на базе $2^х$ и $3^х$ ст. гироскопах

- ДНГ

- вибрац. ДУС

а) РВГ б) рамочный ВГ

10^{-2} (ам. 10^{-4}) 1) ВТГ (позиционное возбуждение)

2) микромеханические

волн. гир. (ММВГ)

(дномассовые, рамочные, камертонные)

- оптические гироскопы

лазерные ДУС — 0,01 .. 0,001

волоконно-оптич. гироскоп (ВОГ) — (ам. 10^{-4} – 10^{-6}) 10^{-2} (ДУС)

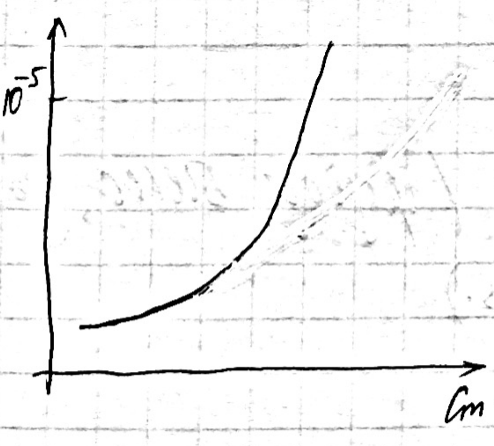
- Г., основанные на различных принципах

- атомные
- гидродинамические
- акустические
- гидроакустические
- тепловые
- на волнах де Бройля

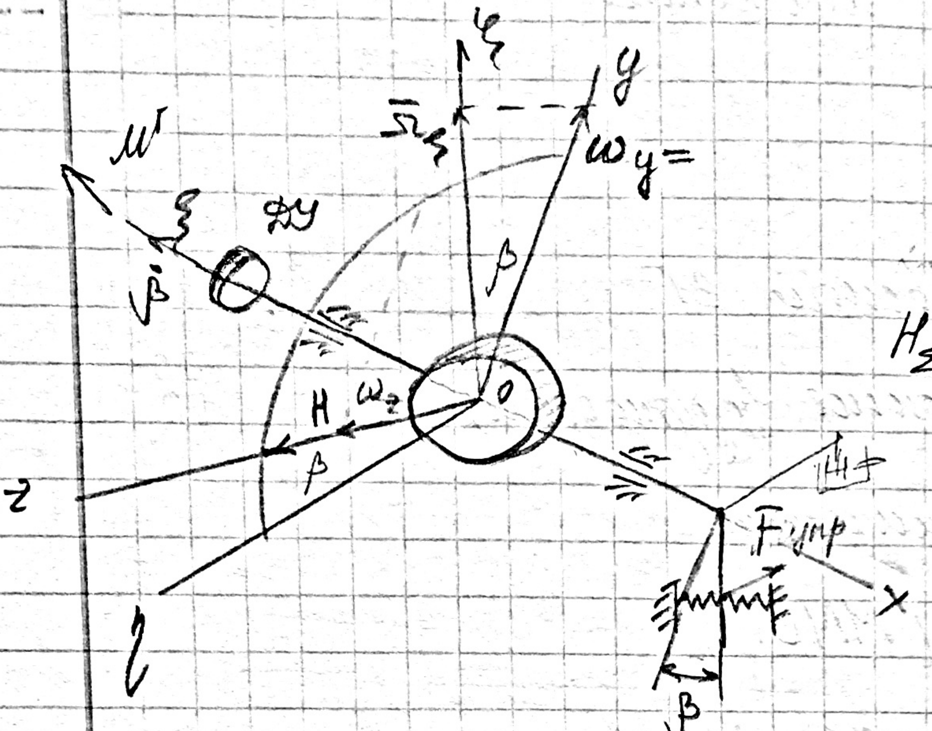
точность (°/час)

$2^х$ ГП

„сухие" ДУС	„поплавковые" ДУ
1÷10	0,1; 0,01
	0,005



ДУС с механической пружиной



$$H_\Sigma = C(\Omega + \omega_z) = C\Omega = H = const$$

k – приведенная угл. ск-ть зависит от конструкции

$$M_{упр} = k \cdot \beta$$

$$M_{упр} = F_{пр} \cdot l = \underbrace{C_{пр} l^2}_{k} \beta$$

$$M^Г = H\omega_y = H\Omega_\xi \cos\beta = H\beta$$

В установившемся движении $M^Г$ уравновешивается упругим $M_{упр}$

$$\beta = \frac{H\cos\beta}{k}\Omega_\xi = h\,\Omega_\xi \cos\beta,$$ где

$h = \frac{H}{k}$ – чувствительность ДУСа

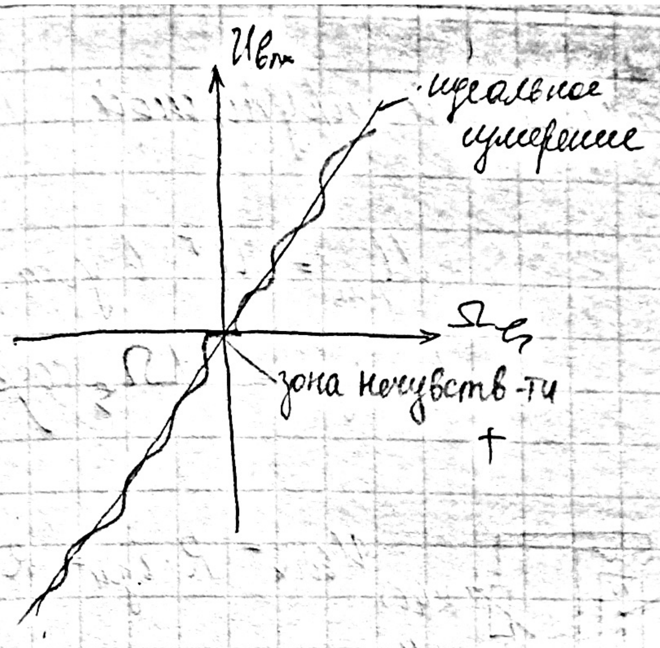
$\Delta\Omega_\xi = \Omega_\xi(1 - \cos\beta)$ (при больших углах β)

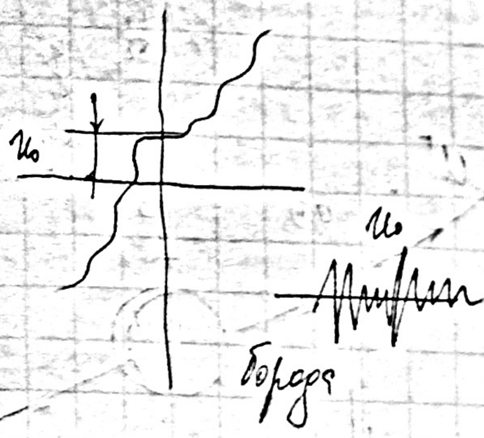
$\Rightarrow$ β – мал

$(3-7)^\circ$ – грубые гироскопы

$1'$ – средняя погрешность (грубые БИНС, до $5'$)

ДУС БИНС $(1-5)''$ (прец.)





