Лекция 1

Пономарёв Юрий Анатольевич \ Экзамен

ММ: Гироскопические сис-мы, 1 часть Пельпор Д.С. „Теория гироскопов, гироскопические стабилизаторы"

Матвеев В.А. „Гироскоп - это просто" 2 издание

доп: „ скопические сис-мы. Гироскопические приборы" Пельпор Д.С.

Распопов В.А. „Микромеханические приборы"

„Гироскопические стабилизаторы на динамически настраиваемых вибрацион. гироскопов" Матвеев В.А., Фатеев В.В. 2005

„Теория гироскопических приборов. Учебное пособие" Виноченко В.Ф. 2010 г.

„Прикладная теория гироскопов" Лысов А.Н 2009 г

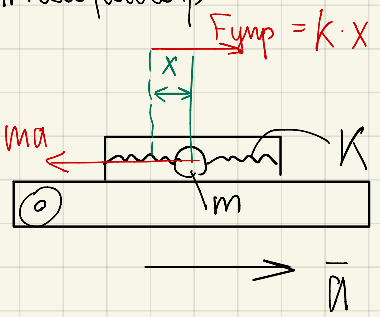
Важное: Булгаков „Прикладная теория гироскопов"

Магнус „Гироскоп и его применение"

Шестов С.А. „Гироскоп на земле, в воздухе"

Павлов В.А. „Гироскопический эффект"

Лекция 2. Акселерометр



$$kx = ma$$

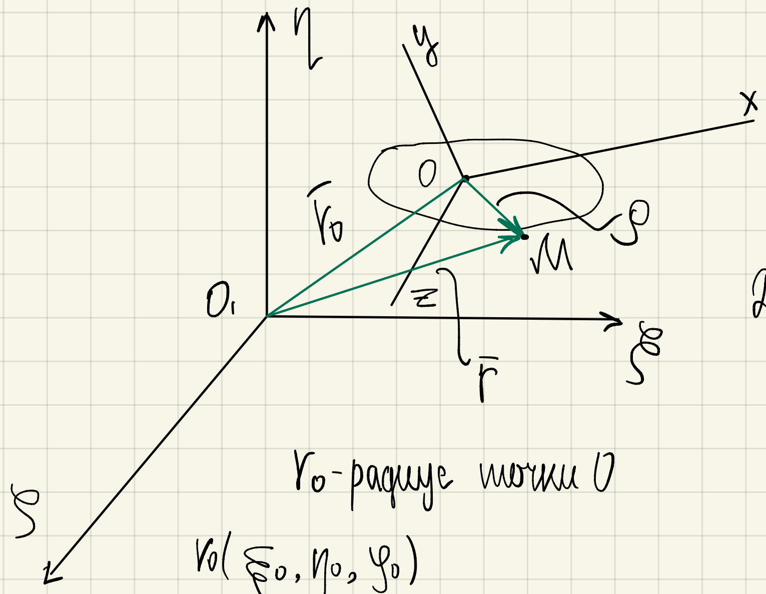
$$x = \frac{m}{k} \cdot a$$

Системы ориентации: к системам ориентации относят устройства, опр. кинематику движения ЛА вокруг центра его масс

Система навигации: к системам нав. относ. устройства, опред. кинематику движ. центра масс ЛА в пр-ве

Система стабилизации: системы стабил. предназн. для сохр. положения какого-либо объекта.

Лекция 3 Задание положения тела в пространстве. Определение направляющих косинусов



$O_1\eta\xi\zeta$ - условно неподвижная абсолютная система координат

OXYZ - система координат жёстко связанная с телом

Движение абсолютно тверд. тела является известным, если в любой момент времени известных координ η, ξ, ζ в абсолютной системе координат

r_0 - радиус точки O

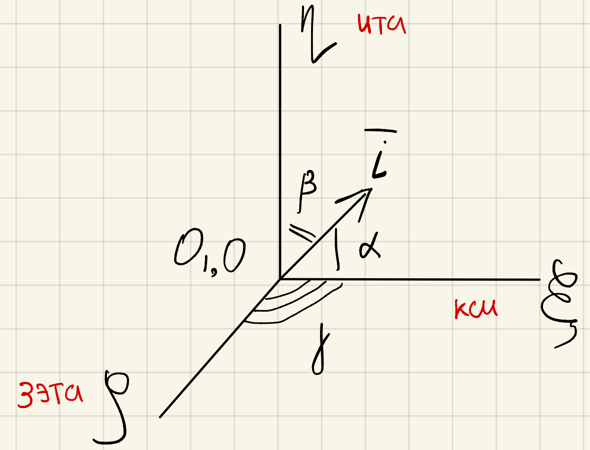
$r_0(\xi_0, \eta_0, \zeta_0)$

$r(\xi, \eta, \zeta)$ - радиус вектор т.М в абсолютной системе координат

$\rho(x, y, z)$ - радиус вектор т.М

$$\bar r = \bar r_0 + \bar\rho = \bar r_0 + x\cdot\bar i + y\cdot\bar j + z\cdot\bar k$$

