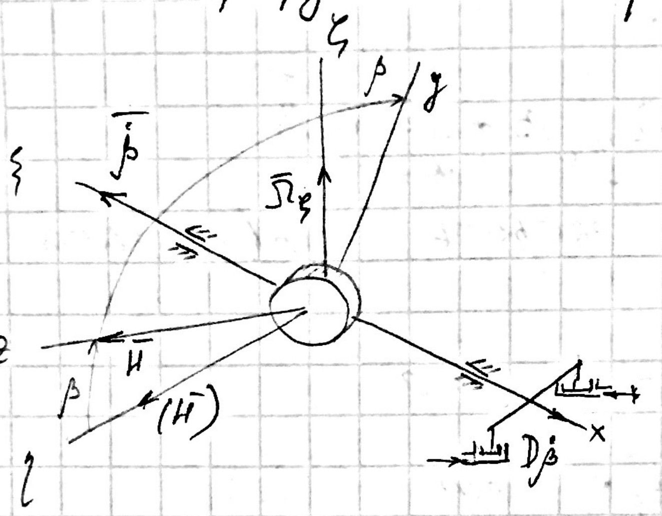
21.11.2014г. Интегрирующий гироскоп



$\dot\beta \to D\dot\beta$ (демпф. м-т)

В установившемся режиме гироскопический м-т уравновешивается м-том демпфирования

$$D\dot\beta = H\Omega_\xi \cos\beta$$

i - передаточное отношение ИГ

$\frac{\Delta D}{D}$ - нестабильность демпфирования

$$\beta = \frac{H}{D}\int \Omega_\xi(t)\,dt + C_1 = i\psi t$$

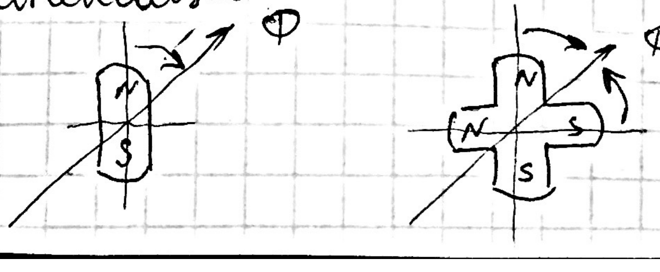
$i = \frac{H}{D}$; $\Omega_\xi(t) \to \boxed{ИГ} \to \psi(t)$

$$\frac{\Delta i}{i} = \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta D}{D}$$

ИГ заменили ПИГами с $\delta < 0{,}1$ мм

в ПИГ исп. синхр. гистерезисный дв-ль с суперпрецизионными опорами: камневые, камневые с вибрацией в осевом напр-нии Бушона, магнитные подвесы, газодинамич. опоры, прец. шр с есв и оп., индукц. микросин и др. прецизионные, многополюсные дв-ли

Компенсация:



На базе ПИГ – трехосные СГС.

Уравнения движения ПИГ.

$$A_0\ddot{\beta} + D_\beta\dot{\beta} = H\Omega_{\xi}\overbrace{\cos\beta}^{1} - \overbrace{H\Omega_\eta\sin\beta}^{2} - \overbrace{A_0\dot{\Omega}_\zeta}^{3} +$$

$$+ \underbrace{(C_1 - B_1)\omega_y\omega_z}_{4} - M_x^{вр}$$

k_β инстр. погр-ть

1, 2, 3, 4 – методические погрешности

$\beta_{д.б.} \to 0 \Rightarrow \sin\beta \approx 0, \cos\beta \approx 1, C_1 = B_1$

