

## ОБ ОДНОМ ИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ УХОДОВ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРОВ

А. М. МАЛЫШЕНКО, Л. И. ТКАЧЕВ

(Представлена научным семинаром  
кафедры автоматики и телемеханики)

Гиростабилизатор, представляющий собой трехстепенный гироскоп с межрамочной коррекцией, нашел широкое применение в гироскопических приборах и системах. Его принцип положен в основу гироскопов направления, гирополукомпасов, гирорам и т. п. [1-3].

Исследования работы гиростабилизатора показали [3, 4], что качания основания, на котором он установлен, вызывают его уход относительно оси стабилизации. Эти уходы могут быть столь велики, что ошибка прибора будет превышать допустимое значение. По этой причине, например, гироскопы направления и гирополукомпасы устанавливаются на стабилизированных основаниях [1].

С целью выявления зависимости ухода гиростабилизатора от параметров качаний основания, составим уравнения его движения.

Свяжем (рис. 1) с основанием правый прямоугольный трехгранник осей  $x, y, z$  так, что ось  $z$  перпендикулярна, а оси  $x$  и  $y$  лежат в плоскости основания. Гироскоп установлен таким образом, что ось его наружного кольца совпадает с осью  $z$  основания. С наружным кольцом связан трехгранник осей  $x_n, y_n, z_n$ , а с внутренним — трехгранник  $HPS$  (оси Резаля). Ориентация вышеназванных осей указана на рис. 1. Ось  $H$  — ось собственного вращения гироскопа; ось  $P$  в дальнейшем будем называть осью прецессии, а ось  $S$  — осью стабилизации.

Введем следующие обозначения:

$\vartheta$  — угол поворота наружного кольца гироскопа относительно основания, измеряемый между осями  $x$  и  $z_n$  (или между осями  $y$  и  $y_n$ );

$\varepsilon$  — отклонение угла между наружным и внутренним кольцами гироскопа от  $90^\circ$  (угол прецессии).

В процессе работы гиростабилизатора угол  $\varepsilon$  остается малым по абсолютной величине, поэтому можно принять

$$\sin \varepsilon \approx \varepsilon; \quad \cos \varepsilon \approx 1.$$

Угол  $\vartheta$  поворота наружного кольца относительно основания может принимать любое значение в пределах  $0-360^\circ$ , однако при работе гиростабилизатора угол  $\vartheta$  не может резко изменяться, поэтому его можно представить в виде суммы

$$\vartheta = \theta_0 + \theta,$$

где  $\theta_0$  — среднее значение угла  $\vartheta$ ;

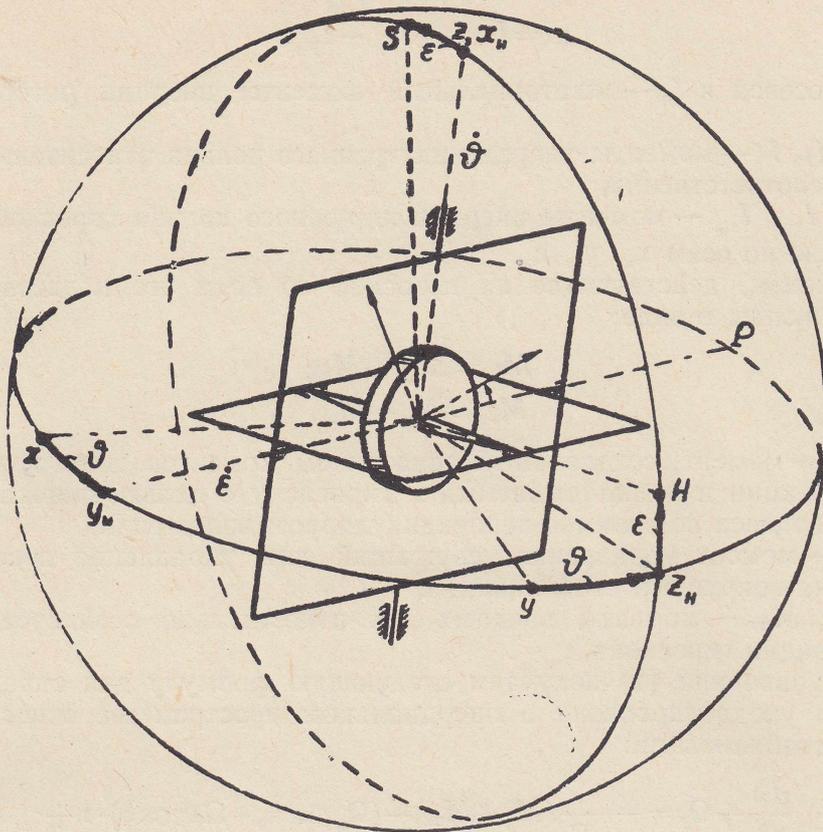


Рис. 1.