Проекция каждого из векторов i, j, k на каждую из осей ξ, η, ζ равна направ. cos углов между осями x, y, z и η, ξ, ζ.



$$\cos\alpha = \frac{i_\xi}{\underbrace{|\bar i|}_{1}} = i_\xi = a_{11}$$

$$\cos\beta = \frac{i_\eta}{\underbrace{|\bar i|}_{1}} = i_\eta = a_{21}$$

$$\cos\gamma = \frac{i_\zeta}{|\bar i|} = i_\zeta = a_{31}$$

Аналогичным образом находятся 3 cos для j и k.

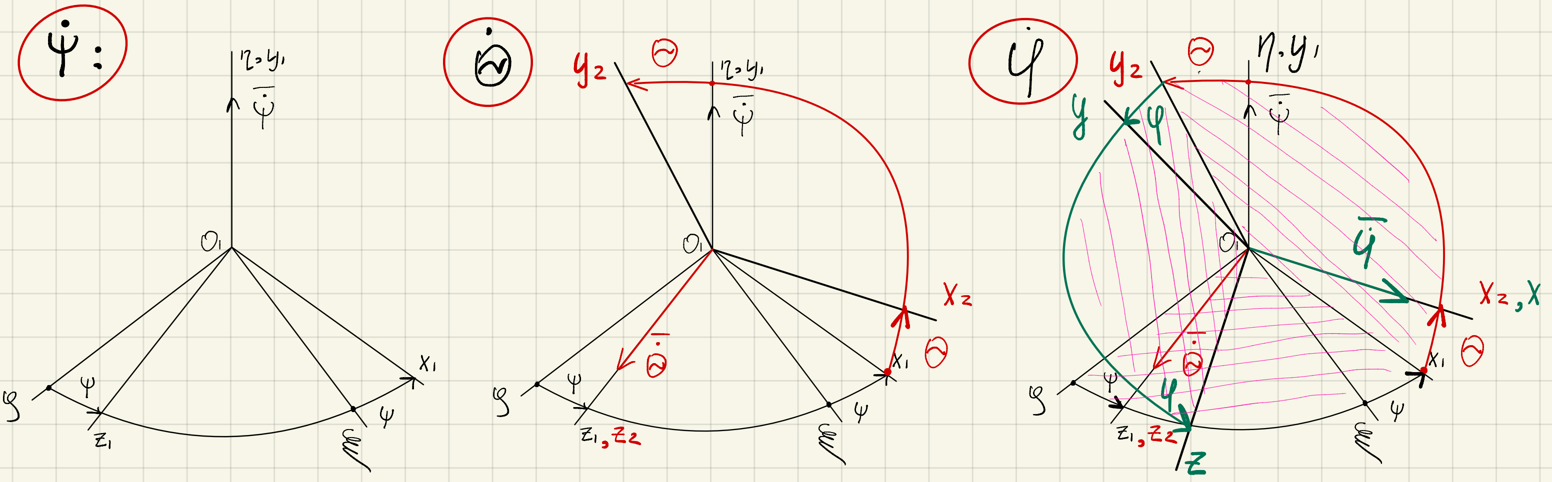
$$\begin{cases} \xi = \xi_0 + a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z \\ \eta = \eta_0 + a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z \\ \zeta = \zeta_0 + a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z \end{cases}$$

$\xi_0, \eta_0, \zeta_0, a_{ij} \to f(k)$

	x	y	z
ξ	a_{11}	a_{12}	a_{13}
η	a_{21}	a_{22}	a_{23}
ζ	a_{31}	a_{32}	a_{33}

Направляющих косинусов тут 3

Для удобства аналитических выводов и с соображением наглядности Эйлером было предложено в качестве характеристик твёрдого тела не направляющие cos , а 3 угла через тригонометрические функции которых выражаются все 9 направляющие cos. Эти независимые между собой углы получили название углы Эйлера.