$M_x^{вр}(n, t^\circ, \Phi \ldots)$ Пельпор ч. 2 стр. 105-108

При отсутствии метод. погр-тей

$$A_0\ddot{\beta} + D_\beta\dot{\beta} = H\Omega_\xi$$

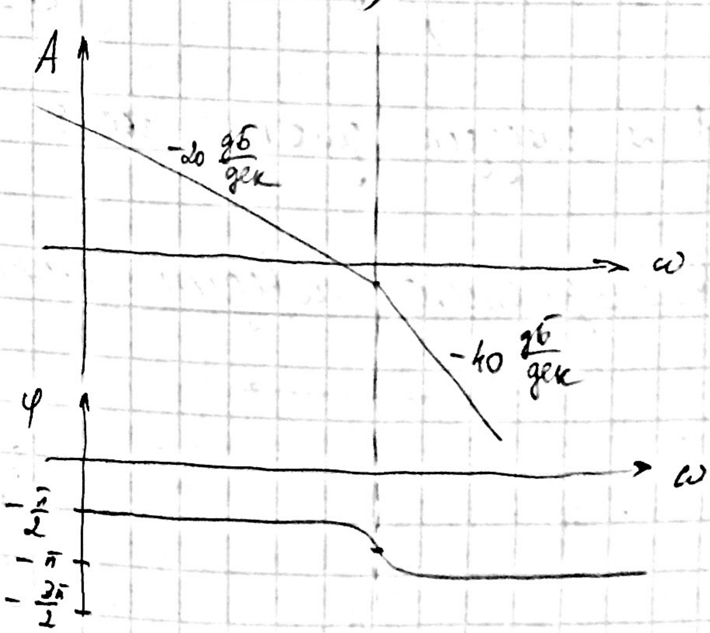
$$\beta(s)(A_0 s^2 + Ds) = H\Omega_\xi(s)$$

$$W(s) = \frac{\beta(s)}{\Omega_\xi(s)} = \frac{i}{s(Ts+1)},$$ T – пост. вр. ПИГ. $T = \sqrt{\frac{A_0}{D}}$

при $T = 0$ $W(s) = \frac{1}{s} \Rightarrow T \approx (1 \div 5)10^{-3}$

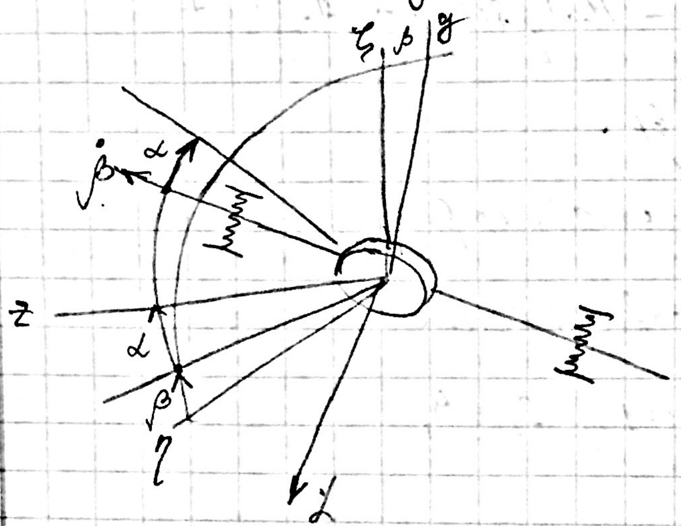
$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}}$$

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg}(T\omega)$$



Влияние нежесткости конструкции на динамику (см. ДУС)

Механич. модель:



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

Принимаем допущение $H\dot{\beta} = k_{уп}\alpha$

$k_{уп}$ – приведенная упр. жесткость

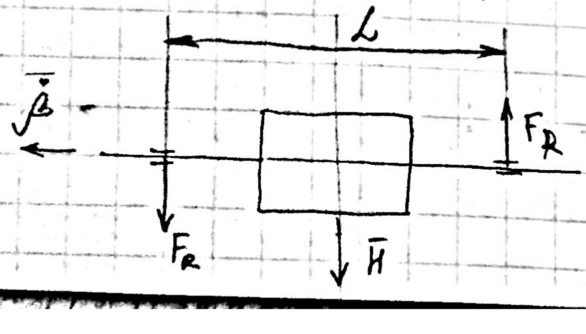
$$\dot{\alpha} = \frac{H}{k_{уп}}\cdot\ddot{\beta}$$

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

$$T' = \frac{A_0 + \frac{H^2}{k_{уп}}}{D} > T = \frac{A_0}{D}$$

H не следует делать очень большим.