$\theta$  — малое отклонение угла  $\varphi$  от среднего значения.

С учетом вышеуказанных замечаний уравнения движения гиростабилизатора могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned}
 C \frac{d^2 \theta}{dt^2} - H(\Omega_x \sin \theta_0 - \Omega_y \cos \theta_0) \cdot \theta + H \frac{d\varepsilon}{dt} = M_\theta - C \frac{d\Omega_z}{dt} - \\
 - H(\Omega_x \cos \theta_0 + \Omega_y \sin \theta_0) + (A - D) \Omega_x \Omega_y \cos 2\theta_0 - \\
 - \frac{1}{2} (A - D)(\Omega_x^2 - \Omega_y^2) \sin 2\theta_0;
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 A \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} - H(\Omega_x \sin \theta_0 - \Omega_y \cos \theta_0) \varepsilon - H \frac{d\theta}{dt} = M_\varepsilon + H\Omega_z - \\
 - A \left( \frac{d\Omega_x}{dt} \cos \theta_0 + \frac{d\Omega_y}{dt} \sin \theta_0 \right) - B\Omega_z (\Omega_x \sin \theta_0 - \Omega_y \cos \theta_0).
 \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$M_\theta, M_\varepsilon$  — моменты внешних сил, действующих соответственно на наружное и внутреннее кольца подвеса гироскопа относительно осей  $x$  и  $P$  их собственного вращения;

$H$  — собственный кинетический момент гироскопа;

$$A = I_3 + I_p; \quad (3)$$

$$B = I + I_n - I_s - I_3; \quad (4)$$

$$C = I_{\vartheta} + I_S + I_{x_H}; \quad (5)$$

$$D = I + I_H + I_{z_H} - I_{y_H}; \quad (6)$$

$I$  — осевой и  $I_S$  — экваториальный моменты инерции ротора гироскопа;

$I_H, I_P, I_S$  — моменты инерции внутреннего кольца относительно осей  $H, P, S$  соответственно;

$I_{x_H}, I_{y_H}, I_{z_H}$  — моменты инерции наружного кольца гироскопа соответственно по осям  $x_H, y_H, z_H$ .

Моменты, действующие на гироскоп по осям его подвеса, могут быть записаны в виде:

$$M_{\theta} = M_{MK} + M_{B\theta}; \quad (7)$$

$$M_{\varepsilon} = M_y + M_{B\varepsilon}, \quad (8)$$

где  $M_{MK}$  — момент, создаваемый задатчиком моментов цепи межрамочной коррекции и прикладываемый к гироскопу с целью удержания колец его подвеса во взаимно-перпендикулярном положении;

$M_y$  — момент управления, служащий для управления поворотами гироскопа вокруг оси стабилизации;

$M_{B\theta}, M_{B\varepsilon}$  — моменты вредных сил относительно осей прецессии и стабилизации гироскопа.

Из уравнения (2) получаем следующую формулу для определения скорости ухода гироскопа в инерциальном пространстве относительно оси его стабилизации:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} + \Omega_z = -\frac{1}{H} (M_y + M_{B\varepsilon}) - (\Omega_x \sin \theta_0 - \Omega_y \cos \theta_0) \cdot \varepsilon + \\ + \frac{B}{H} \Omega_z (\Omega_x \sin \theta_0 - \Omega_y \cos \theta_0) + \frac{A}{H} \left( \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + \frac{d\Omega_x}{dt} \cos \theta_0 + \frac{d\Omega_y}{dt} \sin \theta_0 \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Отсюда видно, что скорость ухода гиросtabilизатора содержит составляющие, зависящие от качаний основания. Если угол прецессии и проекции угловой скорости качаний основания на оси  $x, y, z$  имеют сдвинутые по фазе гармонические составляющие одинаковой частоты, то будет иметь место систематический уход гиросtabilизатора с угловой скоростью

$$\begin{aligned} \Omega_c = -\frac{1}{2} \varepsilon_m (\Omega_{xm} \sin \theta_0 - \Omega_{ym} \cos \theta_0) (\cos \psi_{\varepsilon x} - \cos \psi_{\varepsilon y}) + \\ + \frac{B}{H} \Omega_{zm} (\Omega_{xm} \sin \theta_0 - \Omega_{ym} \cos \theta_0) (\cos \psi_{\varepsilon x} - \cos \psi_{\varepsilon y}), \end{aligned} \quad (10)$$