Углы Эйлера получили широкое применение.

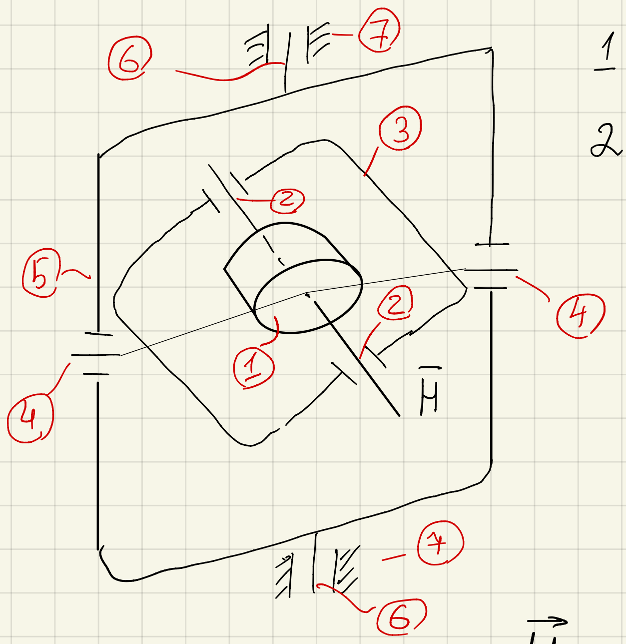
Лекция 4

Первый угол - угол курса - угол между двумя плоскостями
Первая плоскость образована продольной осью летательного аппарата и её проекцией на плоскость местного горизонта

Вторая полость - плоскость меридиана (географический меридиан, ортодромический)
Второй угол - угол трангожа - угол между продольной осью летательного аппаратами и её проекция на плоскость местного горизонта
Третий угол - угол между поперечной осью летательного аппарата и её проекцией на плоскость местного горизонта

Задание положения ротора 3х степенного гироскопа при помощи углов Эйлера

Кинематическая схема 3х степенного гироскопа



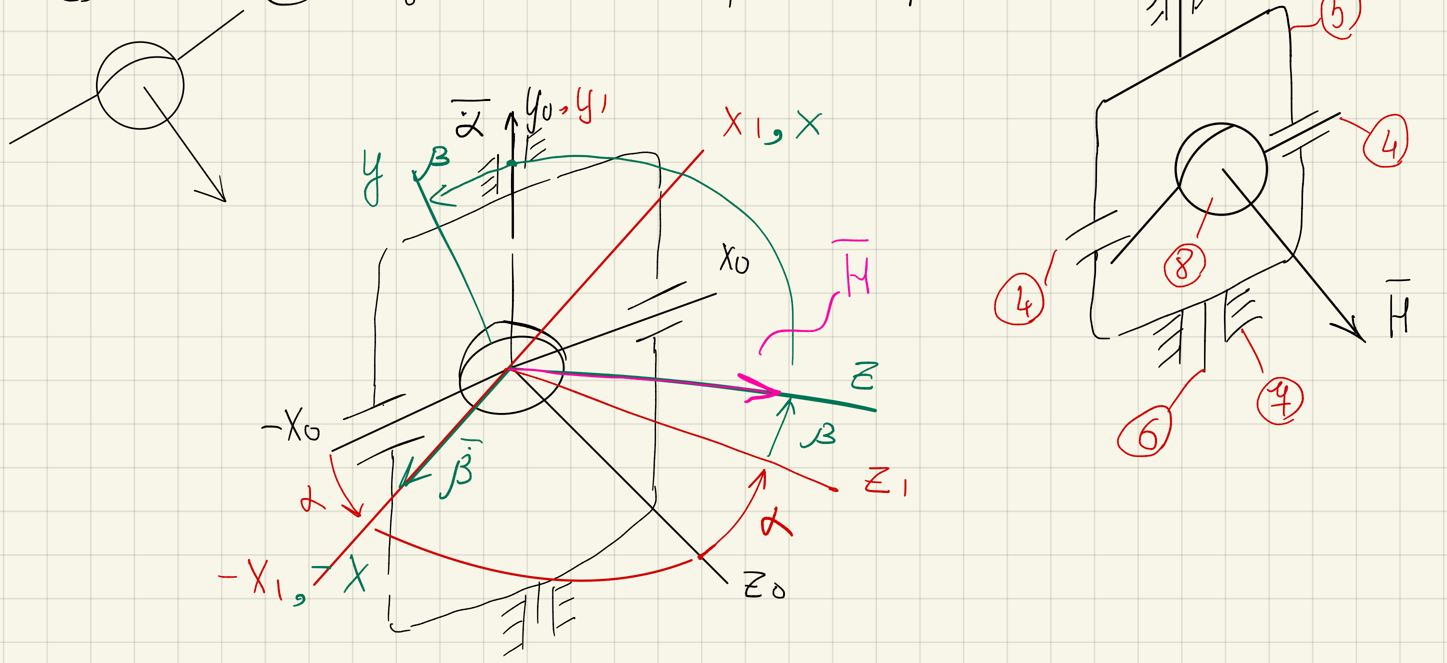
1 - ротор, маховик
2 - опоры ротора (или маховика)
3 - внутр. рамка карданного подвеса
4 - опоры внутр. рамки кард. подвеса
5 - наружная рамка кард. подвеса
6 - опоры наружной рамки кард. подвеса
7 - основание

