

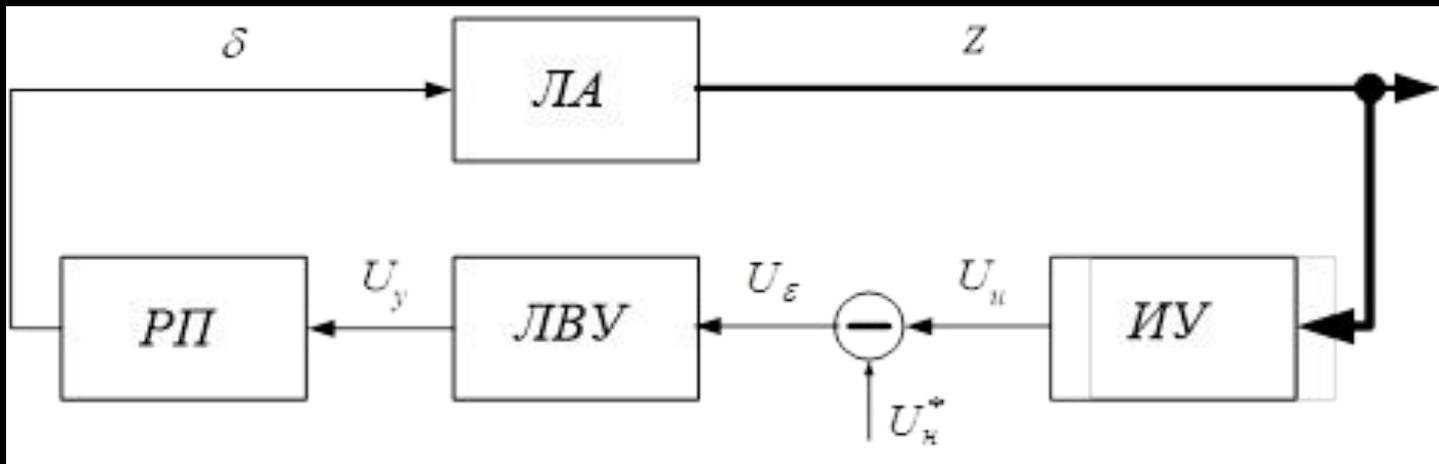
ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Раздел 2 Элементная база систем стабилизации

2.1 Измерительные устройства

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ

- Измерительные устройства
- Усилительно-преобразующие и логико-вычислительные устройства
- Исполнительные устройства



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

КЛАССИФИКАЦИЯ

- Измерители параметров углового движения (вокруг ЦМ):
 - ϑ (ϑ, γ, ψ)
 - ω
 - ε
 - α, β
- Измерители параметров движения центра масс:
 - a
 - V
 - R
 - H
 - dH/dt

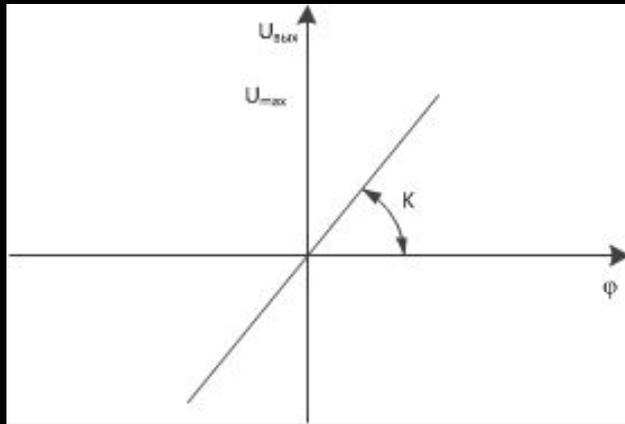
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЯ



ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ

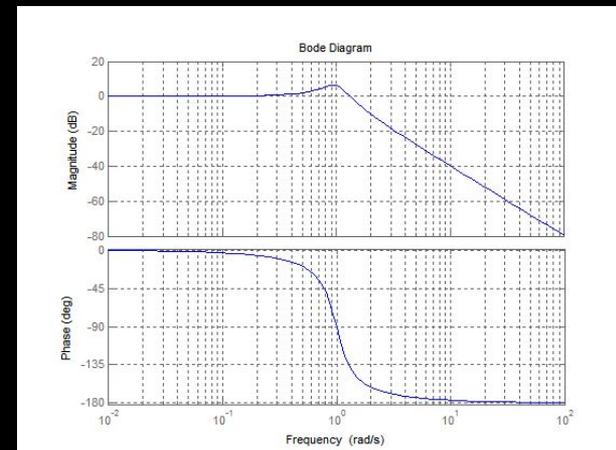
Статическая характеристика:

$$U/\phi=K$$

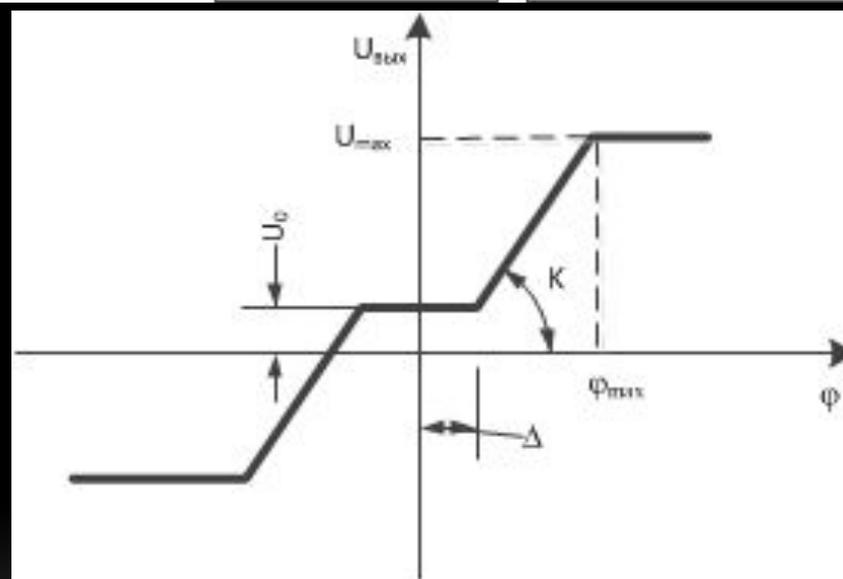


Динамическая характеристика:

$$W(p)=M(p)/N(p)$$



ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ



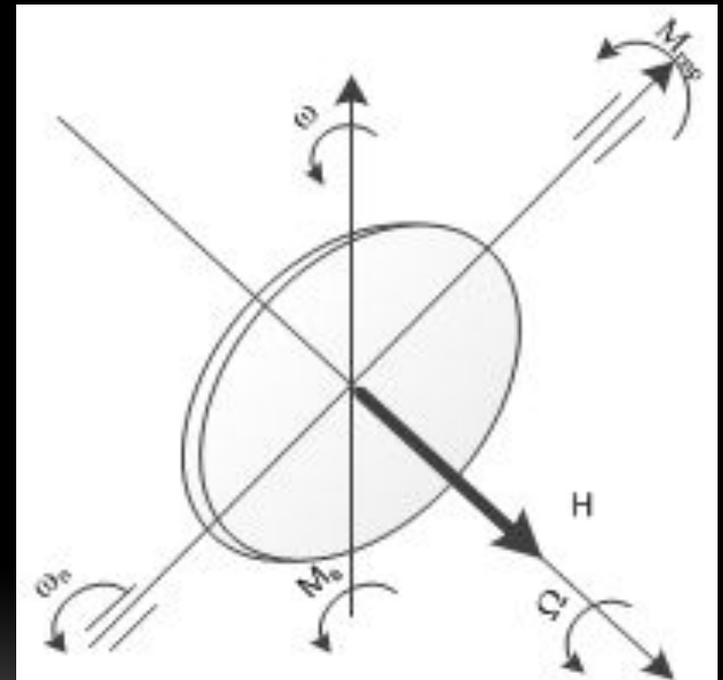
ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Интерфейсы: электрический, информационный, механический
 - Масса и размеры
 - Надежность
 - Устойчивость к внешним воздействиям (соответствие стандартам)
 - Цена
 - Опыт эксплуатации
-