где индекс  $m$  обозначает амплитудные значения гармоник, а  $\psi_{ij}$  — фазовый сдвиг между гармониками величин  $i$  и  $j$  ( $i = \varepsilon, z; j = x, y$ ).

Скорость систематического ухода гиросtabilизатора вследствие качаний объекта (основания) может достигать недопустимых значений. Для примера рассмотрим частный случай, когда

$$H = 50000 \text{ Гсм/сек};$$

$$B = 1 \text{ Гсм/сек}^2;$$

$$\theta_0 = 90^\circ;$$

$$\Omega_{xm} = \Omega_{ym} = \Omega_{zm} = 0,1 \text{ 1 сек};$$

$$\varepsilon_m = 0,001 \text{ рад};$$

$$\cos \psi_{\epsilon x} = \cos \psi_{\epsilon y} = 1.$$

При этих условиях скорость систематического ухода гиросtabilизатора будет равна

$$\Omega_c = 10,28 \text{ град/час},$$

что во многих случаях является совершенно недопустимым.

Следует отметить, что две последние составляющие скорости ухода гиросtabilизатора в (9) много меньше составляющей

$$\Omega_k = (\Omega_x \sin \theta_0 - \Omega_y \cos \theta_0) \cdot \epsilon, \quad (11)$$

которая получила название кинематического ухода [3, 4].

При случайных колебаниях основания величина кинематической составляющей скорости ухода гиросtabilизатора будет также случайной величиной, однако, как показано в работе [5], математическое ожидание скорости  $\Omega_k$  будет отличаться от нуля, если угловые скорости колебаний основания  $x, y, z$  будут взаимно коррелированы.

Отсюда следует заключить, что в тех случаях, когда основание гиросtabilизатора совершает существенные угловые колебания, достигающие по амплитуде нескольких дуговых градусов, возможны недопустимо большие кинематические уходы. В связи с этим должны быть предприняты меры для снижения уровня кинематических уходов или для их компенсации.

Легко заметить, что величина

$$\Omega_x \sin \theta_0 - \Omega_y \cos \theta_0 \simeq \Omega_x \sin \theta - \Omega_y \cos \theta = \Omega_{z_n} \quad (12)$$

есть не что иное, как проекция абсолютной угловой скорости движения наружного кольца подвеса гироскопа на ось  $z_n$  (см. рис. 1), перпендикулярную его плоскости.

Отсюда видно, что для компенсации кинематической составляющей ухода гиросtabilизатора необходимо измерить угловую скорость движения наружного кольца вокруг оси  $z_n$ , произвести перемножение полученного сигнала с сигналом датчика угла прецессии  $\epsilon$  и приложить к гироскопу по внутренней оси его подвеса момент, равный

$$M = k (\Omega_x \sin \theta - \Omega_y \cos \theta) \cdot \epsilon, \quad (13)$$

где

$$k = k_1 k_2 k_3 k_4. \quad (14)$$

— есть произведение коэффициентов усиления (передачи) соответственно датчика угла прецессии, датчика угловой скорости, задатчика моментов по оси прецессии и множительно-усилительного устройства. Коэффициент усиления множительно-усилительного устройства должен быть равен

$$k_4 = \frac{H}{k_1 k_2 k_3}. \quad (15)$$

При этом условии скорость прецессии гиросtabilизатора под действием момента (13) будет равна составляющей (11) его скорости ухода.

Для реализации этого метода компенсации на наружном кольце карданового подвеса гироскопа должен быть установлен гироскопический датчик угловой скорости  $\Omega_{z_n}$ . Функциональная схема гиросtabilизатора с устройством компенсации кинематических уходов по описанной выше методике приведена на рис. 2.