$$U_{вых} = (h + \Delta h_1)\Omega_\xi = h\left(1 + \underbrace{\frac{\Delta h_1}{h_1}}_{?}\right)\Omega_\xi$$

$$\Delta\Omega_h = \Delta h_1 \Omega_\xi$$

$$U_{вых} = k_{ДУ}\beta = k_{ДУ} h \Omega_\xi = h_1 \Omega_\xi$$

$$\frac{\Delta h_1}{h_1} = ? \qquad h_1 = \frac{k_{ДУ} \cdot H}{K}$$

$$\ln h_1 = \ln k_{ДУ} + \ln H - \ln K$$

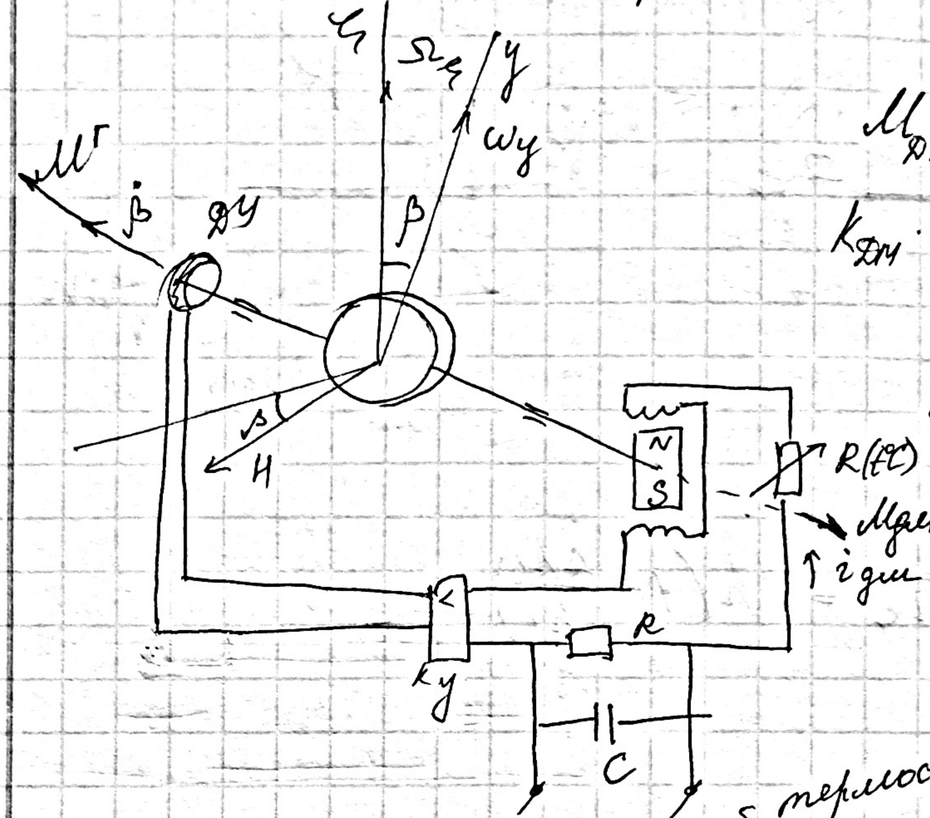
$$\frac{\Delta h_1}{h} = \underbrace{\frac{\Delta k_{ДУ}}{k_{ДУ}}}_{\sim 1\%} + \frac{\Delta H}{H} \underset{(-)}{+} \frac{\Delta K}{K} \quad (\cdot 100\%)$$

асинхр. ГД (3-5%)

приведенная угл. жесткость, завис. от темп-ры, времени экспл. (0 - 15)%

ДУС с механической пружиной — грубый прибор

ДУС с „электрической пружиной" (ООС)



$M_{ДМ} = M^Г$ в уст. режиме

$k_{ДМ} \cdot i_{дм} = H\Omega_\xi \cos\beta$, β - мал.

$U_{вых} = R \cdot i_{дм} = R \frac{H}{k_{дм}} \Omega_\xi = h\Omega_\xi$, $h = \frac{RH}{k_{дм}}$

Стабильность

д.б. термостабильно

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta k_{дм}}{k_{дм}} \quad (\cdot 100\%)$$

$10^{-4}\%$ $\quad 10^{-4}\%$ $\quad 3 \cdot 10^{-4}\%$

Применяется синхронный гистерезисный дв-ль с частотами питания от кварцевого генератора

ДУС с эл. пр. можно использовать как прецизионный прибор

Приведенная уд. жесткость эл. пружины

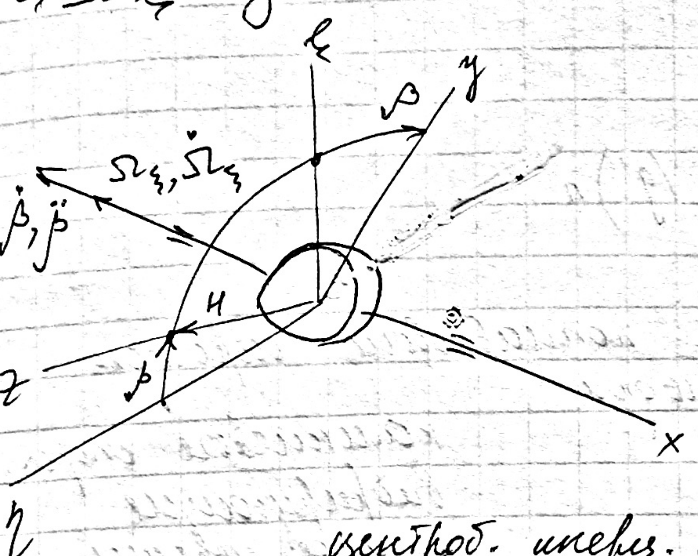
$$i_{дм} = \frac{k_{дат} \cdot k_y \cdot \beta}{\underbrace{R + R(t°C) + R_{дм}(t°C)}}$$

$R_\Sigma = const$ при $\Delta t°C$

$$M_{дм} = K_{дм} \cdot i_{дм} = \frac{k_{дм} \cdot k_y \cdot k_{ду}}{k_\Sigma}\beta = k\beta \; ; \; k = \frac{k_{ду} \cdot k_y \cdot k_{дм}}{k_\Sigma}$$

Уравнения движения ДУС

Ω_ξ – изм.



$A_0 = A_1 + A$

ин. м.