$\vec{H}$ - собственный кинетический момент

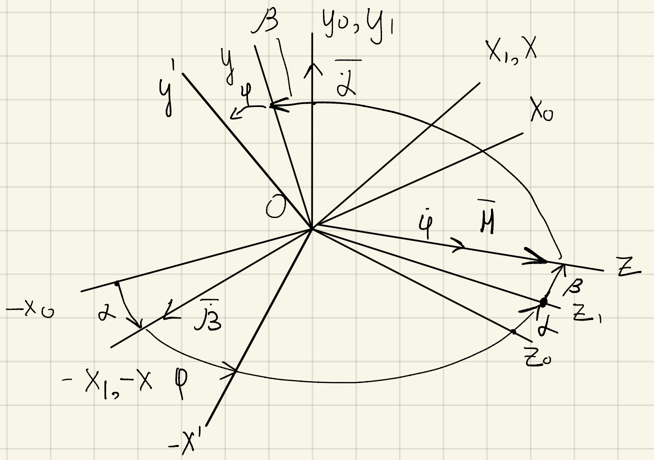
$H = C \cdot \Omega_z$ — угловая скорость

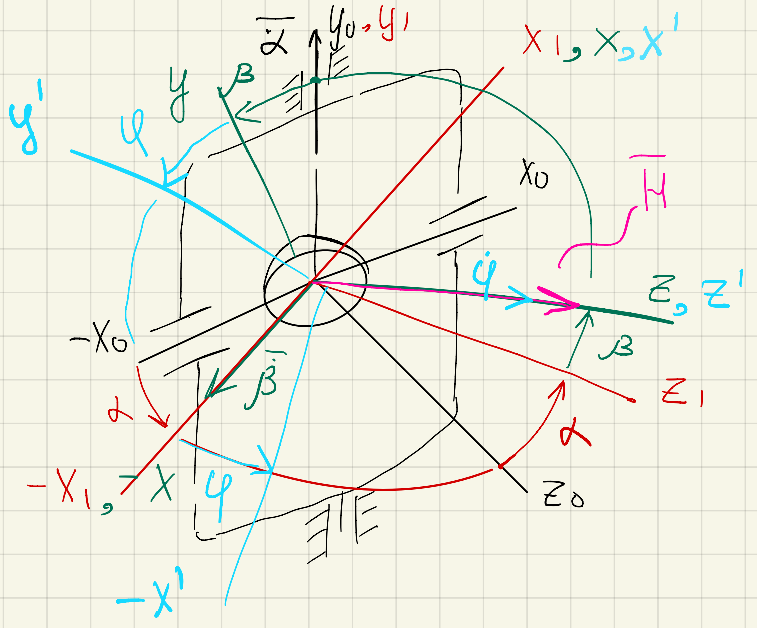
C — момент инерции маховика

① + ② + ③ + двигатель = гиромотор



$OX_0Y_0Z_0$ - система координат, связанная с основание
$OX_1Y_1Z_1$ - система координат, связанная с наружной рамкой
$OXYZ$ - система координат, связанная с внутренней рамкой (кожухом гиромотора)