<u>К определению передат. отношения i</u>



$$\beta = i\dot{\psi}$$

$$H\dot{\beta} = LF_R\ ; \ F_R = \frac{Hi}{L}\dot{\psi}_{max}$$

$$i = \frac{F_R b}{H\dot{\psi}_{max}}$$

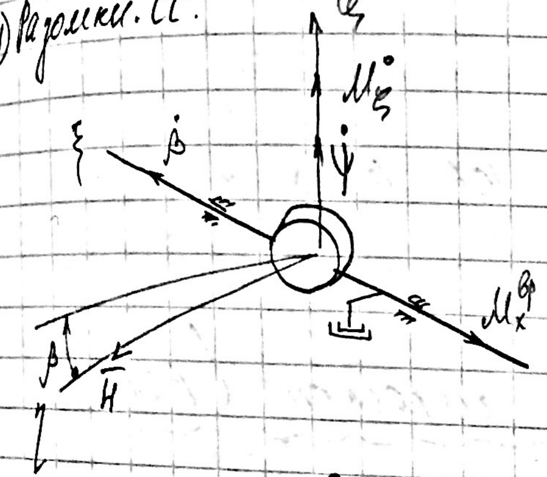
$i = 8..10$ — ПИГ

$i = (50 \div 100)$ — в ПИГ космич. ЛА

в

Работа ИГ в разомкнутой и замкнутой системе стабилизации (СС)

1) Разомкн. СС.

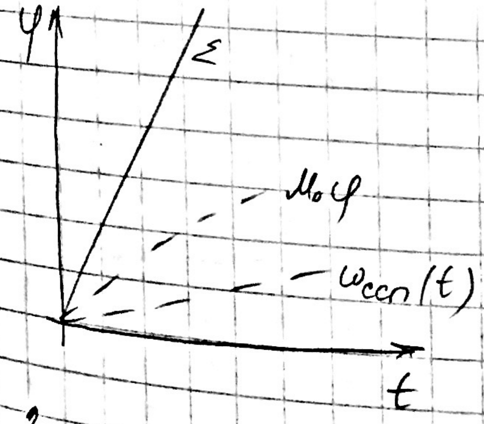


$$D\dot{\beta} + M_x^{вр} = H\dot{\psi}$$

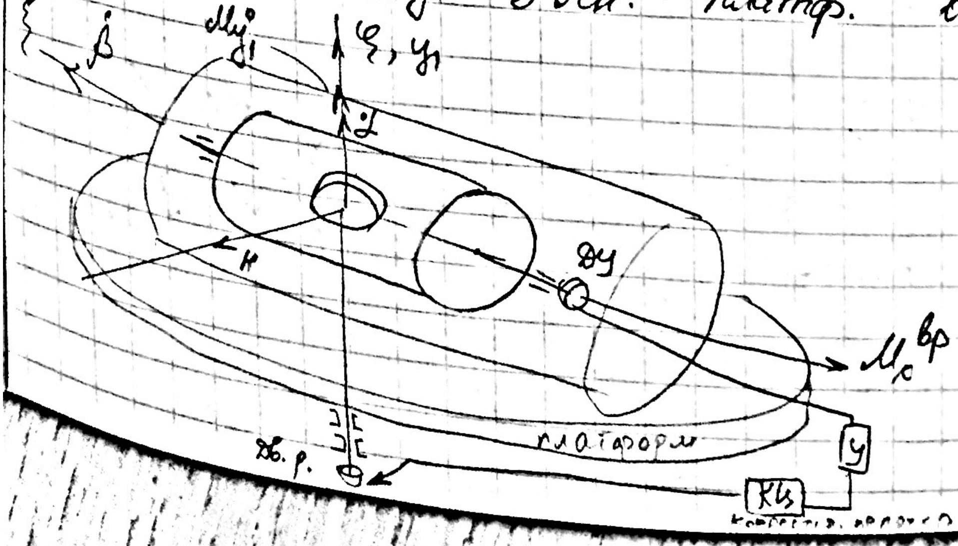
$$\dot{\psi} = \frac{M_x^{вр}}{H} + \frac{D}{H}\dot{\beta} = \frac{M_x^{вр}}{H} + \frac{M_0^{\xi}}{iH}$$

