

Билет 12

1. Модель погрешностей трехстепенного гироскопа (омега перегрузки)

Под действием вредных (возмущающих) моментов гироскоп прецессирует (см. формулу (19)), утрачивая способность сохранять первоначальное положение в инерциальном пространстве. Угол θ отклонения гироскопа за заданное время Δt называют дрейфом (или уходом) гироскопа:

$$\theta = \frac{M_{вр}}{H} \Delta t = \omega_{ССП} \Delta t, \quad (33)$$

где $\omega_{ССП}$ — собственная скорость прецессии (ССП), или скорость дрейфа (ухода) гироскопа.

Практическая гироскопия до конца XX в. была связана во многом с проблемой уменьшения вредных моментов, действующих на гироскоп. Применялись опоры «сухих» гироскопов с малым трением: специальные шарикоподшипниковые, газостатические и упругие опоры, магнитные и электростатические подвесы и т. д. Созданы поплавковые гироскопы (в отличие от «сухих» гироскопов, в которых ротор вращается в герметичной камере-поплавке, помещенной в жидкость); в этом случае архимедова сила разгружает чувствительные опоры — опоры поплавка (см. рис. 20). Впоследствии разрабатываются гироскопы, не имеющие быстровращающегося ротора и карданова подвеса.

Собственная скорость прецессии (дрейфа)

$$\omega_{ССП} = \omega_0 \pm \Delta\omega_{сл}, \quad (34)$$

где ω_0 — постоянная составляющая ССП (обычно устанавливают при испытаниях гироскопа в заводских условиях или определенных режимах эксплуатации объекта); $\Delta\omega_{сл}$ — случайная составляющая ССП.

Величину ω_0 можно учитывать при обработке информации, алгоритмической компенсации погрешностей гироскопа или компенсировать приложением управляющего (компенсационного) момента $M_{упр} = H\omega_0$.

В 1960-е годы появился термин «модель погрешности гироскопа», под которым подразумевалась, как правило, аналитическая зависимость скорости дрейфа от условий эксплуатации: перегрузки, температуры, времени эксплуатации и др.

Применение этого термина имело следующие цели:

- разработка унифицированного паспорта giroприбора (независимо от фирмы-изготовителя);

- создание единой методики оценки погрешностей гироскопов на стадии изготовления и приемосдаточных испытаний, которая позволяет вмешиваться в процесс балансировки и регулировки прибора для повышения его точности;

- разработка методики прогнозирования погрешности giroприбора в процессе эксплуатации и методов алгоритмической компенсации погрешностей giroприборов и гиросистем.

Рассмотрим простейшую модель погрешности трехстепенного гироскопа с шарикоподшипниковыми опорами (рис. 31, а) при наличии линейной перегрузки $n_\zeta = \frac{W_\zeta}{g}$, $n_\eta = \frac{W_\eta}{g}$, $n_\xi = \frac{W_\xi}{g}$, где W_ξ , W_η , W_ζ — проекции ускорений объекта на оси $O\xi$, $O\eta$, $O\zeta$.

Возмущающий (вредный) момент шарикоподшипниковой опоры внутренней рамки гироскопа

$$M_{шп} = M_0 + K_r F_r + K_a F_a, \quad (35)$$

где M_0 — составляющая возмущающего момента опоры, которая не зависит от нагрузки; F_r , F_a — радиальная и осевая силы, действующие на опору; K_r , K_a — коэффициенты, определяемые по справочнику в зависимости от типа, конструкции и условий эксплуатации шарикоподшипников.

В рассматриваемом случае

$$F_r = m \sqrt{W_\zeta^2 + W_\eta^2} = mW_r = Gn_r;$$

$$F_a = mW_\xi = Gn_\xi,$$

где m — масса гиروزла (ротора и внутренней рамки);

$$n_r = \sqrt{W_\zeta^2 + W_\eta^2} / g.$$

Учтем разбалансировку гиروزла, характеризуемую смещением центра масс гиروزла относительно т. O в осевом l_z и радиальном l_y направлениях (рис. 31, б). Момент, вызванный разбалансировкой,

$$M_{px} = mW_\zeta l_z - mW_\eta l_y = G(l_z n_\zeta - l_y n_\eta). \quad (36)$$