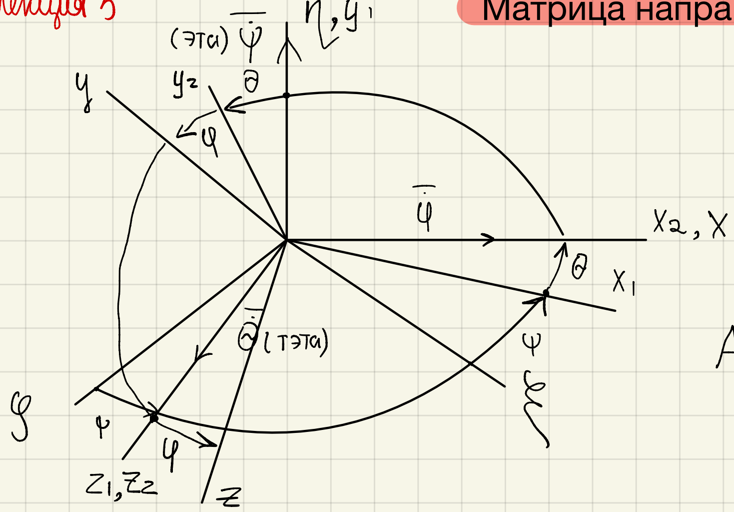




$OX'Y'Z'$ - система координат, связанная с маховиком

Лекция 5

Матрица направляющего cos



Необходимо найти матрицу направляющих cos, для перехода из связанной системы координат в базовую.

* (с каждой стороны 7 элементов)

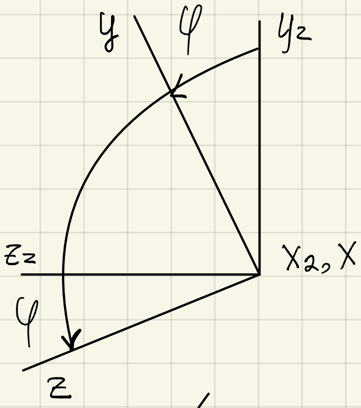
$A_{L\to 0}$ - Матрица направляющих cos для перехода из связывающей СК в ξ, η, ζ (X, Y, Z) !базовую!

• $A_{c\to 2} \to$ МНК $\quad x, y, z \to x_2, y_2, z_2$

• $A_{2\to 1} \to$ МНК $\quad x_2, y_2, z_2 \to x_1, y_1, z_1$

• $A_{1\to 0} \to$ МНК $\quad x_1, y_1, z_1 \to \xi, \eta, \zeta$

$$\boxed{\begin{aligned} A_{c\to 0} &= A_{1\to 0} A_{2\to 1} A_{c\to 2} \\ A_{0\to c} &= (A_{c\to 0})^T \end{aligned}}$$



$\bar{i}, \bar{j}, \bar{k} \to x_2, y_2, z_2$

$x_2 = x \cdot 1 + y \cdot 0 + z \cdot 0$

$y_2 = x \cdot 0 + y \cdot \cos\varphi - z \cdot \sin\varphi$

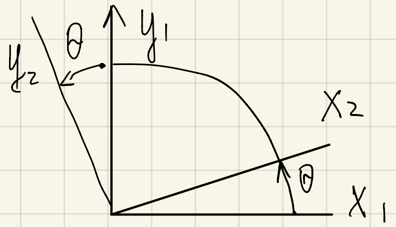
$z_2 = x \cdot 0 + y \cdot \sin\varphi + z \cdot \cos\varphi$

	x	y	z
x_2	1	0	0
y_2	0	$\cos\varphi$	$-\sin\varphi$
z_2	0	$\sin\varphi$	$\cos\varphi$

$$A_{c\to 2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \qquad A_{c\to 2} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y\cos\varphi - z\sin\varphi \\ y\sin\varphi + z\cos\varphi \end{pmatrix}$$

$A_{2\to 1}$:



$x_1 = x_2 \cos\theta - y_2 \sin\theta$

$y_1 = x_2 \sin\theta + y_2 \cos\theta$

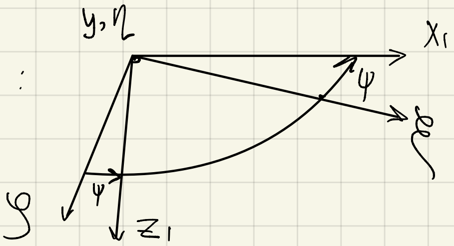
$z_1 = x_2 \cdot 0 + y_2 \cdot 0 + z_2 \cdot 1$

$$A_{2\to 1} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$A_{c\to 1} = A_{2\to 1} \cdot A_{c\to 2} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta\cos\varphi & \sin\theta\sin\varphi \\ \sin\theta & \cos\theta\cos\varphi & -\cos\theta\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}$$