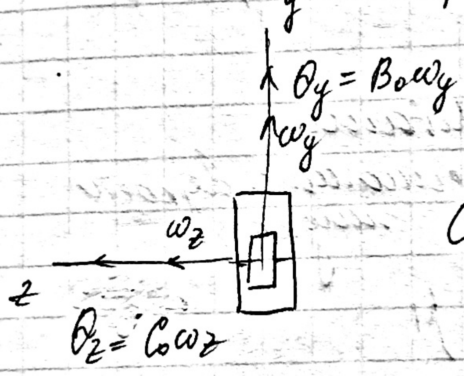
$A_0(\ddot\beta + \dot\Omega_\xi)$

гир. м. ($H = const$)

$\omega_y = \Omega_\xi \cos\beta - \Omega_\eta \sin\beta$

$H(\Omega_\xi \cos\beta - \Omega_\eta \sin\beta)$

центроб. инерц. момент



$C_0 > B_0$

$B_0 = B_1 + A$

$C_0 = C_1 + C$

$M_{ин.ц.} = \theta_y \omega_z - \theta_z \omega_y = -(C_0 - B_0)\omega_y\omega_z$

измеряемая часть

$$A_0(\ddot\beta) + D_\beta \dot\beta + k\beta = H\Omega_\xi \cos\beta - H\Omega_\eta \sin\beta - A_0\dot\Omega_\xi + (C_0 - B_0)\omega_y\omega_z - M_x^{вн}$$

определяет

погрешности

Погрешности возбужд. $\beta, \Omega_\eta, \dot\Omega_\xi, \omega_y\omega_z$ – методические погр-ти

Инструментальные погрешности $\Delta h, M_0$

Модель погрешностей ДУС

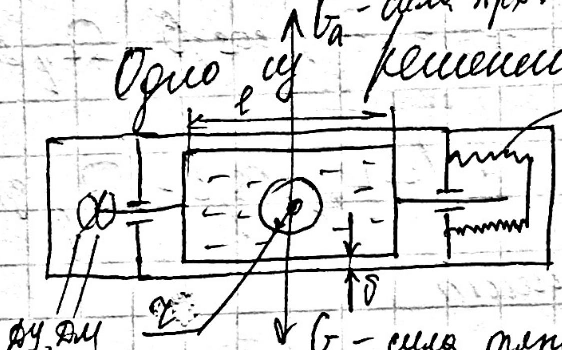
связано с минимальным Ω_ξ (чув. уг. ск.)

$$H\Omega_{\xi min}\cos\beta \geq M_x^{вр}$$ → трение опор → тяжение токоподв. и др.

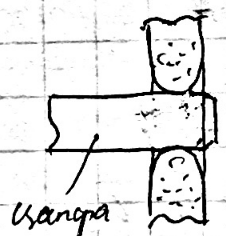
$$\Omega_{\xi min} = \frac{M_x^{вр}}{H}$$

$$\Omega_{\xi min}(n) = \sum_{0}^{i=m} \omega_i (g') n^i$$

Одно из решений – поплавковый гироскоп



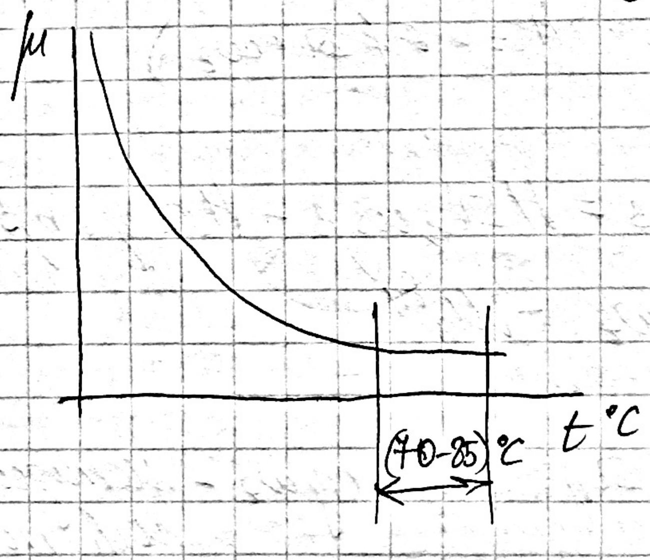
камневые опоры, вибрирующие, малое трение



Демпфирование

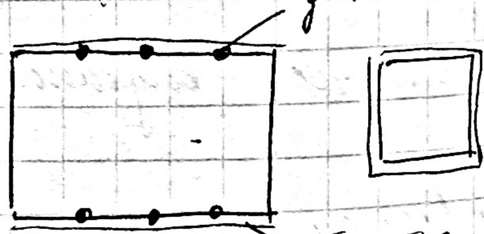
μ – к-т динамич. вязкости жидкости

$$D = \frac{2\pi r^3 l}{281\,\delta}\mu$$

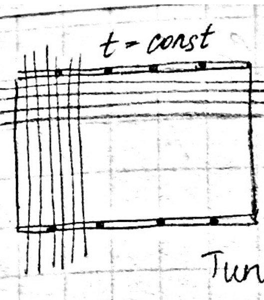


Δt°C → $\mu \sim const$

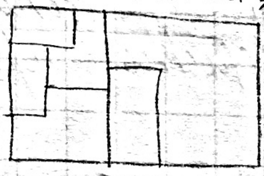
системы термостатирования



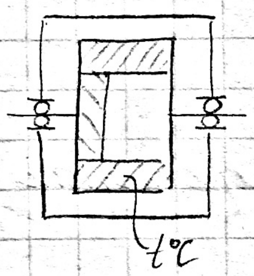
Систему термостатирования необх. рассчитывать с учетом опоры



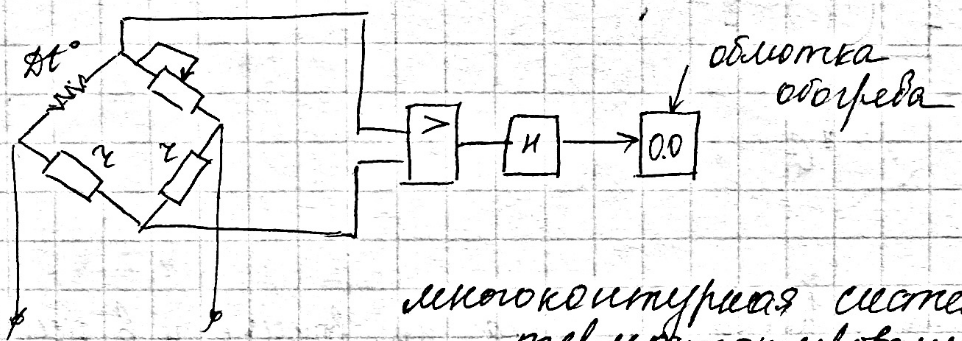
20 ÷ 25 тел, в пределах которых $t°C = const$