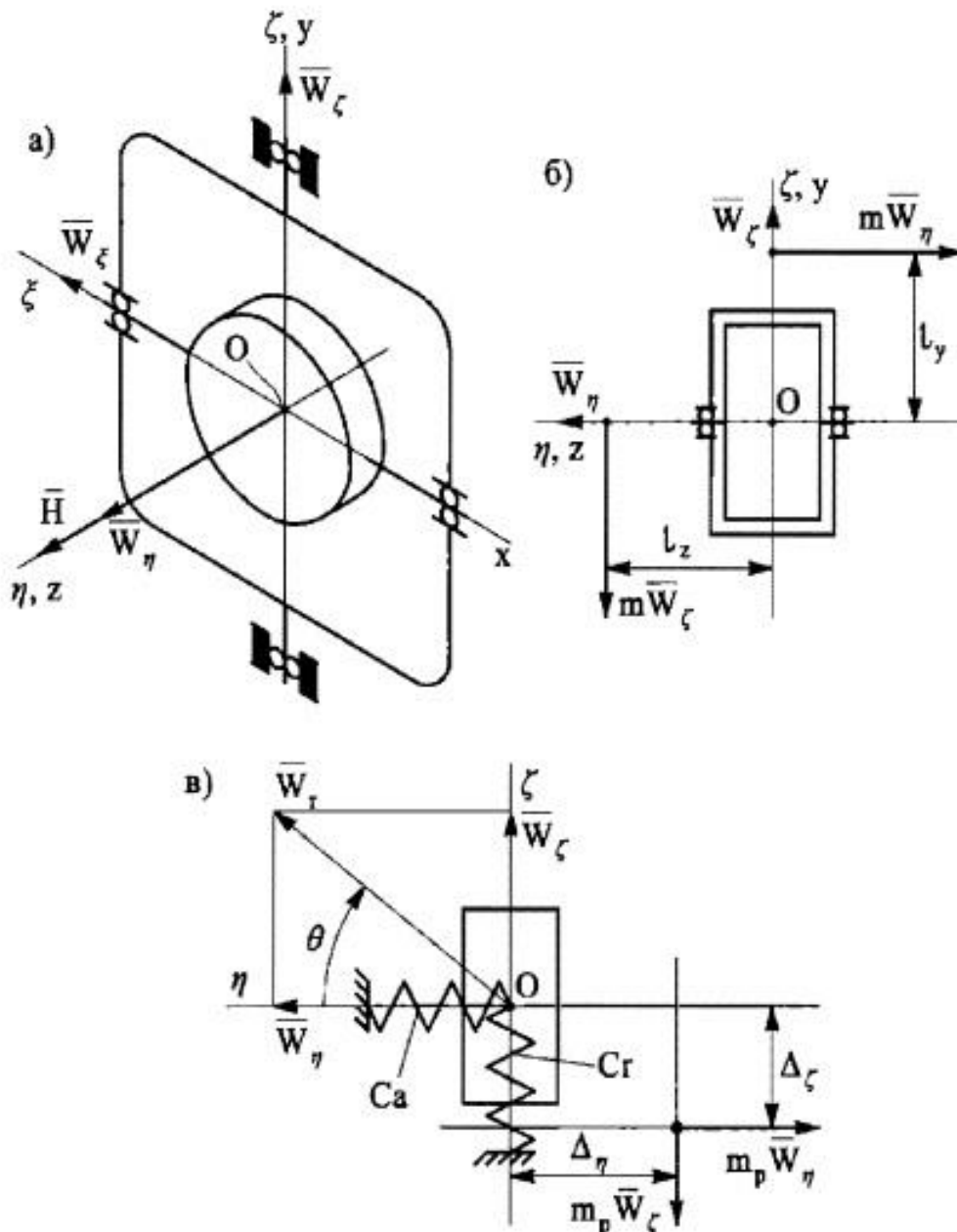


Рис. 31. К определению моментов, действующих вокруг оси Ox гиروزла

Для упрощения выкладок учтем только осевую разбалансировку:

$$M_{px} = Gl_z n_\zeta. \quad (37)$$

Определим момент, вызванный неравножесткостью крепления ротора в главных опорах гироскопа. Механическая модель ротора показана на рис. 31, в, где C_r, C_a — приведенные жесткости крепления ротора в радиальном и осевом направлениях.