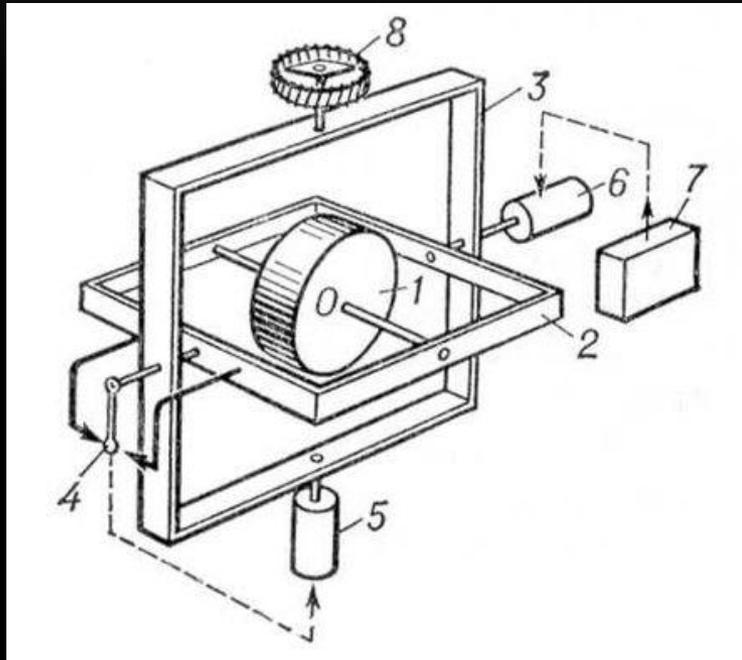
ИЗМЕРИТЕЛИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ВОКРУГ ЦЕНТРА МАСС

Свойства гироскопа

- 1) $\omega \neq 0 \rightarrow M_r = H \times \omega = J\Omega \times \omega$ (гироскопический момент)
- 2) $M_{вн} \neq 0 \rightarrow \omega_{пр} = M_{вн} / (H \sin \alpha)$ (прецессия)
- 3) $M_{вн} = 0 \rightarrow$ направление H неизменно



СВОБОДНЫЙ ГИРОСКОП – ИЗМЕРИТЕЛЬ УГЛА

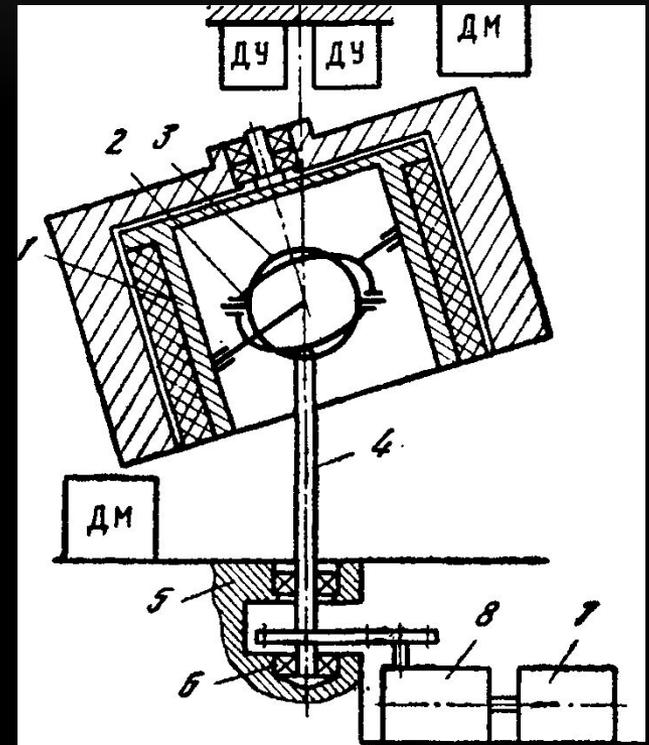
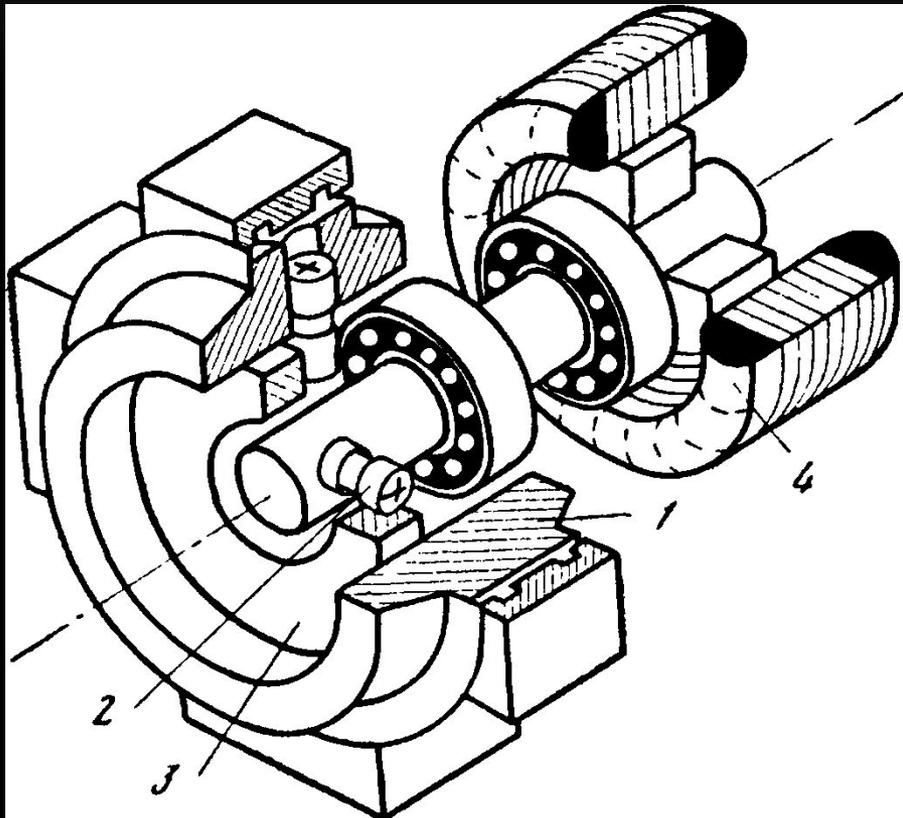


1 — ротор; 2, 3 — внутреннее и наружное кардановы кольца; 4 — маятник-корректор; 5, 6 — датчики моментов; 7 — вычислительное устройство; 8 — потенциометр.

