

1. ДУС с механич пружиной

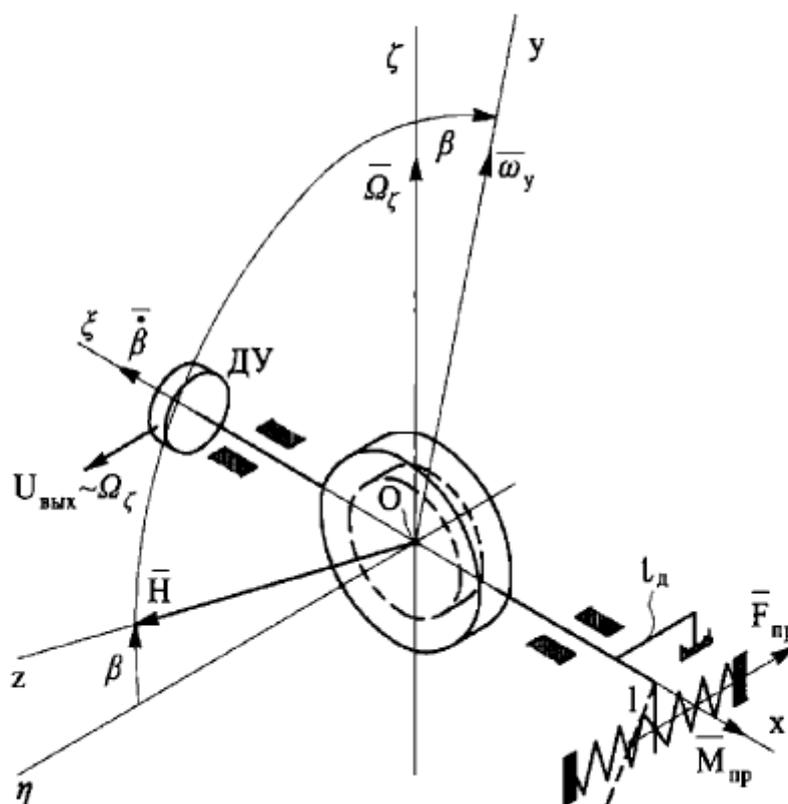
Начинается на стр. 33 (32) со слов: “При наличии упругой связи 3 оси гиросузла”

Еще в лекциях 6-10 IMG_9505

Стр. 119 (118)

Что за l?**Датчики угловой скорости, построенные на базе двухстепенного гироскопа**

Для измерения угловой скорости $\bar{\Omega}_\zeta$ объекта ось гиросузла двухстепенного гироскопа соединяют упругой связью с основанием (рис. 67). Вектор \bar{H} ДУС выставляют перпендикулярно к вектору $\bar{\Omega}_\zeta$ измеряемой угловой скорости. При отклонении гироскопа на угол β и действии гироскопического момента $H\Omega_\zeta \cos \beta$ возникает упругий момент $K\beta$ (K — приведенная уг-

**Рис. 67.** Схема ДУС с механической пружиной

ловая жесткость упругой связи гиروزла с основанием). Например, для схемы на рис. 67 упругий момент $M_{\text{пр}} = F_{\text{пр}}l = c l \beta \cdot l = c l^2 \beta = K \beta$, где c — жесткость пружины; $K = c l^2$ — приведенная жесткость.

Гироскопический момент M_g уравнивается упругим моментом $M_{\text{пр}}$:

$$K \beta = H \Omega_z \cos \beta.$$

При малых β (см. выражение (23))

$$\beta = \frac{H}{K} \Omega_z, \quad (80)$$

т. е., измеряя угол β , получают информацию об угловой скорости, которая снимается с ДУ:

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{ДУ}} \beta = K_{\text{ДУ}} \frac{H}{K} \Omega_z = h \Omega_z,$$

где $K_{\text{ДУ}}$ — крутизна характеристики ДУ по напряжению; $h = K_{\text{ДУ}} \frac{H}{K}$ — чувствительность ДУС.

Изменение Δh чувствительности приводит к погрешности прибора $\Delta h \Omega_z$:

$$U_{\text{вых}} = (h + \Delta h) \Omega_z = h \Omega_z + \Delta h \Omega_z.$$

Определим Δh , прологарифмировав величину h : $\ln h = \ln K_{\text{ДУ}} + \ln H - \ln K$; продифференцировав и перейдя к приращениям, получим (при суммировании погрешностей) относительное изменение чувствительности:

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta K_{\text{ДУ}}}{K_{\text{ДУ}}} + \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta K}{K}.$$

Оценим приближенно относительную погрешность (в %). В качестве датчиков угла применяют потенциометрические, индукционные, индуктивные и др.; для датчика угла выберем погрешность (нестабильность характеристики) $\frac{\Delta K_{\text{ДУ}}}{K_{\text{ДУ}}} \cdot 100 \leq 1\%$. Наиболее часто для ДУС с механической пружиной применяют асинхронный гидродвигатель; тогда $\frac{\Delta H}{H} \cdot 100 < 5\%$.

Нестабильность жесткости механической пружины во многом определяется старением материала, изменением темпера-

туры окружающей среды и другими факторами и достигает значительной величины: $\frac{\Delta K}{K} \cdot 100 \geq 10 \%$.

Суммарная погрешность ДУС с механической пружиной существенна ($\approx 16 \%$). Поэтому для прецизионных систем применяют ДУС с электропружиной, который иногда называют компенсационным ДУС, или ДУС с отрицательной обратной связью (рис. 68).