Типовая модель для расчета системы термостатирования

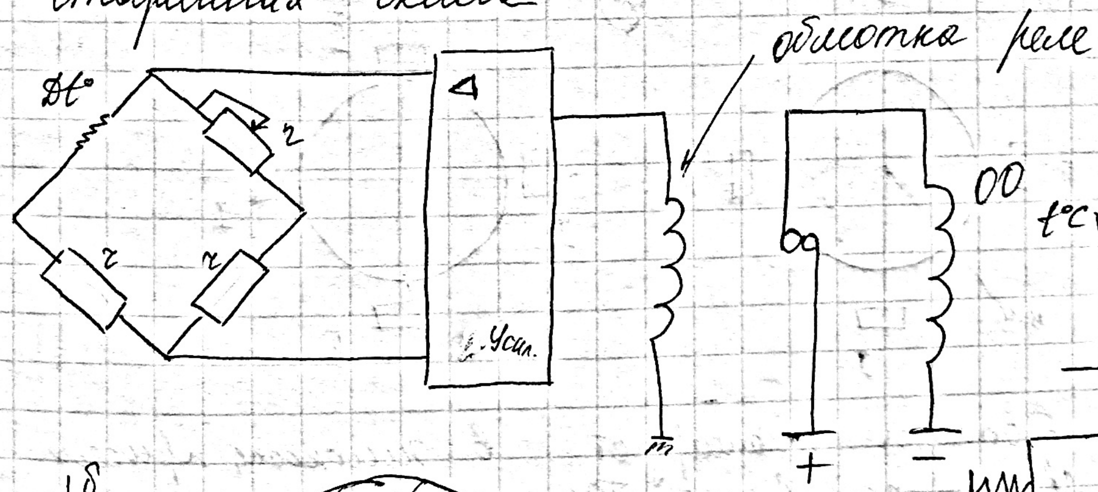


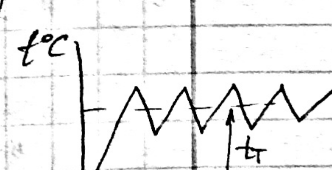
Мостовая схема для измерения темп-ры:

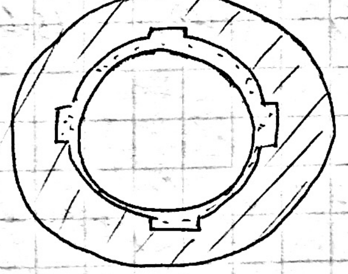


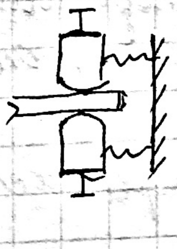
многоконтурная система термостатирования 0,1 °C

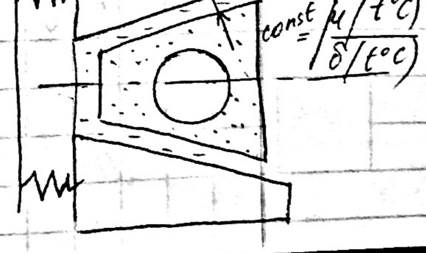
Старинная схема





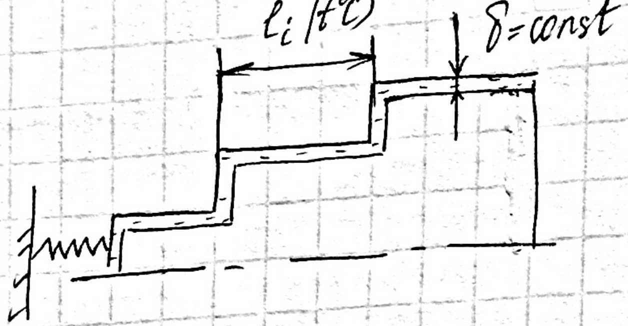




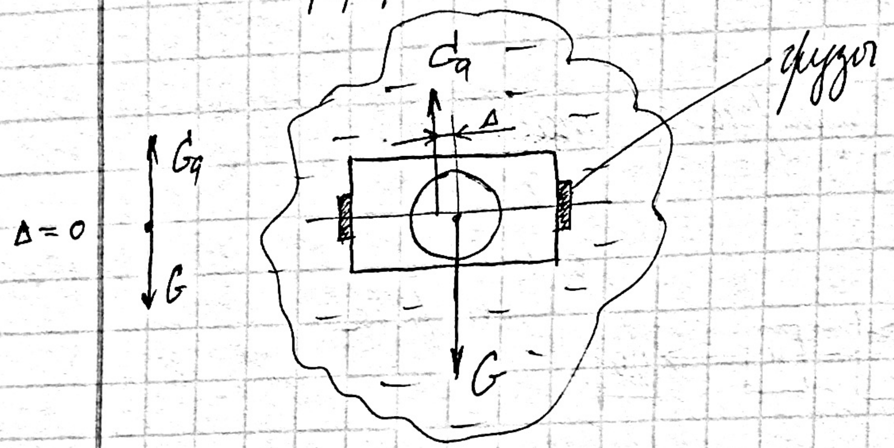


$const = \frac{\mu(t°C)}{\delta(t°C)}$

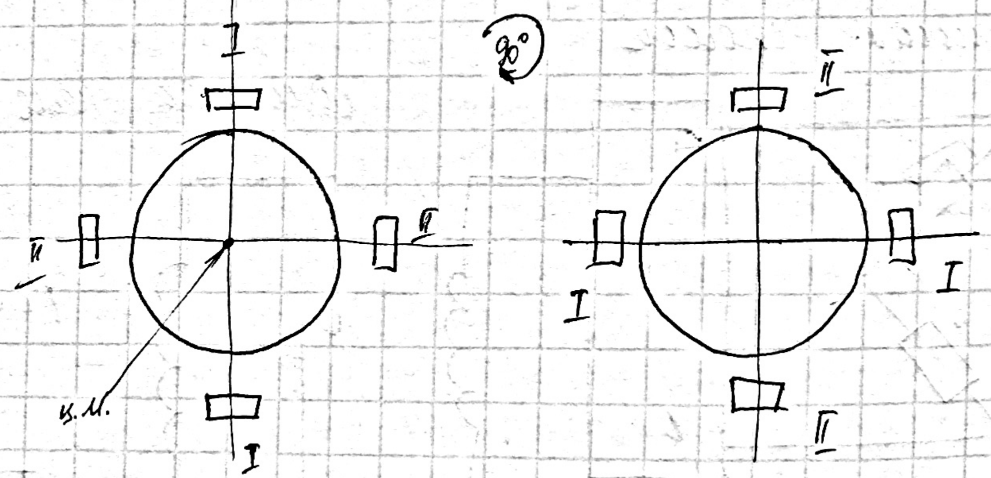
Гелий устраняет взрывоопасность водорода и позволяет проверить прибор на герметичность.