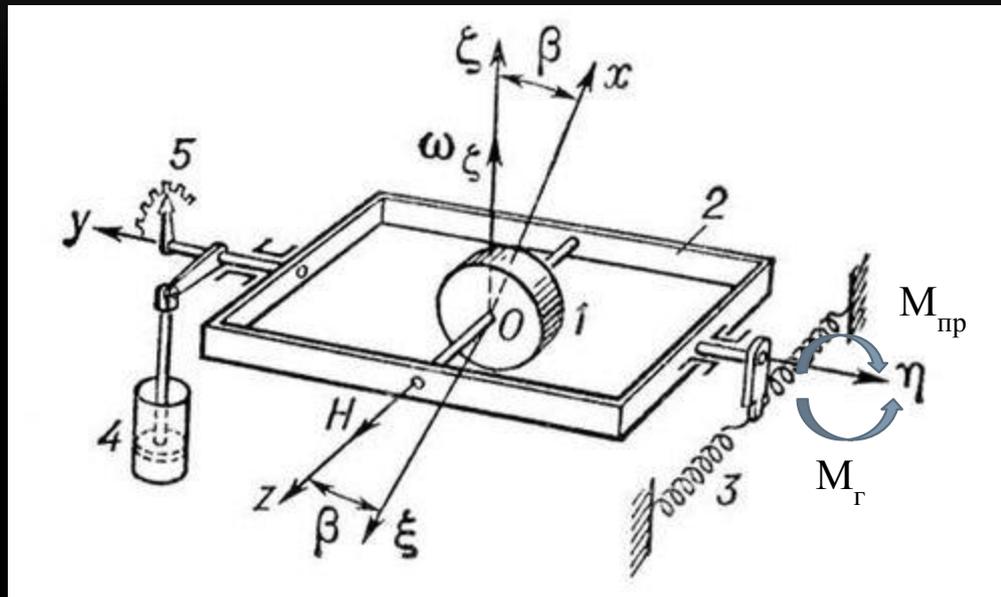
$$W_{\text{сг}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{\alpha} = K_{\text{сг}}$$



ДИНАМИЧЕСКИ НАСТРАИВАЕМЫЙ ГИРОСКОП



ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИЙ ГИРОСКОП (ДГ, ДУС)



1 - ротор; 2 - карданово кольцо; 3 - пружина; 4 - демпфер; 5 - потенциометр; $O\xi\eta\zeta$ - оси системы отсчёта, $Ox\eta z$ - оси, связанные с кардановым кольцом.

$$\omega \rightarrow M_r = Hx\omega \rightarrow \beta \rightarrow M_{пр} = k_{пр}\beta$$

$$M_r = M_{пр}$$

$$\beta = Hx\omega / k_{пр} = k_{дг} \omega$$

$$W_{дг} = \frac{U_{вых}}{\omega} = \frac{k_{дг}}{T_{дг}^2 p^2 + 2\xi_{дг} T_{дг} p + 1}$$

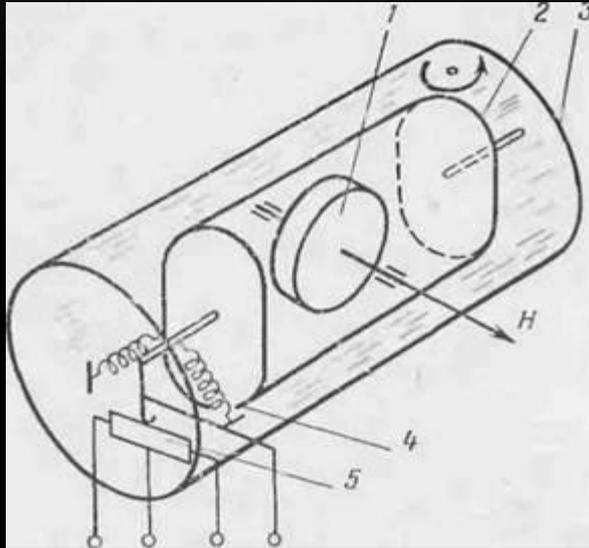
$$T_{дг} < 0,01 \text{ с}, \quad \xi_{дг} \approx 0,5 \dots 1,0$$

Выбор ДГ:

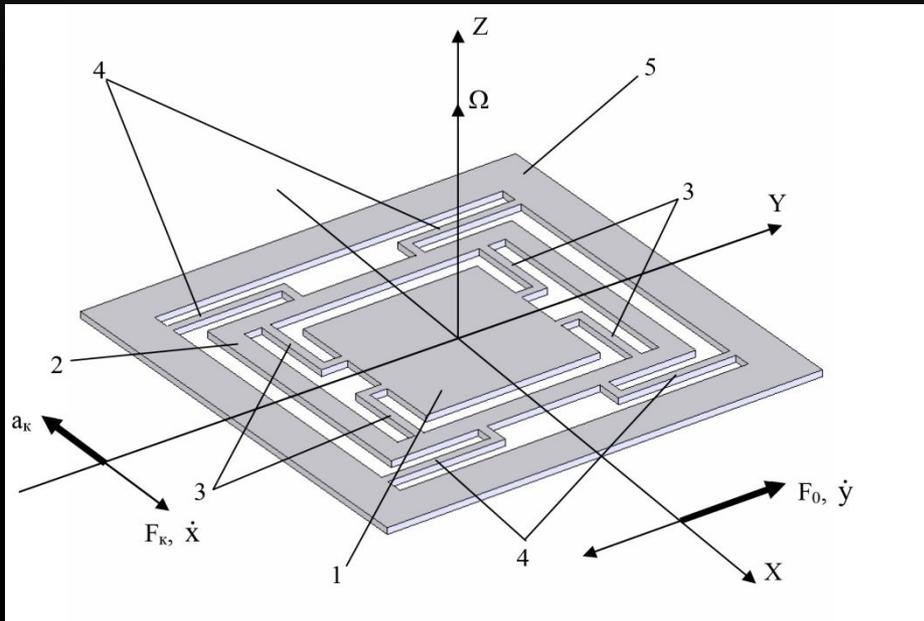
$$\omega_{дг} > 5\omega_{сст}, \quad \omega_{дг} = 4 \dots 10\omega$$



ПОПЛАВКОВЫЙ ДГ



МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП



$$\dot{y} = \dot{y}_0 \sin \omega t .$$

$$\vec{a}_k = 2\vec{\Omega} \times \vec{y}$$

$$\vec{F}_k = -m\vec{a}_k$$

$$OX: \quad -(m_p + m_q)\ddot{x} - D_x\dot{x} - C_x x + 2m_q\Omega\dot{y} = 0$$

$$OY: \quad -m_q\ddot{y} - D_y\dot{y} - C_y y - 2m_q\Omega\dot{x} + F_0 \sin \omega t = 0,$$

$$\ddot{x} + 2\xi v_0 \dot{x} + v_0^2 x = \frac{2m_q}{(m_p + m_q)} \Omega \dot{y}$$