$$\psi = \omega_{cc}\cdot t + \frac{M_0^{\xi} t}{Hi}$$

Ошибка зависит от t и величины M_0^{ξ}



2) Замкнутая СС. ПИГ применяется только в гиростабилиз. 3-осн. платф. в кач. ЧЭ.



$$\omega_{ссп} = \frac{M_x^{вр}}{H}$$

$$D\dot{\beta} + M_x^{вр} = H\alpha$$

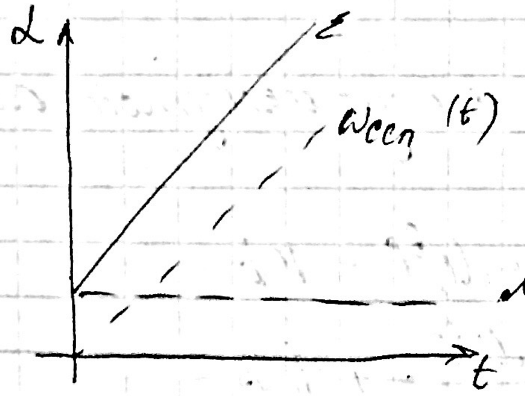
$$\alpha = \frac{\beta^*}{i} + \omega_{ссп}\cdot t$$

$$k_p\cdot\beta^* = M_{y_1}^0$$

$$\beta^* = \frac{M_{y_1}^0}{k_p}$$

Погрешность не зависит от времени:

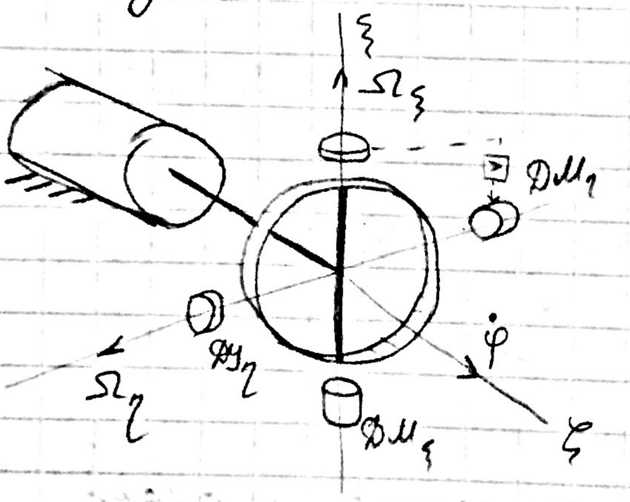
$$\alpha = \omega_{ccn} t + \frac{M_{y_1}^{0}}{k_p \cdot i}$$