Дифферент в поплавковых гироскопах

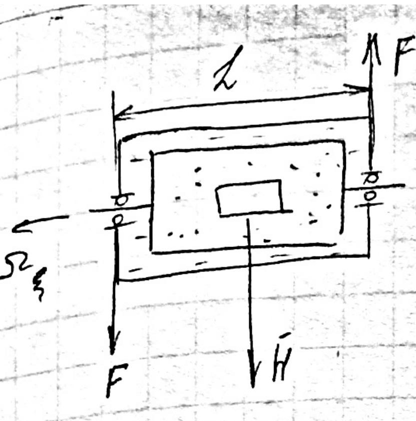


Балансировка поплавка на воздухе и в жидкости



Поплавок балансируют в жидкости, причем грузы подбирают так, чтобы ц.м. оставался на оси поплавка

Модель погрешностей см. ч. 2 в разделе ПИГ



$$F = \frac{H\Omega_{\xi\, max}}{L}$$

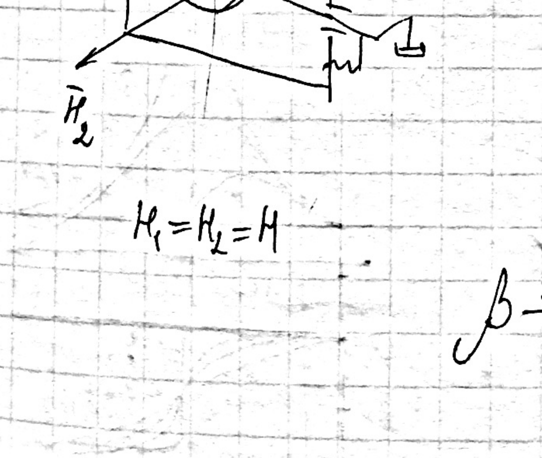
Сферическая газодинамическая опора уменьшает трение → повышение точности → увеличение износостойкости и срока службы

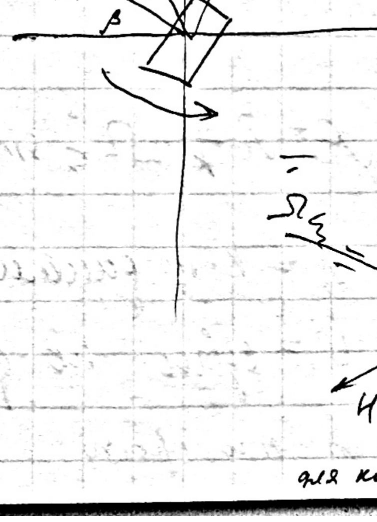
Методические погрешности ДУС

$$K\beta = H\Omega_\xi \cos\beta - H\Omega_\eta \sin\beta ;\ \beta \to \text{мал}$$

$$\beta = \underbrace{\frac{H\Omega_\xi}{K + H\Omega_\eta}}_{\text{чувств-ть}} = h_\xi \Omega_\xi$$

Если β - большой, применяют кинематически спаренные гироскопы



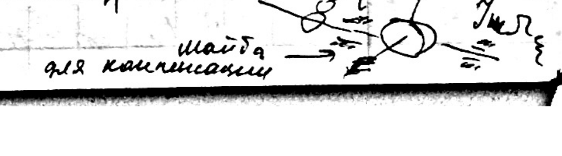


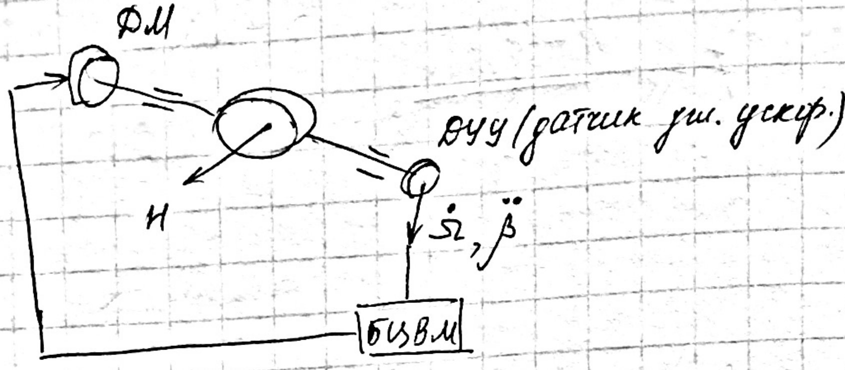
$H_1 = H_2 = H$

$\beta \to \min$

$A_0 \dot{\Omega}_\xi - J_m i \dot{\Omega}_\xi = 0$

$i = \dfrac{A_0}{J_m}$





$(C_0 - B_0)\,\omega_y \omega_z$

$C_0 \to B_0$

Динамические погрешности ДУС
(можно отнести к методическим)

$\Omega_\zeta = \Omega_\zeta^0 \sin\omega t$

$A_0 \ddot{\beta} + D\dot{\beta} + K\beta = H\Omega_\zeta^0 \sin\omega t$

ω – частота колебаний объекта $\left(\frac{рад}{с}\right)$ $\omega = 2\pi f$ (f – Гц)

$\ddot{\beta} + 2\xi\omega_0\dot{\beta} + \omega_0^2\beta = \frac{H}{A_0}\Omega_\zeta^0 \sin\omega t$

степень затухания

собств. частота незатух. колебаний ДУС

$2\xi\omega_0 = \frac{D}{A_0}$

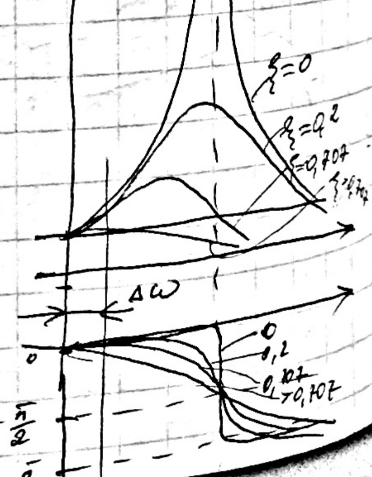
$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{A_0}}$; $\omega_0 = 2\pi f_0$

$\xi = \frac{D}{2A_0\omega_0}$

$\beta = \lambda \frac{H}{K}\Omega_\zeta^0 \sin(\omega t - \varphi)$

λ = к-т динамичности

φ = сдвиг по фазе

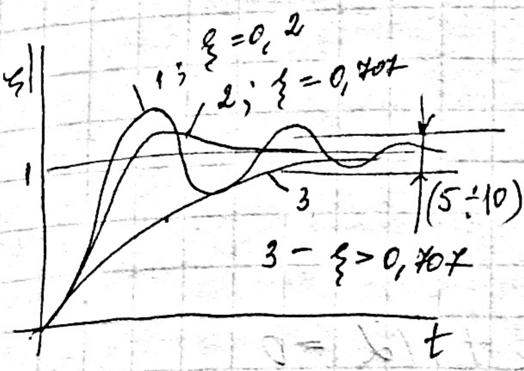


Гироскоп – это просто

$\omega_0 \approx (8 \div 10)\, \omega_{max}^{\text{объекта}}$

$f_0 = (8 \div 10) f_{\text{max об.}}$

ξ и ω_0 – определяют перех. процесс ДУС



$T_1 < T_2 < T_3$

башня танка $\xi > 0{,}707$

автопилот $\xi = 0{,}707$

кресло пилота $\xi = 0{,}2$

$\omega_0 = \sqrt{\dfrac{k}{A_0}}$; $k = A_0 \omega_0^2 \rightarrow$ ДМ

условие выбора приведенной угл. жесткости ДУСа

Динамические погрешности $\Delta_g = \lambda - 1$ (к-т д-ти)

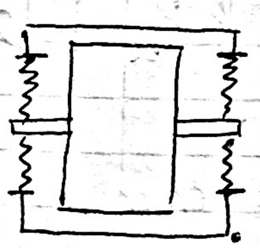
Из условий min дин. погр-ти выбир. угл. жесткость $k = A_0 \omega_0^2$