$$x = \frac{2m_q \Omega \dot{y}_0}{\xi_x C_x (m_p + m_q)} \cos(\omega t)$$

КОНСТРУКЦИЯ ММГ

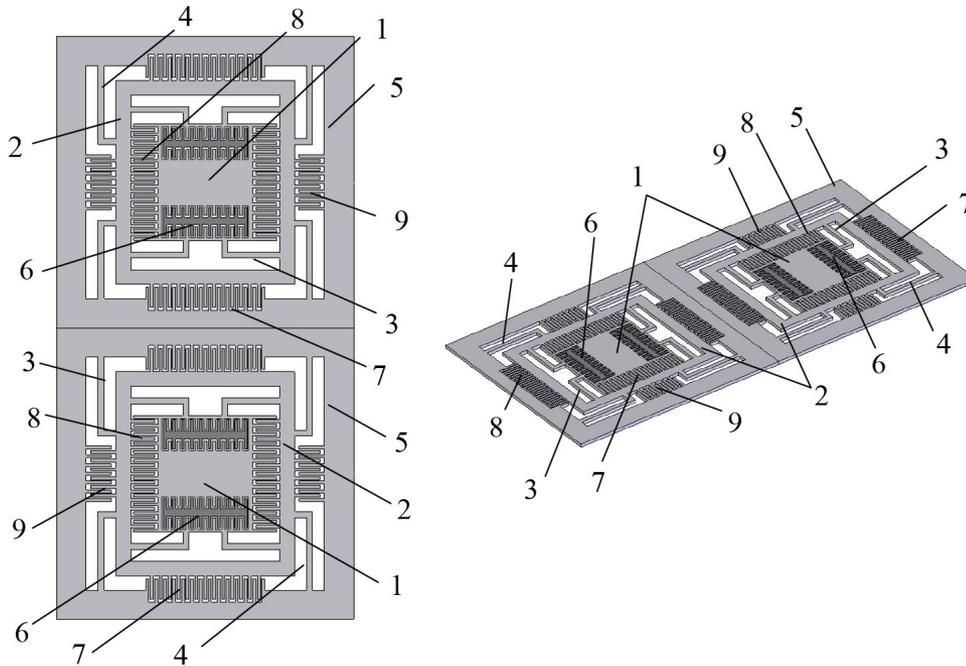
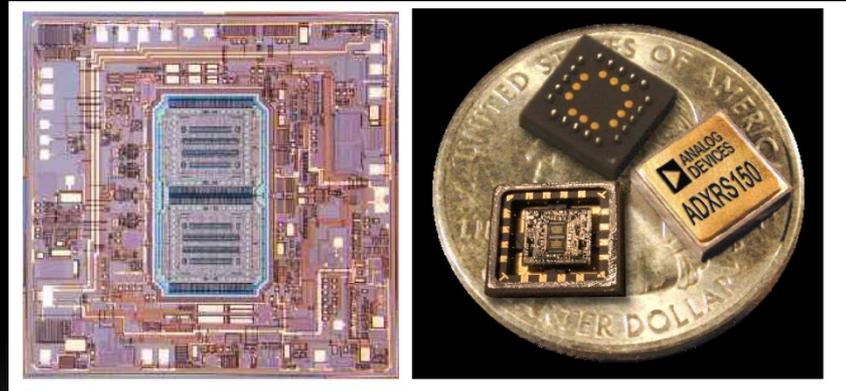
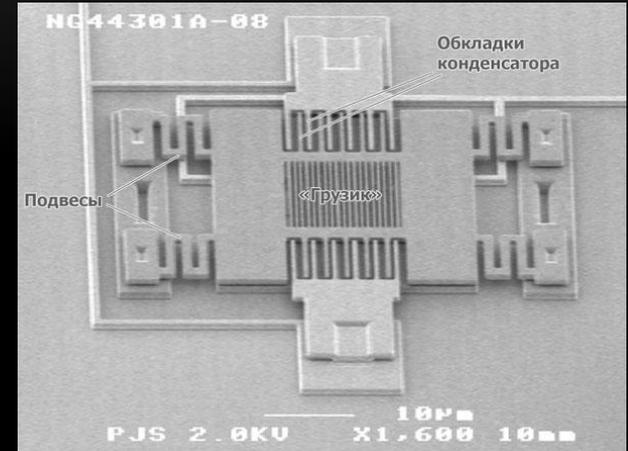
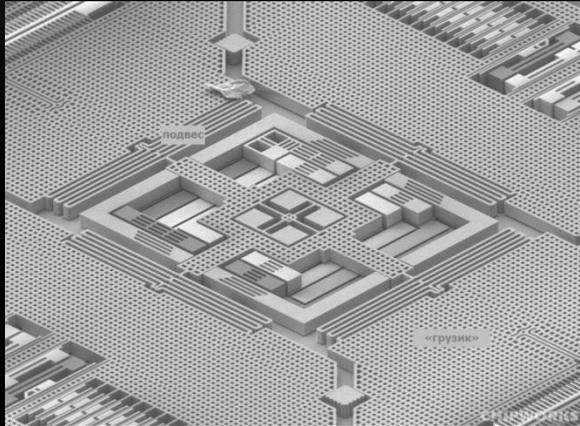
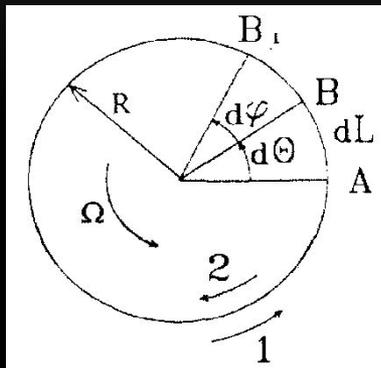


Рис. 2. Конструктивная схема микромеханического гироскопа L-L типа
1 – чувствительный элемент, 2- рамка, 3 – внутренние торсионы,
4 – наружные торсионы, 5 – основание, 6 – электростатический привод системы возбуждения, 7 – датчик перемещения по оси съема, 8 – датчик перемещений системы возбуждения, 9 – электростатический привод обратной связи по оси съема