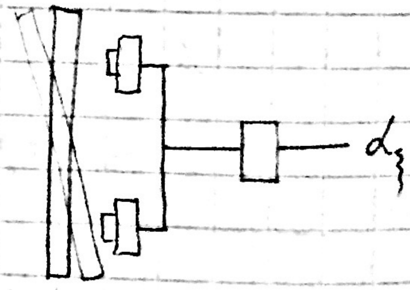


Модель погрешности – стр. 107 (3.69) ч. 2

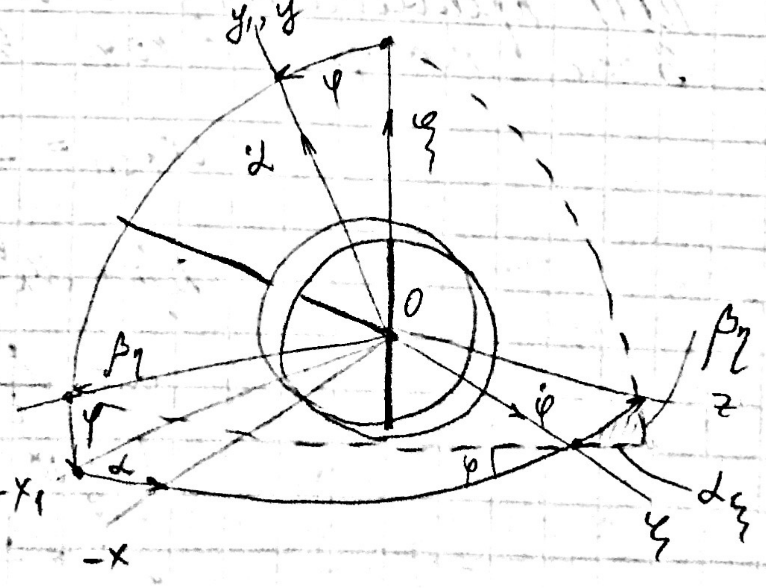
Роторный вибрационный гироскоп (РВГ)

Двухкомпонентный ДУС





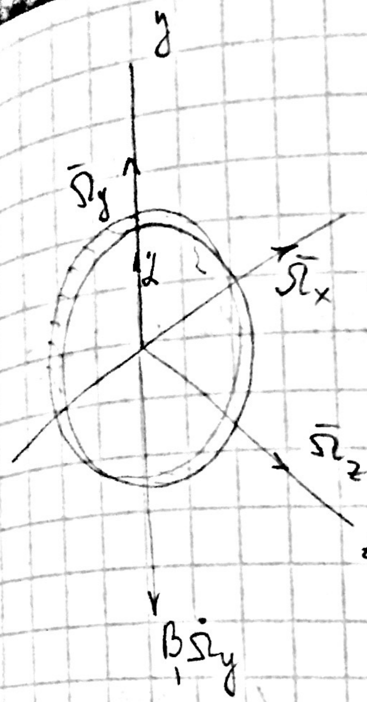
$O\xi\eta\zeta$ - корпус



$$\begin{cases} \alpha_\xi = \alpha \cos\varphi \\ \beta_\eta = \alpha \sin\varphi \end{cases}$$

$$-B_1\dot\Omega_y + C_1\Omega_z\Omega_x - A_1\Omega_x\Omega_z + M_x^{вн} = 0$$

$$B_1\dot\Omega_y - (C_1-A_1)\Omega_z\Omega_x = M_x^{вн}$$



$H_x = A_1\Omega_x$

$$M_x^{вн} = -K\alpha - D_\alpha\dot\alpha + M_{y_1}^{вр} + M_{y_1}^{упр}$$

$H_z = C_1\Omega_z$

$$\Omega_x = (\Omega_\xi\sin\varphi - \Omega_\eta\cos\varphi)\cos\alpha - (\Omega_\zeta + \dot\varphi)\sin\alpha \approx \Omega_\xi\sin\varphi - \Omega_\eta\cos\varphi - \alpha(\dot\varphi + \Omega_\zeta)$$

$$\Omega_y = \dot\alpha + \Omega_\xi\cos\varphi + \Omega_\eta\sin\varphi$$

$$\Omega_z \approx \dot\varphi + \Omega_\zeta$$

$$\dot\Omega_y = \dot\Omega_\xi\cos\varphi - \Omega_\xi\dot\varphi\sin\varphi + \dot\Omega_\eta\sin\varphi + \Omega_\eta\dot\varphi\cos\varphi + \ddot\alpha$$

$$\Omega_z\Omega_x = (\Omega_\zeta + \dot\varphi)(\Omega_\xi\sin\varphi - \Omega_\eta\cos\varphi) - \alpha(\dot\varphi + \Omega_\zeta)^2$$