Инерционная сила $m_p W_\zeta$ вызовет смещение центра масс m_p ротора $\Delta_\zeta = \frac{m_p W_\zeta}{C_r}$, а $m_p W_\eta$ — смещение $\Delta_\eta = \frac{m_p W_\eta}{C_a}$. Следовательно, вокруг оси Ox возникает возмущающий момент, вызванный нежестким креплением ротора:

$$M_{нж} = m_p W_\eta \Delta_\zeta - m_p W_\zeta \Delta_\eta = m_p^2 W_\zeta W_\eta \left(\frac{1}{C_r} - \frac{1}{C_a} \right). \quad (38)$$

Обычно $C_r > C_a$; обозначив $K_{нж} = \frac{1}{C_a} - \frac{1}{C_r}$, $W_\zeta = W_r \cos \theta$, $W_\eta = W_r \sin \theta$, получим $M_{нж} = -0,5 G_p^2 n_r^2 K_{нж} \sin 2\theta$ и максимальные значения ($n_r = W_r/g$)

$$M_{нж \max} = -0,5 K_{нж} G_p^2 n_r^2. \quad (39)$$

Просуммируем уравнения (35), (37), (38) и разделим сумму моментов на H . Тогда

$\omega_{ССП}(n) = \omega_0 + \omega_{1r}(g)n_r + \omega_{1a}(g)n_\xi + \omega_{1p6}(g)n_\zeta + \omega_2(g^2)n_r^2$;
где $\omega_0 = \frac{M_0}{H}$, $\omega_{1r}(g) = \frac{K_r G}{H}$, $\omega_{1a}(g) = \frac{K_a G}{H}$, $\omega_{1p6}(g) = \frac{l_z G}{H}$,
 $\omega_2(g^2) = \frac{0,5 K_{нж} G_p^2}{H}$ — удельные составляющие скорости дрейфа (ССП).

Приняв $n_r = n_\zeta = n_\xi = n$, получим более простую зависимость для зависимости скорости дрейфа от перегрузки:

$$\omega_{др}(n) = \omega_0 + \omega_1(g)n + \omega_2(g^2)n^2, \quad (40)$$

где $\omega_1(g) = \omega_{1r}(g) + \omega_{1a}(g) + \omega_{1p6}(g)$.

Нелинейность жесткостной характеристик главных опор гироскопа, погрешности геометрической формы шарикоподшипниковых опор и другие несовершенства конструкции при-

водят к более сложной зависимости модели погрешности гироскопа от степени перегрузки:

$$\omega_{др} = \sum_{i=0}^{i=n} \omega_i (g^i) n^i. \quad (41)$$

При больших перегрузках степени i могут быть нецелыми числами (например, $i = 1,5$); максимальная степень $i \leq 5$.

Зависимость погрешности гироскопа от температуры Δt ($^{\circ}\text{C}$) с учетом скорости изменения температуры (модель погрешности) имеет вид

$$\omega_{др}(\Delta t \text{ } ^{\circ}\text{C}) = \sum_{i=0}^{i=m} \omega_i (\Delta t^i) \Delta t^i + K_{\Delta t} \frac{\Delta t}{t}, \quad (42)$$

где $\omega_i(\Delta t^i)$, $K_{\Delta t}$ — удельные составляющие ССП.

В инженерной практике $m \leq 2$, т. е. i принимает значение 0, 1, 2; наиболее часто выбирают $i = 1$.

Временные зависимости $\omega_{др}$ более сложные, и их определяют экспериментальным путем. В одном запуске часто $\omega_{др}$ в среднем изменяется по экспоненциальному закону (рис. 32, а), реже по линейной зависимости и др. Время переходного процесса может быть значительным — до нескольких часов в зависимости от типа конструкции гироскопа. Всегда имеется разброс $\Delta\omega$ среднего значения $\omega_{др}$ от запуска к запуску прибора (рис. 32, б), что затрудняет алгоритмическую компенсацию погрешностей гироскопа.

2. Добротность лазерного ДУС

(полностью про ЛДУС есть в 11 билете)

Важной характеристикой ЛДУС является коэффициент добротности, который учитывает отношение энергии N , поступающей в резонатор, к потерям энергии N_{π} (за счет отражения, дифракции и т. д.):

$$Q = \omega_0 \frac{N}{N_{\pi}} = 2\pi f_0 \frac{N}{N_{\pi}}, \quad (113)$$

где $f_0 = f_{01} = f_{02}$ — частота встречных бегущих волн генерации (лучи 1 и 2) при $\Omega_z = 0$.

За время t_0 обхода лучом оптического контура L потери энергии

$$N_{\pi} = \frac{\eta N}{t_0} = \frac{\eta N c}{L},$$

где η — коэффициент потерь энергии.

Подставив N_{π} в формулу (113), получим

$$Q = 2\pi \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{NL}{\eta N c} = 2\pi \frac{L}{\lambda \eta} = 2\pi \frac{m}{\eta},$$

где $\lambda = 0,633$ мкм — длина волны неона.

Коэффициент η мал, поэтому добротность ЛДУС достаточно высокая ($Q \approx 10^9$) по сравнению с ВОГ, что обеспечивает высокую чувствительность ЛДУС.