2. Модель погрешностей интегрирующего гироскопа (2ч)
Стр. 112-114, 117

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

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

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

После преобразований уравнения (73) получим

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

Методические погрешности, связанные с наличием Ω_η и Ω_ξ , малы. Погрешность, вызванная с действием возмущающих моментов, определяется из очевидного соотношения $H\Omega_{\zeta\min} > M_x^{\text{вп}}$. Эту погрешность определяют как собственную скорость прецессии ИГ:

$$\omega_{\text{ССП}} = \frac{M_x^{\text{вп}}}{H}.$$

Модель погрешности ИГ от перегрузки n записывается в соответствии с методикой, изложенной выше (см. выражение (41)):

$$\omega_{\text{ССП}}(n) = \omega_0 + \omega_1(g)n + \omega_2(g^2)n^2 + \dots$$

При более точных расчетах $\omega_{\text{ССП}}(n)$ модель может быть расширена до 12 составляющих и более [2].

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

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

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

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

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

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 гирузла услов-

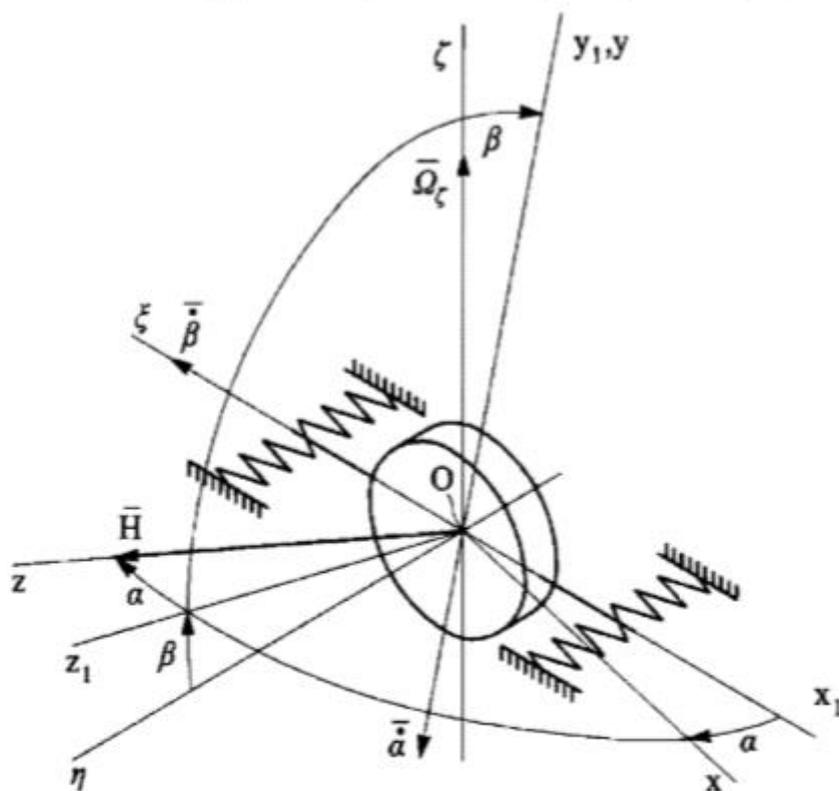


Рис. 64. К выводу уравнений движения ИГ с учетом нежесткости конструкции

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):

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

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

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

Постоянная времени $T' = \frac{A_0K_\alpha + H^2}{K_\alpha D} > T = \frac{A_0}{D}$, возрастает, следовательно, нежесткость конструкции ведет к увеличению динамических погрешностей ИГ.

Определим нагрузку F на опоры. Гироскопический момент $H\dot{\beta}$ уравновешивается моментом реакции опор $FL = H\dot{\beta}$. Отсюда $F_{\max} = \frac{H}{L}\dot{\beta} = \frac{Hi}{L}\Omega_{\xi\max}$, где L — расстояние между опорами.

Видно, что с увеличением передаточного отношения i повышается нагрузка на опоры, поэтому для ПИГ $i \leq 8 \dots 10$, для ИГ космических ЛА (КЛА) $i \leq 50 \dots 100$.

Отметим, что расчет погрешности ИГ имеет различия в зависимости от применения ИГ в «свободном» (рис. 65, а) и «замкнутом» (рис. 65, б) режимах работы системы.

Запишем уравнение движения ИГ (74) для свободного (разомкнутого) режима в виде

$$D\dot{\beta} = H\Omega_\zeta - M_x. \quad (77)$$

Например, при действии на КЛА (см. рис. 65, а) возмущающего момента M_ζ $\dot{\beta} = \frac{M_\zeta}{H}$.

Определим погрешность $\Delta\psi$ стабилизации КЛА по углу $\psi = \Omega_\zeta t$:

$$\Delta\psi = \omega_{\text{ссп}}t + \frac{M_\zeta}{iH}t. \quad (78)$$

Погрешность (78) имеет две составляющие, связанные с $\omega_{\text{ССП}} = \frac{M_x}{H}$ и действием момента M_z , которые нарастают со временем. Для схемы одноосного гиросtabilизатора (см. рис. 65, б), состоящей из датчика угла ДУ, усилителя У и двигателя разгрузки ДР, в установившемся режиме, когда внешний момент M_{y1} полностью уравнивается моментом $M_p = K_p \beta = M_{y1}$ разгрузки (здесь K_p — крутизна характеристики системы разгрузки), погрешность системы стабилизации запишем, интегрируя уравнение (77):

$$D\beta = H\Delta\alpha - M_x t,$$

откуда

$$\Delta\alpha = \omega_{\text{ССП}} t + \frac{M_{y1}}{iK_p}, \quad (79)$$

где $\beta = \frac{M_{y1}}{K_p}$.

При замкнутом режиме работы погрешность, связанная с действием момента M_{y1} на платформу (объект стабилизации), не зависит от времени и уменьшается с увеличением K_p (ср. с выражением (78)).