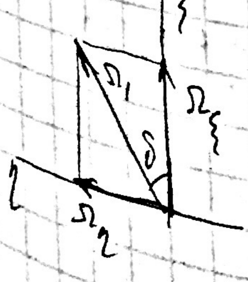
$$\dot\varphi^2 + 2\dot\varphi\Omega_\zeta + \cancel{\Omega_\zeta^2}$$

$$B_1\ddot\alpha + D\dot\alpha + [K + (C_1+A_1)\dot\varphi^2 + 2\dot\varphi\Omega_\zeta]\alpha =$$
$$= (C_1+B_1-A_1)\dot\varphi(\Omega_\xi\sin\varphi - \Omega_\eta\cos\varphi) - B_1(\dot\Omega_\eta\cos\varphi + \dot\Omega_\xi\sin\varphi) + M_y^{вр}$$

$$B_0 = \overset{\text{жесткость торсиона}}{K} + \overset{\text{квазижесткость}}{(C_1-A_1)\dot\varphi^2}$$ приведенная жесткость с-мы

$$H = (C_1+B_1-A_1)\dot\varphi \approx C_1\dot\varphi$$

$$\ddot\alpha - 2\xi\omega_0\dot\alpha + \omega_0^2\alpha = \frac{H}{B_1}\Omega_1\sin(\dot\varphi_0 t - \delta)$$



Квазижесткость вызвана центробежными моментом вращения ротора

$\Omega_\xi = \Omega_1\cos\delta$ $\qquad tg\,\delta = \dfrac{\Omega_\eta}{\Omega_\xi}$ $\qquad \omega_0 = \sqrt{\dfrac{B_0}{B_1}}$ собств. ч. недемпф. колеб.

$\Omega_\eta = \Omega_1\sin\delta$ $\qquad \xi = \dfrac{D}{2\omega_0 B_1}$

$$\alpha = \lambda \frac{H}{B_1 \omega_0^2} \Omega_1 \sin(\dot{\varphi}_0 t - \delta - \chi)$$

$\dot{\varphi}_0 < \omega_0$ Дорезонансный режим $\lambda = 1$, $\chi = 0$

$$\alpha = \frac{H}{B_0}\left(\Omega_\xi \sin\varphi - \Omega_\eta \cos\varphi\right)$$

$$\alpha_\xi = \alpha \cos\varphi = \frac{H}{B_0}\left[\Omega_\xi \frac{\sin 2\varphi}{2} - \Omega_\eta\left(\frac{1}{2} + \frac{\cos 2\varphi}{2}\right)\right]$$

$$\Omega_\xi^* = -\frac{H}{2B_0}\Omega_\eta$$

постоянная составляющая – с двойной частотой

$$\beta_\eta = \alpha \sin\varphi$$

$$\beta_\eta^* = \frac{H}{2B_0}\Omega_\xi$$

h - чувствительность гироскопа

$$U_{вых\,\xi} = -K_{ДУ} \frac{H}{2B_0}\Omega_\eta = -h\Omega_\eta$$

$$U_{вых\,\eta} = h\Omega_\xi$$

$\Delta h \Rightarrow \Delta K_{ДУ}$ (зависит от
ΔH жесткости!)
ΔB_0

<u>Резонанс $\dot{\varphi}_0 = \omega_0$</u>

$$\lambda = \frac{1}{2\xi}; \quad \chi = \frac{\pi}{2} \qquad \left(\xi = \frac{D}{2\omega_0 B_1}\right)$$

$$\alpha = -\frac{H}{D\omega_0}\Omega_1\left(\cos\dot\varphi_0 t - \delta\right) = -\frac{H}{D\omega_0}\left(\Omega_\xi\cos\varphi + \Omega_\eta\sin\varphi\right)$$