$A_{1\to 0}$:



$\xi = x_1 \cos\psi + y_1 \cdot 0 + z_1 \cdot \sin\psi$

$\eta = x_1 \cdot 0 + y_1 \cdot 1 + z_1 \cdot 0$

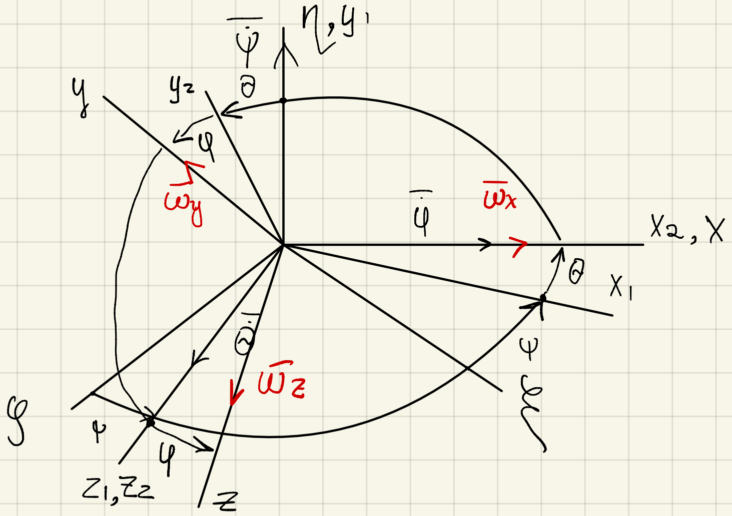
$$\zeta = -x_1 \sin\psi + y_1 \cdot 0 + z_1 \cos\psi$$

$$A_{1\to 0} = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi \end{pmatrix} \qquad A_{c\to 0} = A_{1\to 0} A_{c\to 1} =$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta\cos\varphi & \sin\theta\sin\varphi \\ \sin\theta & \cos\theta\cos\varphi & -\cos\theta\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\psi\cos\theta & -\cos\psi\sin\theta\cos\varphi + \sin\psi\sin\varphi & \cos\psi\sin\theta\sin\varphi + \sin\psi\cos\varphi \\ \sin\theta & \cos\theta\cos\varphi & -\cos\theta\sin\varphi \\ -\sin\psi\cos\theta & \sin\theta\cos\psi\sin\varphi + \cos\psi\sin\varphi & -\sin\psi\sin\theta\sin\varphi + \cos\psi\cos\varphi \end{pmatrix}$$

Найти проекции вектор относительно угловой скорости на оси, связанные с СК.

$$\bar{\omega} = \bar{\dot\psi} + \bar{\dot\theta} + \bar{\dot\varphi}$$ – вектор относит. угл. скорости



$$A_{c\to 2} \to A_{2\to c} = (A_{c\to 2})^T$$

- $$\begin{pmatrix} \dot\varphi_x \\ \dot\varphi_y \\ \dot\varphi_z \end{pmatrix} = (A_{c\to 2})^T \begin{pmatrix} \dot\varphi \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot\varphi \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot\varphi \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\omega_x = \dot\varphi + 0 + \dot\psi \cdot \sin\theta$$
$$\omega_y = 0 + \dot\theta\sin\varphi + \dot\psi \cdot \cos\theta\cos\varphi$$
$$\omega_z = 0 + \dot\theta\cos\varphi + \dot\psi \cdot (-\sin\varphi\cos\theta)$$

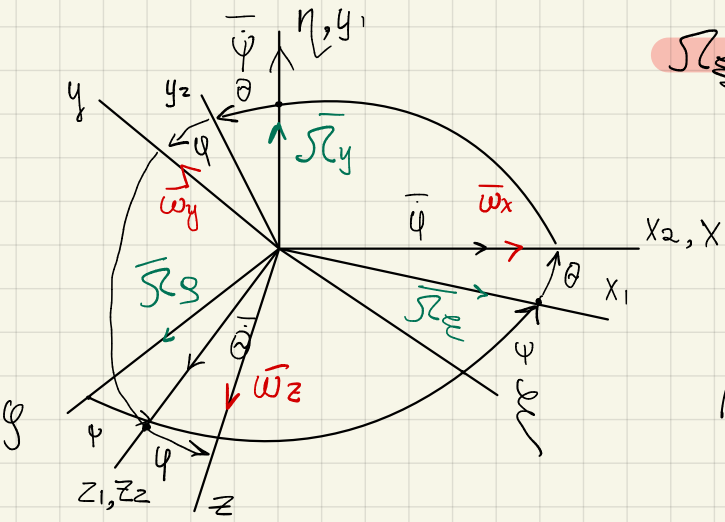
- $$\bar{\dot\theta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\theta \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} \dot\theta_x \\ \dot\theta_y \\ \dot\theta_z \end{pmatrix} = A_{2\to c} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \sin\varphi \\ \cos\varphi \end{pmatrix}$$