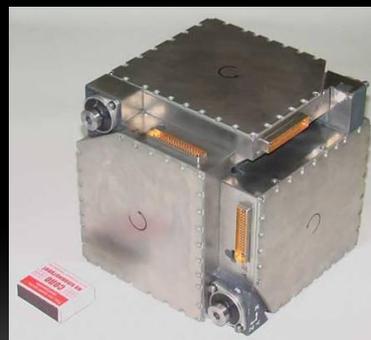
ВНЕШНИЙ ВИД ММГ



ЛАЗЕРНЫЙ (ВОЛОКОННООПТИЧЕСКИЙ) ГИРОСКОП

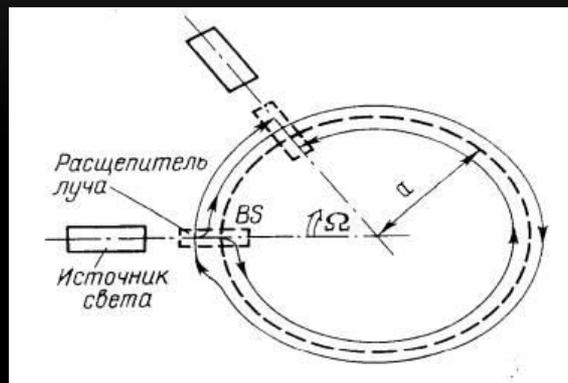


$$\Delta f = \frac{4S\Omega}{L\lambda} = k\Omega$$

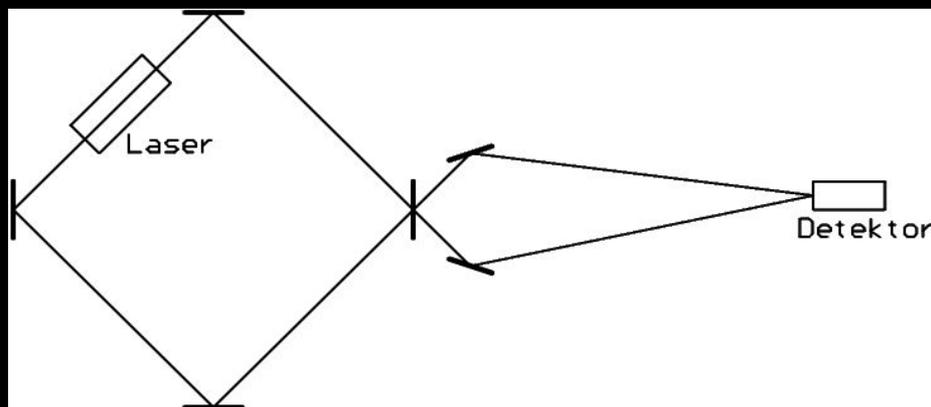


ВИДЫ ЛГ

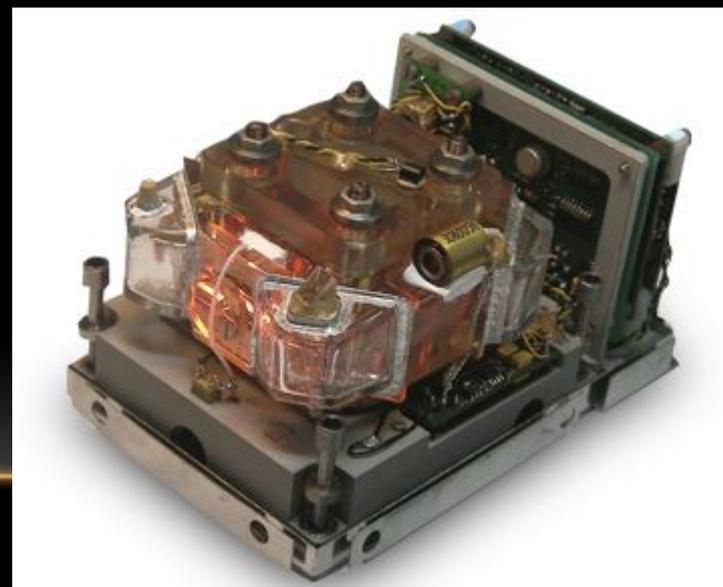
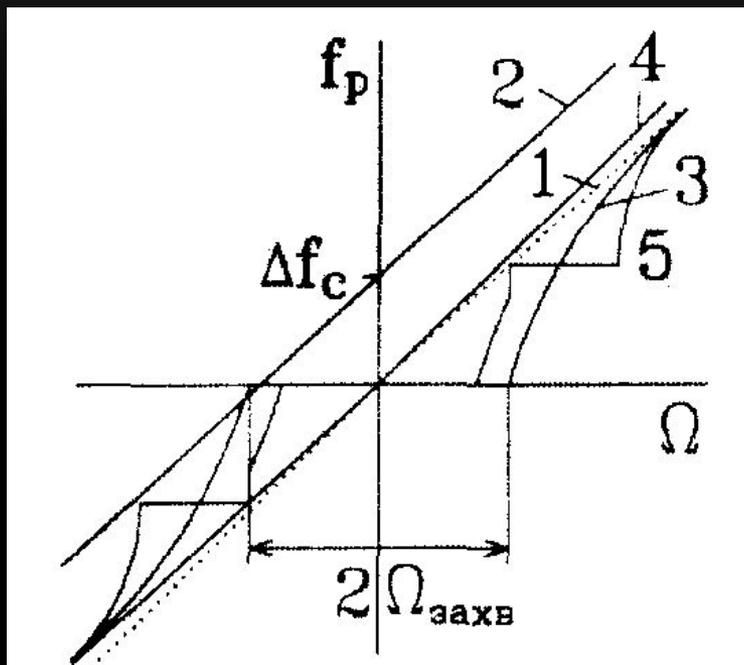
- ВОГ



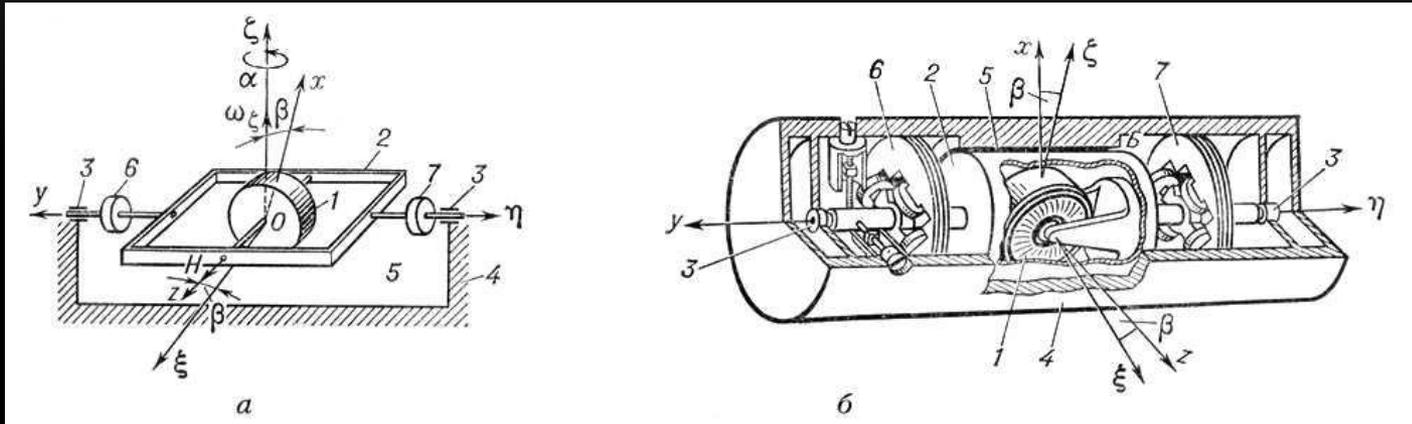
- ЛГ



НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ПОГРЕШНОСТИ ЛГ



ИНТЕГРИРУЮЩИЙ ГИРОСКОП – ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ



а — упрощенная принципиальная; б — кинематическая; 1 — ротор; 2 — рамка (поплавок); 3 — подшипники; 4 — корпус прибора; 5 — зазор между корпусом и поплавком; 6 — датчик угла; 7 — датчик моментов; $Ox\eta z$ — оси, связанные с рамкой (поплавком); $Ox\eta z$ — оси системы отсчёта.