$$\alpha_\xi = \alpha\cos\varphi$$

$$\alpha_\xi^* = -\frac{H}{2D\omega_0}\Omega_\xi$$

$$\omega_0 = \dot\varphi_0$$

$$\beta_\eta = \alpha\sin\varphi$$

$$-\frac{c_1\dot\varphi}{2D\omega_0}$$

$$\beta_\eta^* = -\frac{H}{2D\omega_0}\Omega_\eta$$

В резонансном режиме РВГ менее точен

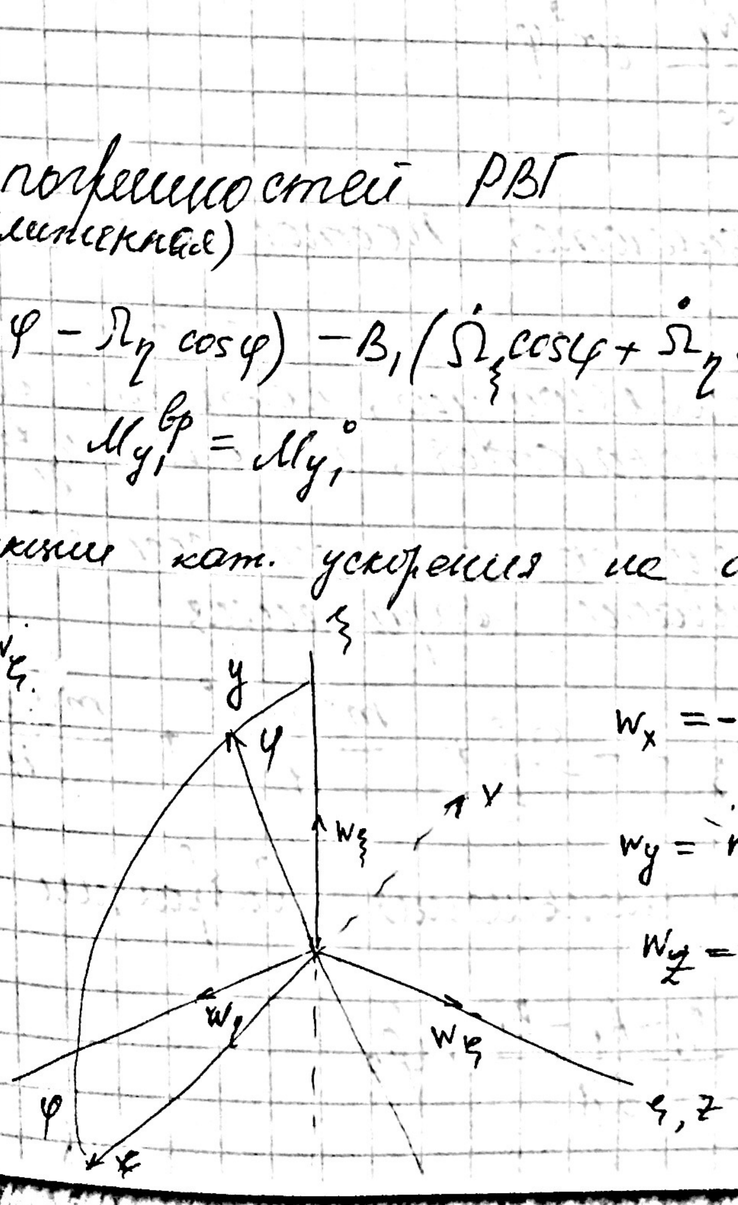
Модель погрешностей РВГ
(приближенная)

$$B_0\alpha = H(\Omega_\xi\sin\varphi - \Omega_\eta\cos\varphi) - B_1(\dot\Omega_\xi\cos\varphi + \dot\Omega_\eta\sin\varphi) + M_{y_1}^{вр}$$

Допущение $M_{y_1}^{вр} = M_{y_1}^{0}$

Найдем проекции кат. ускорения на оси xyz

w w_ξ, w_η, w_ζ.