- $$\dot\psi = \begin{pmatrix} 0 \\ \dot\psi \\ 0 \end{pmatrix}; \quad A_{1\to c} = (A_{c\to 1})^T = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta\cos\varphi & \cos\theta\cos\varphi & \sin\varphi \\ \sin\theta\sin\varphi & -\sin\varphi\cos\theta & \cos\varphi \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \dot\psi_x \\ \dot\psi_y \\ \dot\psi_z \end{pmatrix} = A_{1\to c} \begin{pmatrix} 0 \\ \dot\psi \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot\psi \cdot \sin\theta \\ \cos\theta\cos\varphi \cdot \dot\psi \\ -\cos\theta\sin\varphi \cdot \dot\psi \end{pmatrix}$$

Лекция 6

Зададим 3 скорости :



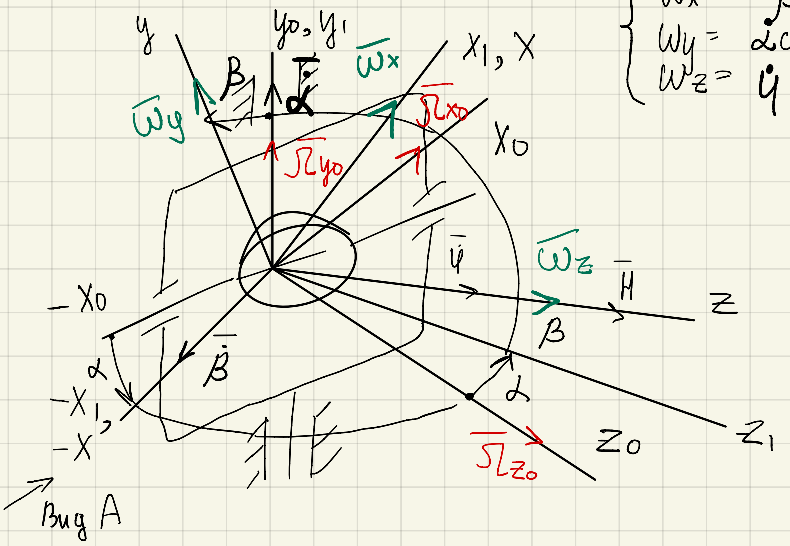
$\Omega_\xi, \Omega_\eta, \Omega_\zeta$ – Проекции абсолютной угловой скорости базовой системы координат на оси ξ, ζ, η.

$$A_{o\to c}\begin{pmatrix}\Omega_\xi\\ \Omega_\eta\\ \Omega_\zeta\end{pmatrix}$$

- если сначала φ, то будет X_1, под углом φ
- φ, θ и ψ закреплены за осями X, y, z

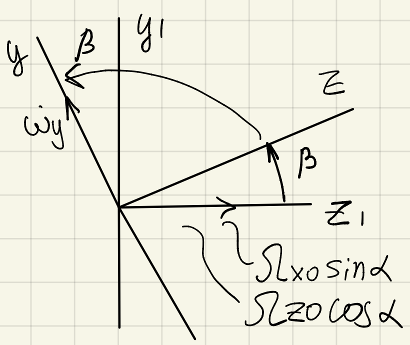
$$\begin{pmatrix}\cos\psi\cos\theta & \sin\theta & -\sin\psi\cos\theta\\ -\cos\psi\sin\theta\cos\gamma+\sin\psi\sin\gamma & \cos\theta\cos\gamma & \sin\theta\cos\psi\sin\gamma+\cos\psi\sin\gamma\\ \cos\psi\sin\theta\sin\gamma+\sin\psi\cos\gamma & -\cos\theta\sin\gamma & -\sin\psi\sin\theta\sin\gamma+\cos\psi\cos\gamma\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Omega_\xi\\ \Omega_\eta\\ \Omega_\zeta\end{pmatrix}=$$