ДГ без ОС (пружины):

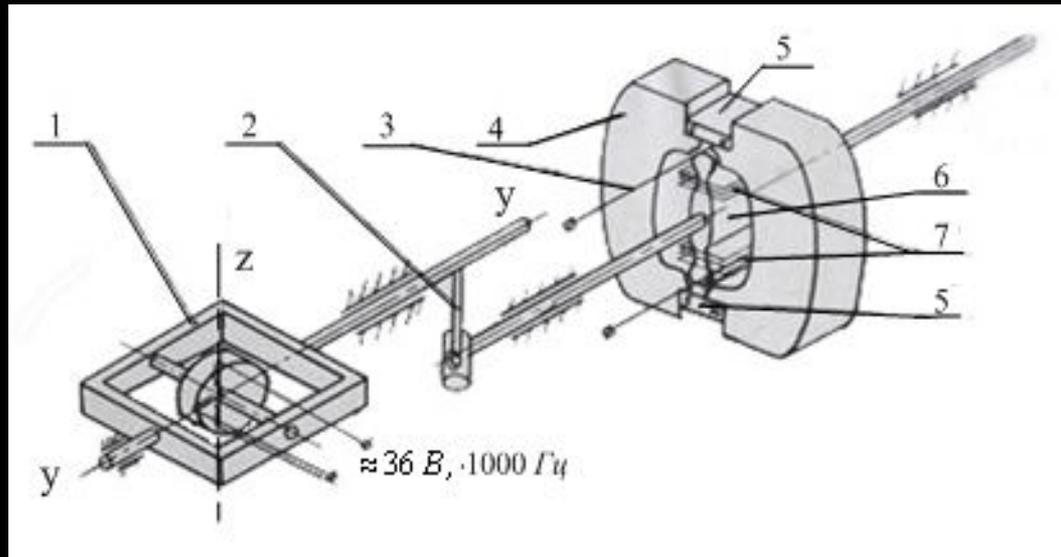
$$\omega \rightarrow M_z = H \times \omega \rightarrow \beta = \int k\omega dt = k\varphi$$

$$W_{uz}(p) = \frac{U_{uz}(p)}{\omega_i(p)} = \frac{K_{uz}}{p(T_{uz}^2 p^2 + 2\xi_{uz} T_{uz} p + 1)}$$

При добавлении ОС:

$$W_{uz} = \frac{U_{\text{вых}}}{\omega} = \frac{k_{uz}(\tau_{uz} p + 1)}{p(T_{uz}^2 p^2 + 2\xi_{uz} T_{uz} p + 1)} = k_{uz} \tau_{uz} + \frac{k_{uz}}{p}$$

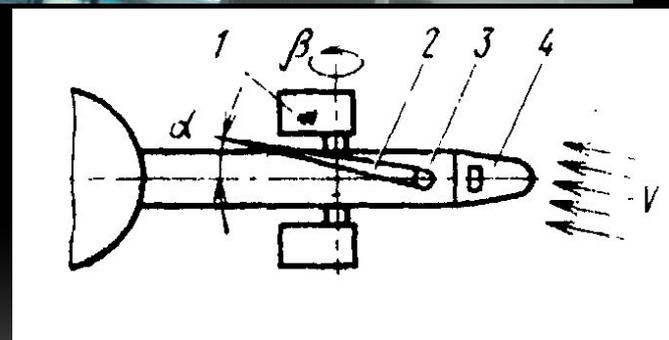
ИЗМЕРИТЕЛЬ УГЛОВЫХ УСКОРЕНИЙ



$$W_{\text{ДУУ}}(s) = \frac{U_{\text{ДУУ}}(s)}{\omega_i(s)} = \frac{\left(\frac{\text{ДУУ}1}{T_{\text{ДУУ}}} \right) \tau_{\text{ДУУ}} s + 1}{T_{\text{ДУУ}}^2 s^2 + 2\xi_{\text{ДУУ}} T_{\text{ДУУ}} s + 1}$$

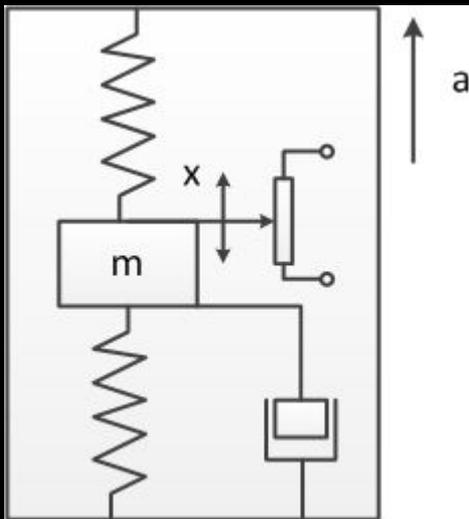
ДАТЧИКИ УГЛА АТАКИ И СКОЛЬЖЕНИЯ

$$W_{\alpha} = \frac{U_{\text{вых}}}{\alpha} = k_{\alpha}$$



ИЗМЕРИТЕЛИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС

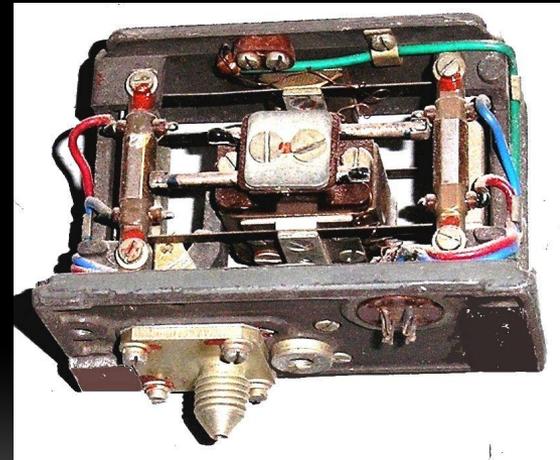
- Датчик линейных ускорений



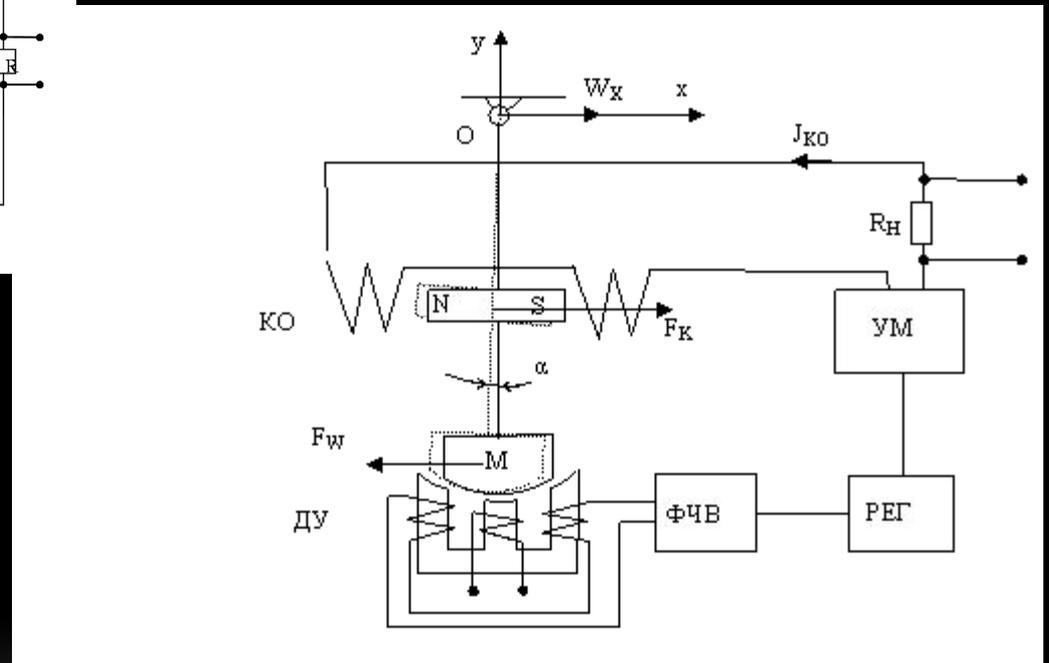
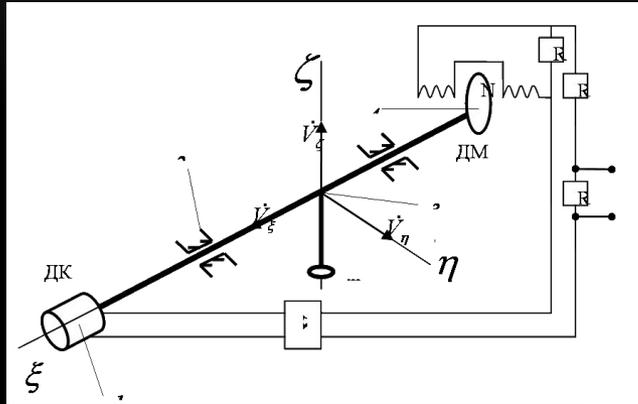
$$W_{\text{длу}} = \frac{U_{\text{вых}}}{x} = \frac{k_{\text{длу}}}{T_{\text{длу}}^2 p^2 + 2\xi_{\text{длу}} T_{\text{длу}} p + 1} \approx k_{\text{длу}}$$