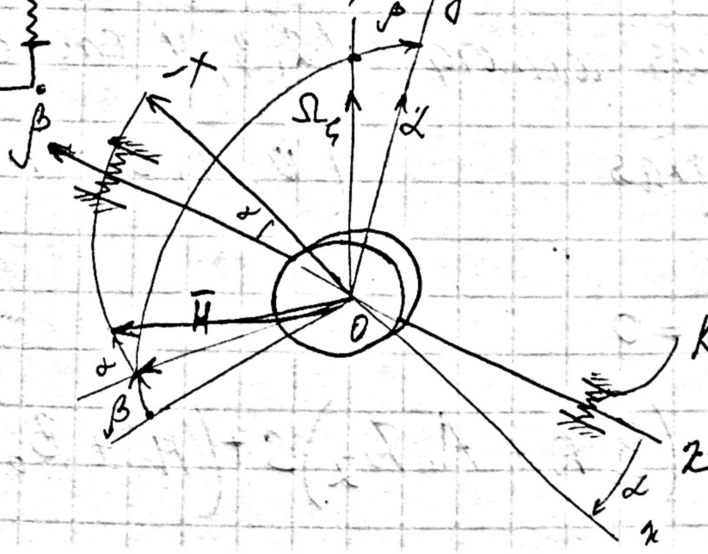
$\omega_0^2 = \dfrac{K}{A_0}$; $\omega_0 = 2\pi f_0$

Нежесткость конструкции ведет к ухудшению динамич. св-в системы

Нежесткость ГМ опр-ся:

1) нежесткостью осей
2) н. крышек
3) н. главных опор и т.д.





$K_{угл} = K_\alpha$ – прив. угл. ж-ть

$H\dot\beta = K_\alpha \alpha_{ст}$

α, β – малы

$\Sigma M_x = 0$

$A_0\ddot\beta + D_\beta\dot\beta + K\beta = H(\Omega_\xi - \dot\alpha)$

$\Sigma M_y = 0$

$B_0\ddot\alpha + D_\alpha\dot\alpha + K_\alpha\alpha = H\dot\beta$

$$\begin{cases} A_0\ddot\beta + D\dot\beta + K\beta - H\Omega_\xi + H\dot\alpha = 0 \\ B_0\ddot\alpha + D_\alpha\dot\alpha + K_\alpha\alpha - H\dot\beta = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_0 = \underset{\text{ротор}}{A} + \underset{\text{рамка}}{A_1} \\ B_0 = A + B_1 \end{cases}$$

Проанализируем собств. движение г.

$$\Delta = \begin{vmatrix} A_0 s^2 + Ds + K & Hs \\ -Hs & B_0 s^2 + D_\alpha s + K_\alpha \end{vmatrix} =$$

$$= A_0 B_0 s^4 + (A_0 D_\alpha + B_0 D)s^3 + (A_0 K_\alpha + DD_\alpha + H^2 + KB_0)s^2 + (DK_\alpha + D_\alpha K)s + KK_\alpha = 0$$

ω_0' – высокая частота (2, 3, 4 степени s)

ω_0'' – низкая (0, 1, 2 степень)

1) $s^2 = 0;\ s_{1,2} = 0$

$A_0 B_0 s^2 + (B_0 D + A_0 D_\alpha)s + (H^2 + B_0 K + A_0 K_\alpha + DD_\alpha) = 0$

Собств. ч-та незатух. колеб. K_α и H – большие величины

$$\omega_0' = \sqrt{\frac{H^2 + B_0 K + A_0 K_\alpha + D D_0}{A_0 B_0}} \approx \sqrt{\frac{H^2 + A_0 K_\alpha}{A_0 B_0}}$$

Если $H^2 >> K_\alpha A_0$; $n_H = \frac{H}{\sqrt{A_0 B_0}}$

$$(H^2 + B_0 K + D D_\alpha + A_0 K_\alpha) s^2 + (D_\alpha K + D K_\alpha) s + K K_\alpha = 0.$$

$$\omega_0'' = \sqrt{\frac{K K_\alpha}{H^2 + B_0 K + D D_\alpha + A_0 K_\alpha}} \approx \sqrt{\frac{K}{A_0 \left(1 + \frac{H^2}{K_\alpha}\right)}} = \omega_0 \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{H^2}{A_0 K_\alpha}}} =$$

$$K_* = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{H^2}{A_0 K_\alpha}}}$$

$$= \omega_0 \cdot K_*$$

при $K_\alpha \to \infty$; $K_* \to 1$

С увеличением $\bar{H}$ при наличии нежесткости конструкции собств. частота незатух. колебаний ДУСа уменьшается => ухудшаются динамич. св-ва г. (возрастает динамич. погр-ть)

$K_* = 0{,}45$ – плохие ДУС

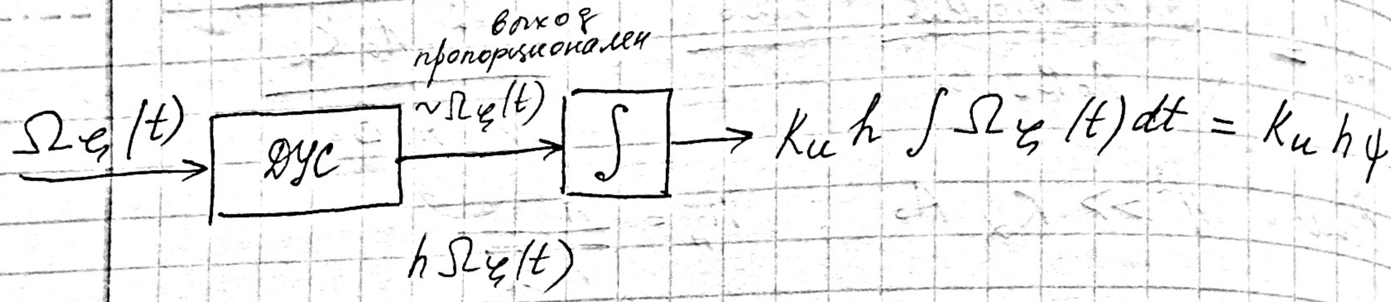
$K_* = (0{,}8 \div 0{,}9)$ – хорошие ДУС.