$$w_x = -w_\eta\cdot\cos\varphi + w_\xi\sin\varphi$$

$$w_y = w_\xi\cos\varphi + w_\eta\sin\varphi =$$

$$w_z = w_\zeta \zeta_1$$

$\Omega_\eta^\circ = const$

$\Omega_\xi = \Omega_\xi^\circ \sin \dot\varphi_0 t$

$w_\xi = 0 \quad ; \quad W_\zeta = W_\zeta^\circ \cos\dot\varphi_0$

$$M_{y_1} = M_{y_1}^\circ + m l_x w_z - m l_z w_x = M_{y_1}^\circ + $$
$$+ m l_x w_z + m l_z W_\zeta^\circ \cos\dot\varphi_0 t + m l_z w_\eta \cos\varphi$$

$$\alpha_\xi = \alpha \cos\varphi = \frac{H}{B}(\Omega_\xi \sin\varphi - \Omega_\eta^\circ \cos\varphi)\cos\varphi -$$
$$- \frac{B_1}{B_0}\dot\Omega_\xi \cos^2\varphi + \frac{M_{y_1}^\circ}{B_0}\cos\varphi + \frac{m l_z W_\zeta^\circ}{B_0}\cos^2\varphi +$$
$$+ \frac{m l_z W_\eta^\circ}{B_0}\cos^2\varphi$$

1) Выделяются постоянные составляющие

2) Пост. моменты дают переменную составляющую, поэтому они не учитываются, но м.б. $M_{y_1}^{вч} = M^\circ \cos\dot\varphi_0 t$

Выделяем только пост. составляющие и сворачиваем выражения

$$\frac{\alpha B_0}{H}\alpha_\xi^* = -\Omega_\eta^\circ + \frac{m l_z w_\eta^\circ}{H} + \frac{m W_\zeta^\circ l_x}{H} + k_в \Omega_\xi^\circ$$

$k_в$ – к-т уменьшения вибрации (~0,01)

$$k_в = \frac{C_1 - A_1 - B_1}{2H}\cdot\dot\varphi_0$$

$\Omega_\eta^\circ = const$

$\Omega_\xi = \Omega_\xi^\circ \sin \dot\varphi_\circ t$

$w_\xi = 0 \quad ; \quad W_{\zeta} = W_{\zeta}^\circ \cos\dot\varphi_\circ$

$$M_{y_1} = M_{y_1}^\circ + m l_x w_z - m l_z w_x = M_{y_1}^\circ + m l_x w_z + m l_z W_\zeta^\circ \cos\dot\varphi_\circ t + m l_z w_\eta \cos\varphi$$

$$\alpha_\xi = \alpha\cos\varphi = \frac{H}{B}(\Omega_\xi \sin\varphi - \Omega_\eta^\circ \cos\varphi)\cos\varphi - \frac{B_1}{B_0}\dot\Omega_\xi \cos^2\varphi + \frac{M_{y_1}^\circ}{B_0}\cos\varphi + \frac{m l_z W_\zeta^\circ}{B_0}\cos^2\varphi + \frac{m l_z W_\eta^\circ}{B_0}\cos^2\varphi$$

1) Выделяются постоянные составляющие

2) Пост. моменты дают переменную составляющую, поэтому они не учитываются, но м.б. $M_{y_1}^{в4} = M^\circ \cos\dot\varphi_\circ t$

Выделим только пост. составляющие и сворачиваем выражения

$$\frac{\alpha B_0}{H}\alpha_\xi^* = -\Omega_\eta^\circ + \frac{m l_z W_\eta^\circ}{H} + \frac{m W_\zeta^\circ l_x}{H} + K_B \Omega_\xi^\circ$$

K_B – к-т уменьшения вибрации (~0,01)

$$K_B = \frac{C_1 - A_1 - B_1}{2H} \cdot \dot\varphi_\circ$$

стр. 114 ч.2

С учетом неравножесткости опор

$\Omega_\eta = \Omega_0 + \omega_1(g)\,n_\eta + \omega_1'(g)\,n_\zeta + \omega_1(g^2)\,n^2 \ldots$

Рамочный вибрационный гироскоп
(см. „Гироскоп - это просто")

<u>Волновой</u> <u>твердотельный</u> <u>гироскоп</u>