$$\xi_{\text{длу}} \approx 0,6 - 1$$

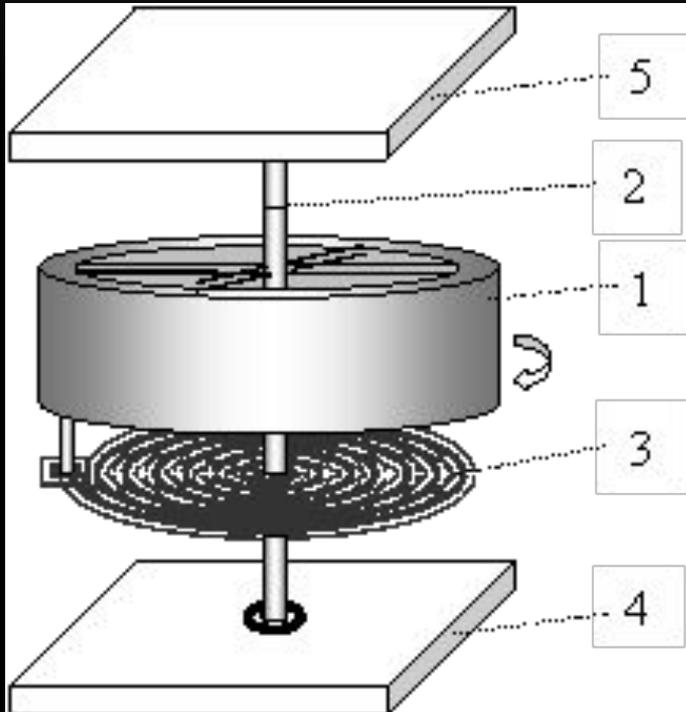
$$T_{\text{длу}} \approx 0,01$$



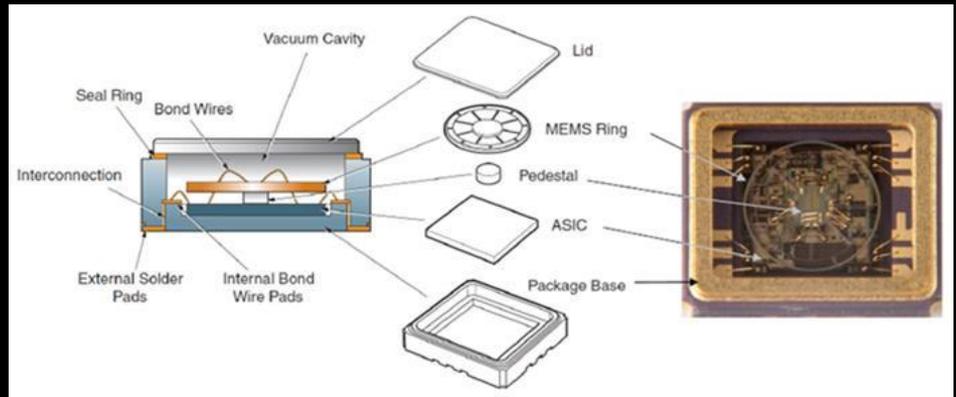
МАЯТНИКОВЫЙ АКСЕЛЕРОМЕТР



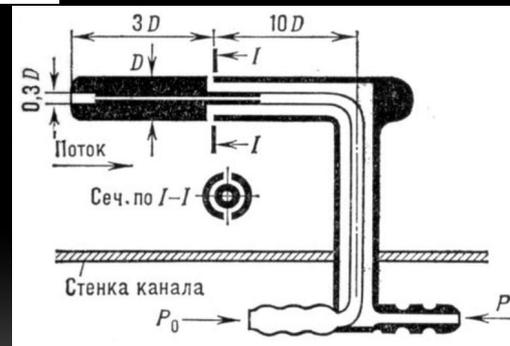
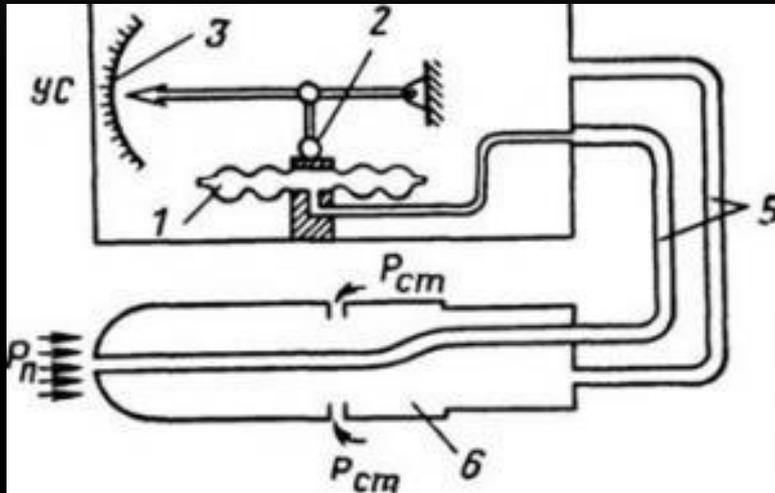
УГЛОВОЙ АКСЕЛЕРОМЕТР