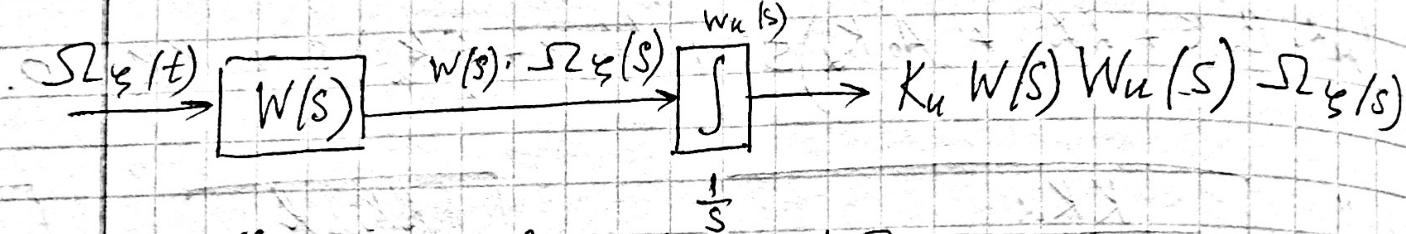
Величина H задается заказчиком

Особые требования вадв. к жесткости опор гироузла и жесткости оси рамки

$\omega_0'' \approx (8 \div 10)\, \omega_{об}$

Динамич. хар-ки ДУС БИНС





$$\ddot{\beta} + 2\xi\omega_0\dot{\beta} + \omega_0^2\beta = \frac{H\Omega_\xi}{A_0}$$

$$K_{gy}\beta(s)\left(s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2\right) = \frac{H}{A_0}\Omega_\xi(s)$$

$$h = \frac{H}{K} K_{gy}$$

$$\underbrace{K_{gy}\beta(s)}_{U_{вых}(s)}\left(\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{2\xi s}{\omega_0} + 1\right) = \frac{H}{\omega_0^2 A_0}\Omega_\xi(s) = h\Omega_\xi(s)$$

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

При идеальном интегрировании $\left(\frac{1}{s}\right)$

$$W_u(s) = \frac{K_u}{s}$$

$$U_u = K_u h\Omega_\xi(s)\frac{1}{s} = K_u h\psi_1(s) \text{ — ид. сл.}$$

$(W(s) \to h)$

Неидеальное интегрирование

$W(s)$ с пост. интегрирования

$$U_u' = K_u W(s)\Omega_\xi(s)\cdot\frac{1}{s} = K_u h \psi_2(s)$$

$$\Delta\psi(s) = \psi_1(s) - \psi_2(s) = \Omega_\xi(s)\frac{1}{s}\left(1 - \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_0^2}+\frac{2\xi}{\omega_0}s+1}\right) =$$

$$= \Omega_\xi(s)\frac{1}{s}\left(\frac{s^2/\omega_0^2 + 2\xi s/\omega_0 + 1 - 1}{s^2/\omega_0^2 + 2\xi s/\omega_0 + 1}\right)$$

