с плотностью $\rho = 1,9 \dots 2,4$ г/см³. Вязкость μ зависит от температуры; при 75...85 °С ее значение близко к постоянному. Поэтому, как правило, применяют систему термостатирования прибора, обеспечивающую стабильность поддержания температуры жидкости с точностью до 0,1...0,01 °С. Сильфон обеспечивает давление на жидкость при изменении температуры (см. рис. 20).

Поскольку сила G_a практически разгружает опоры от нагрузки G , то остаточная плавучесть $\Delta G = G_a - G$ весьма ма-

ла. Основной нагрузкой на опору поплавкового гироузла остается гироскопический момент $H\Omega_{\xi}$. Это позволяет применять камневые опоры, виброопоры и магнитные подвесы, которые обеспечивают малые возмущающие моменты. В свою очередь это дает возможность достичь точной балансировки гироузла, 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 гиromотора применяют синхронный гистерезисный двигатель с частотным управлением, который обеспечивает $H = \text{const}$ (с точностью до $10^{-4} \dots 10^{-5}$).

На динамику ДУС заметно влияет нежесткость конструкции крепления ротора. Воспользуемся упрощенной конструктивной схемой крепления гиросузда (см. рис. 64). Упругая связь с приведенной угловой жесткостью K_α обуславливает дополнительную степень свободы. Уравнение движения ротора вокруг оси Oy при малых α и β

$$B_0\ddot{\alpha} + D_\alpha\dot{\alpha} + K_\alpha\alpha = H\dot{\beta}, \quad (84)$$

где B_0 — приведенный момент инерции гиросузда относительно оси Oy ; D_α — удельный демпфирующий момент относительно оси Oy .

Считая, что вокруг оси Oy колебания быстро затухают, запишем уравнение (84) в виде

$$K_\alpha\alpha = H\dot{\beta}; \quad (85)$$

гироскопический момент при этом уравновешивается упругим моментом.

Уравнение движения относительно оси Ox

$$A_0\ddot{\beta} + D\dot{\beta} + K\beta = H(\Omega_\zeta - \dot{\alpha}). \quad (86)$$

Подставив $\dot{\alpha} = \frac{H}{K_\alpha}\ddot{\beta}$ в выражение (86), получим

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

Собственная частота $\omega'_0 = \sqrt{\frac{K}{A_0 + H^2/K_\alpha}}$ ДУС с нежесткой конструкцией меньше $\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{A_0}}$, следовательно, возрастают погрешности $\Delta_{\text{дин}}$ и φ . Как правило, $\omega'_0 \approx (0,85 \dots 0,90)\omega_0$.

Оценим динамическую погрешность ДУС при использовании в БИНС. Выходной сигнал ДУС $U_{\text{вых}} = h\Omega_\zeta$ интегрируется:

$$U_{\text{и}} = K_{\text{и}} \int_0^t U_{\text{вых}}(t) dt = K_{\text{и}} h \psi,$$

где $\psi = \int_0^t \Omega_\zeta(t) dt$.

Передаточную функцию ДУС $W(s) = U_{\text{вых}}(s)/\Omega_\zeta(s)$ можно определить из уравнения $\ddot{\beta} + 2\xi\omega_0\dot{\beta} + \omega_0^2\beta = \frac{H}{A_0}\Omega_\zeta$.

После преобразований

$$K_{ДУ}\beta(s)(s^2 + 2\xi\omega_0s + \omega_0^2) = \frac{H}{A_0}\Omega_\zeta(s)K_{ДУ};$$

$$U_{\text{вых}}(s) \left(\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{2\xi}{\omega_0}s + 1 \right) = h\Omega_\zeta(s).$$

Тогда

$$W(s) = \frac{U_{\text{вых}}(s)}{\Omega_\zeta(s)} = \frac{h}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}s + \frac{s^2}{\omega_0^2}}; \quad U_{\text{вых}}(s) = W(s)\Omega_\zeta(s).$$

При идеальном интегрировании $U_1(s) = K_{\text{и}}h\Omega_\zeta(s)s^{-1} = K_{\text{и}}h\psi_1(s)$.

С учетом $W(s)$ («реальный» сигнал): $U_2(s) = K_{\text{и}}W(s)\Omega_\zeta(s)s^{-1} = K_{\text{и}}h\psi_2(s)$.

Погрешность измерения по углу

$$\begin{aligned} \Delta\psi(s) &= \psi_1(s) - \psi_2(s) = \frac{U_1(s) - U_2(s)}{K_{\text{и}}h} = \\ &= \Omega_\zeta(s) \frac{\frac{2\xi}{\omega_0} + \frac{s}{\omega_0^2}}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}s + \frac{s^2}{\omega_0^2}}. \end{aligned}$$

Полагая Ω_ζ медленно изменяющимся (по сравнению с периодом собственных колебаний $T = 2\pi/\omega_0$), получим погрешность измерения угла $\Delta\psi(t) = \frac{2\xi}{\omega_0}\Omega_\zeta(t)$, которая зависит от измеряемой угловой скорости Ω_ζ объекта. При уменьшении ω_0 погрешность измерения возрастает.