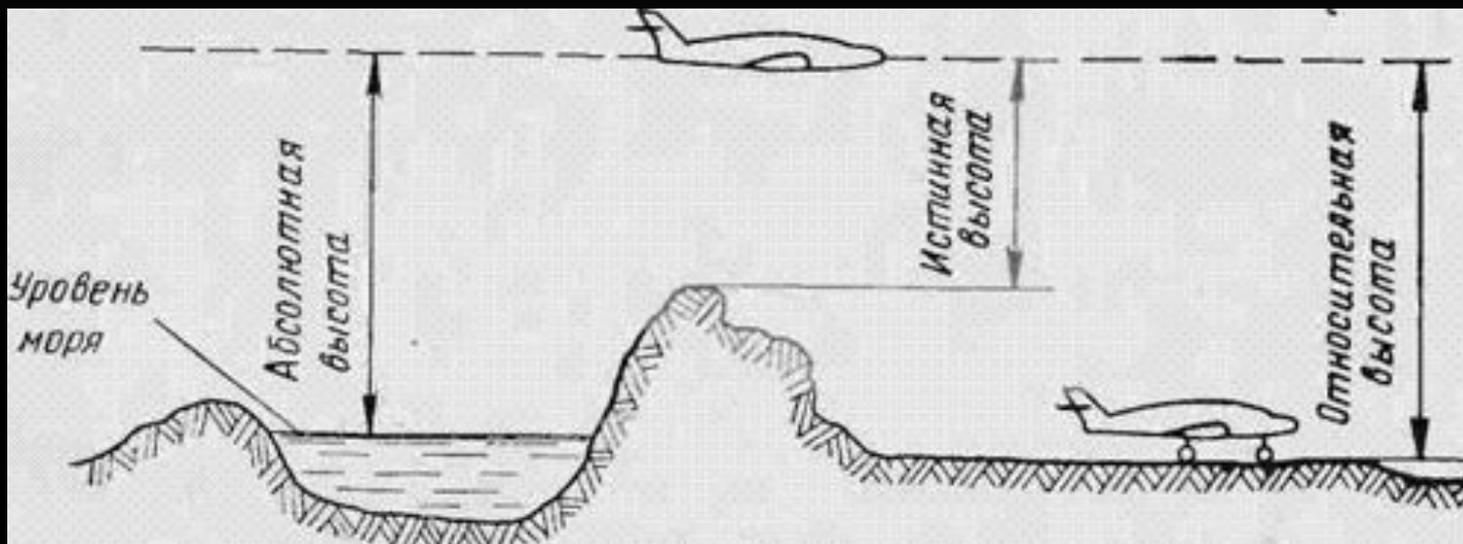
$$W_{\text{дyy}} = \frac{U_{\text{вyx}}}{\Phi} = \frac{k_{\text{дyy}}}{T_{\text{дyy}}^2 p^2 + 2\xi_{\text{дyy}} T_{\text{дyy}} p + 1} \approx k_{\text{дyy}}$$



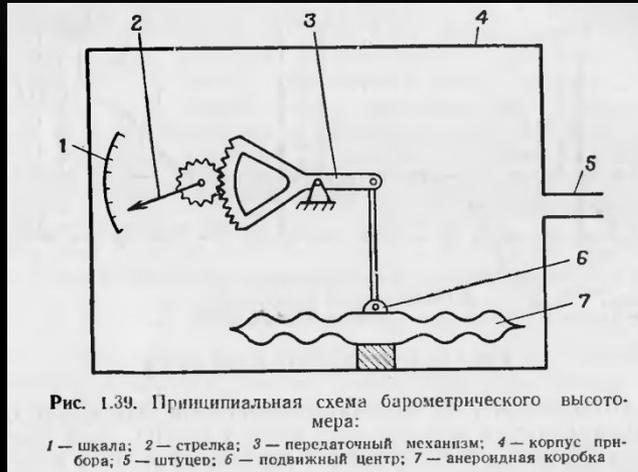
ИЗМЕРИТЕЛИ СКОРОСТНОГО НАПОРА, ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ



ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТЫ

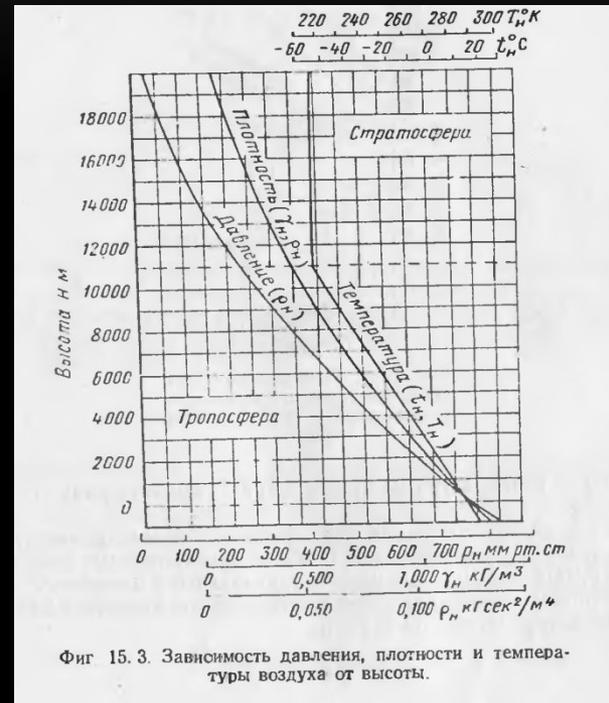
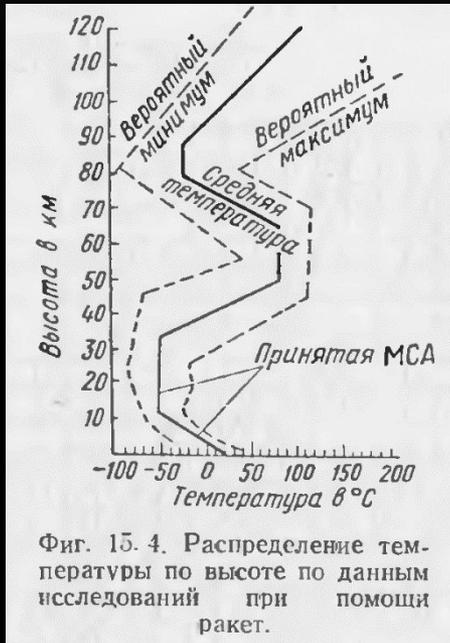


БАРОМЕТРИЧЕСКИЙ ВЫСОТОМЕР



$$W_{BB} = \frac{U_{\text{вых}}}{H} = \frac{k_{BB}}{T_{BB} p + 1}$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ



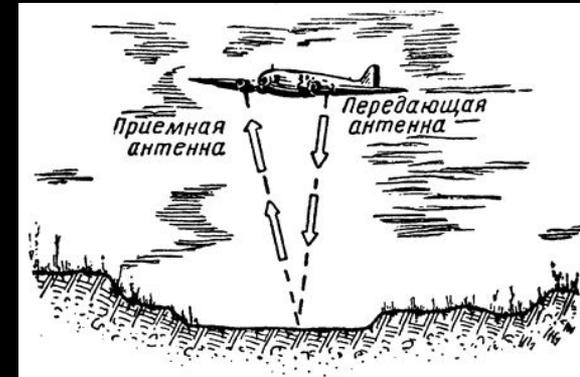
РАДИОВЫСОТОМЕРЫ

- РВ с частотной модуляцией: диапазон измерений до нескольких сотен метров (обычно до 1500 м), заход самолета на посадку;
- РВ с импульсной модуляцией: предназначены для измерения больших высот, применяются военной авиации, в космонавтике, при аэрофотосъемке и в других специальных целях.

Принцип действия радиовысотомера основан на определении времени прохождения радиосигнала от передающей антенны до отражающей поверхности и обратно, к приемной антенне (основной принцип радиолокации):

$$h = t \cdot \frac{c}{2},$$

где h — высота; t — время задержки; c — скорость распространения радиоволн (равна скорости света).



$$W_{PB}(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{H} = \frac{k_{PB}}{T_{PB} p + 1} \Rightarrow \begin{cases} W_{PB}(z) = \frac{U_{\text{вых}}}{H} = z^{-1} \\ W_{PB}(z) = \frac{U_{\text{вых}}}{H} = \frac{M(z^{-1})}{N(z^{-1})} \end{cases}$$

ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННАЯ ПЛАТФОРМА