ω_0 - высокая частота

$$\Delta\psi(s) = \Omega_\xi(s)\frac{2\xi}{\omega_0}$$

$$\Delta\psi(t) = \frac{2\xi}{\omega_0}\underset{\downarrow max}{\Omega_\xi}$$

Погрешность увеличивается с уменьшением ω_0

$\xi = 0{,}707$ - оптимальное значение

Зависимость погрешности от угл. ск-ти

$[\Delta\psi] = 10''$

$\Omega_\xi = 1$ рад/сек

$(*)\ \omega_0 = \frac{2\xi}{\Delta\psi}\cdot\Omega_\xi \approx 504$ рад/с

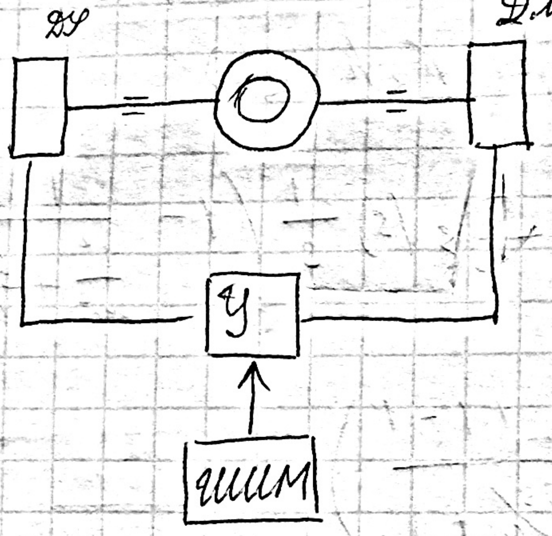
$(f_0 \approx 80$ Гц$)$

$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{A_0}}$

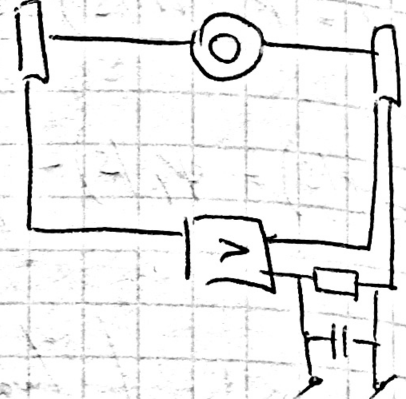
$\omega_0 = (8\div10)\,\omega_{об}$

$(*)$ необх. учитывать для БИИС

ДУС с цифровым выходом



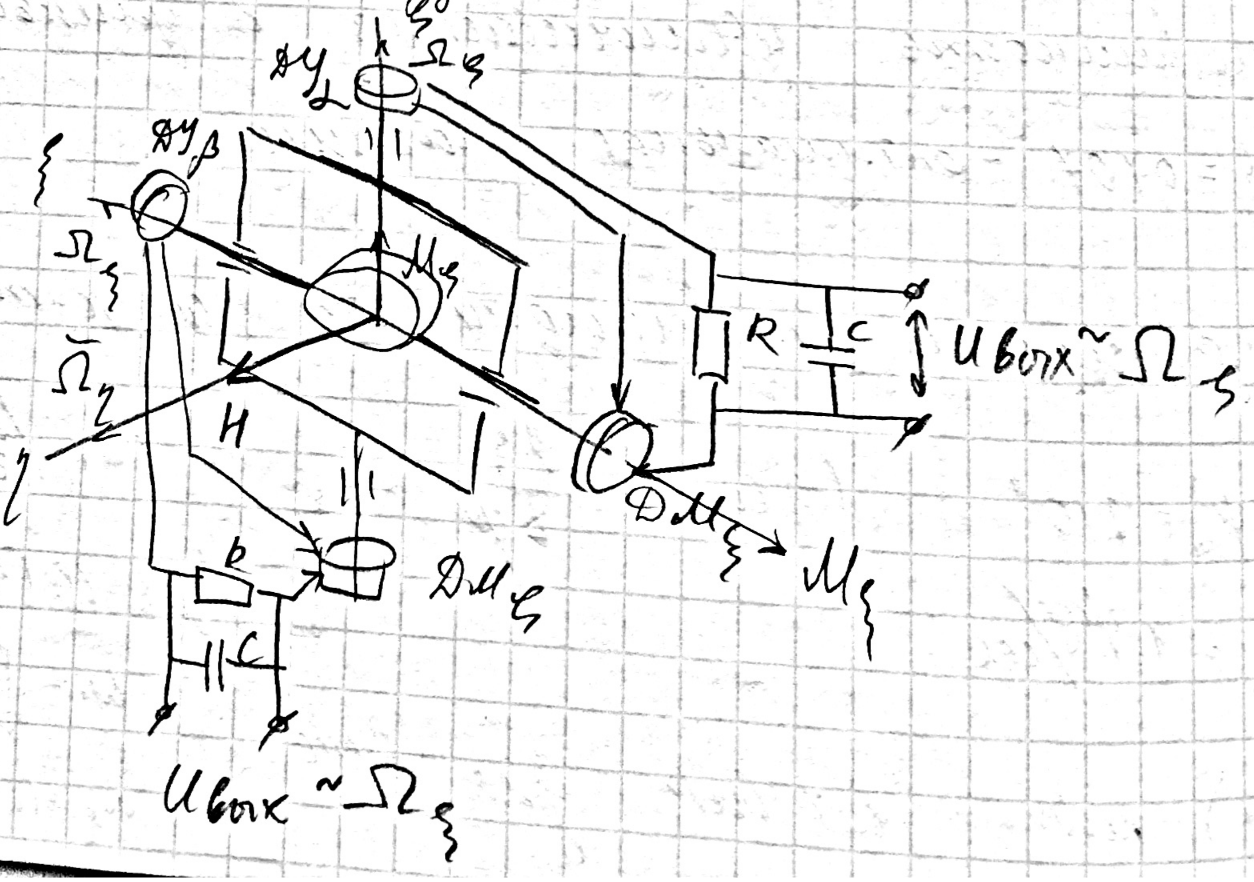
ЧИМ



Трехстепенной ДУС
(в прицельных устройствах, бесголовках; гиропривод) Неустоим АК „Гироприводы"

1) Традиционная (с внеш. кард. подв.)
2) На базе внутр. КП

ДУС на базе ДНГ



$$\Omega_\zeta \to ДУ_2 \to U_{вых\,ДУ_2} \to M_\xi \to \dot{\alpha} = \frac{M_\xi}{H}$$

$H\Omega_\zeta = M_\xi$ установившийся режим

$$M_\xi = K_{дм}\, i_{дм}$$

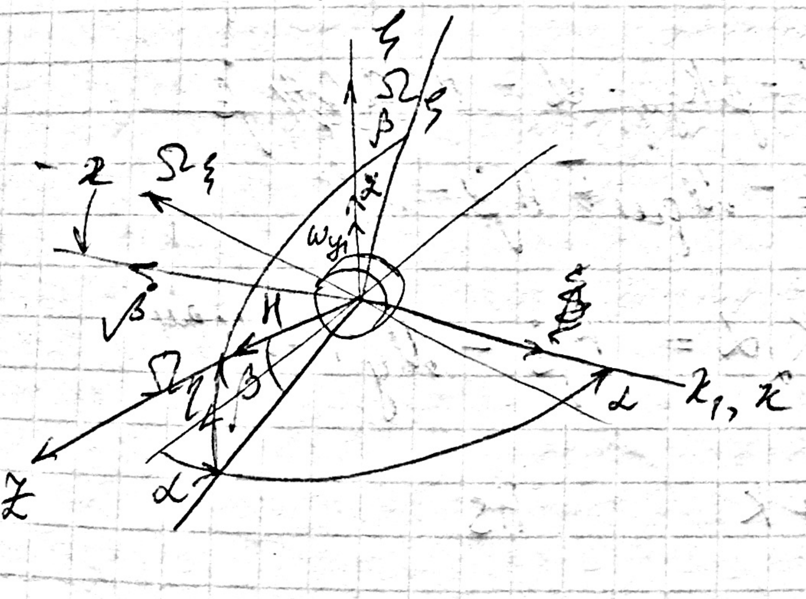
$$i_{дм} = \frac{H}{K_{дм}}\Omega_\zeta\,; \quad U_{вых\,\zeta} = R\frac{H}{K_{дм}}\cdot\Omega_\zeta = h\Omega_\zeta$$

$$U_{вых\,\xi} = h\Omega_\xi$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta R}{R} + \underset{асинхр.}{\frac{\Delta H}{H}} + \frac{\Delta K_{дм}}{K_{дм}}$$ ак. проблема

ДУ с 3мя ст. св. – суммирующий двух угл. скоростей (в проекциях на оси)

Ур-ния движения ДУ с 3мя ст. св.



1. Определим проекции угл. ск-тей на оси Резаля

$\omega_x = -\dot\beta - \Omega_\xi \cos\alpha - \Omega_\eta \sin\alpha$

$\omega_y = (\dot\alpha + \Omega_{\xi} e_\eta) \cos\beta - \sin\beta\,(\Omega_\eta \cos\alpha \pm \Omega_\xi \sin\alpha)$

$Ox: \; -A_0\dot\omega_x - H\omega_y + M_{\partial M_\xi} + M_x^{\text{вр}} = 0$

$Oy_1: \; -J_0\dot\omega_{y_1} + H\cos\beta\cdot\omega_x + M_{\partial M} + M_{y_1}^{\text{вр}} = 0$

Полное уравнение, исследуется при анализе быстроходн. (опр. условие устойчивости системы)

$\omega_{y_1} \approx \dot\alpha + \Omega_{e_\eta}$

Прецессионное уравнение движения

Анализ погрешностей измерения угл. ск.

~~$A\ddot\alpha + D_\alpha\dot\alpha + K_\alpha\alpha = \beta K_{\partial M} \cdot \alpha - H\dot\beta$~~

$$\begin{cases} A_0\ddot\beta + D\dot\beta + K\beta = -\overbrace{M_{\partial M}}^{K_\alpha^{\partial M}} \mp H\dot\alpha - M_x^{\text{вр}} \\ B_0\ddot\alpha + D_\alpha\dot\alpha + K_\alpha\alpha = H\dot\beta - M_y^{\text{вр}} - \overbrace{M^{\partial M}}^{K_\beta^{\partial M}} \end{cases}$$

$A_0 s^2 + Ds + K \qquad Hs$

Δ

$$\omega_x \approx -\dot\beta - \Omega_\xi - \Omega_\eta \alpha$$

$$\omega_y \approx (\dot\alpha + \Omega_\xi) - \Omega_\eta \beta + \cancel{\Omega_\xi \alpha \beta}$$

$\frac{K}{H} = \varepsilon$ удельная скорость управления

$$\dot\alpha + \Omega_\xi - \beta\Omega_\eta - \varepsilon\alpha - \omega_{ccn} = 0$$

$$\dot\alpha - \varepsilon\alpha = -\Omega_\xi + \beta\Omega_\eta + \omega_{ccn}$$

$$\dot\beta + \Omega_\xi + \alpha\Omega_\eta - \varepsilon\beta - \omega'_{ccn} = 0$$

$$\dot\beta - \varepsilon\beta = -\Omega_\xi - \alpha\Omega_\eta + \omega'_{ccn}$$

1) статика

погрешности от:

$$\alpha_* = \frac{\Omega_\xi}{\varepsilon} - \beta_* \frac{\Omega_\eta}{\varepsilon} - \frac{\omega_{ccn}}{\varepsilon}$$

перекрестной угл. ск-ти Ω_η

$$\beta_* = \frac{\Omega_\xi}{\varepsilon} + \alpha_* \frac{\Omega_\eta}{\varepsilon} + \frac{\omega_{ccn}}{\varepsilon}$$

погр., возб. вредн. М.

Чем больше ε, тем меньше погр-ть, но меньше чувствит-ть.

Необходимо демпфирование в системе

α и $\beta \to min$