$$=\begin{pmatrix}\cos\psi\cos\theta\,\Omega_\xi+\sin\theta\,\Omega_\eta-\sin\psi\cos\theta\,\Omega_\zeta\\ -\cos\psi\sin\theta\cos\gamma\,\Omega_\xi+\sin\psi\sin\gamma\,\Omega_\xi+\cos\theta\cos\gamma\,\Omega_\eta+\sin\theta\cos\psi\sin\gamma\,\Omega_\zeta+\cos\psi\sin\gamma\,\Omega_\zeta\\ \cos\psi\sin\theta\sin\gamma\,\Omega_\xi+\sin\psi\cos\gamma\,\Omega_\xi-\cos\theta\sin\gamma\,\Omega_\eta-\sin\psi\sin\theta\sin\gamma\,\Omega_\zeta+\Omega_\zeta\cos\psi\cos\gamma\end{pmatrix}$$



$$\begin{cases}\omega_x=-\dot\beta+\Omega_{x_0}\cos\alpha-\Omega_{z_0}\sin\alpha\\ \omega_y=\dot\alpha\cos\beta+\Omega_{y_0}\cos\beta-\Omega_{x_0}\sin\alpha\sin\beta-\Omega_{z_0}\cos\alpha\sin\beta\\ \omega_z=\dot\psi+\dot\alpha\sin\beta+\Omega_{y_0}\sin\beta+\Omega_{x_0}\sin\alpha\cos\beta+\Omega_{z_0}\cos\alpha\cos\beta\end{cases}$$

Вид A

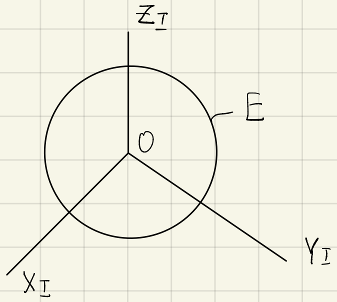


PK1 :
1. Нарисовать повороты
2. Задание на базе N1 найти матрицу $A_{c\to o}$ или $A_{o\to c}$
3. Гироскоп и координаты (*)

Система координат

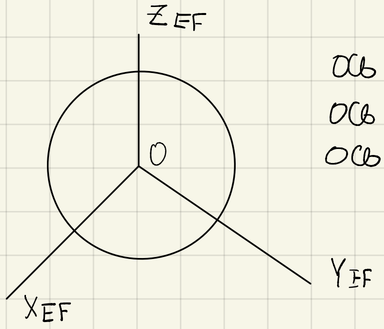
1. Инерциальная система координат
2. Связанная с землёй СК
3. Географическая СК

1)



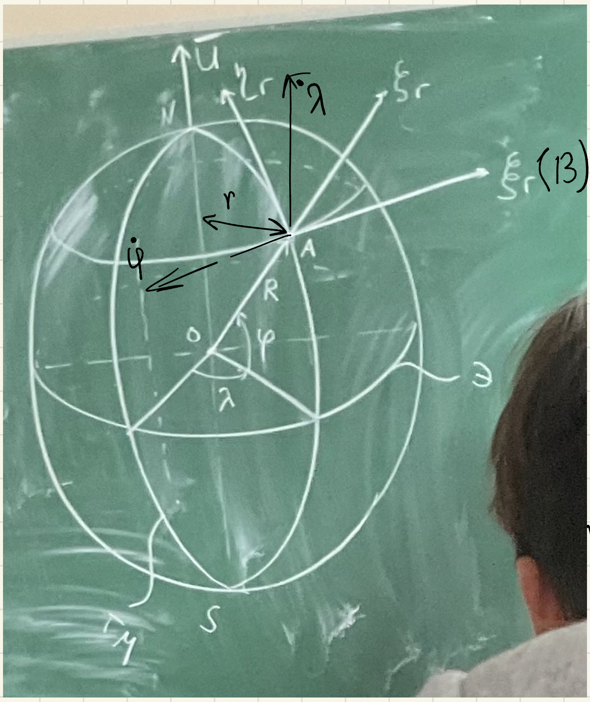
т. O – центр земли
ось Z – направлена на полярную звезду
ось X – напр. на точку весеннего равноденствия
ось Y – допол. систему до правой

2)

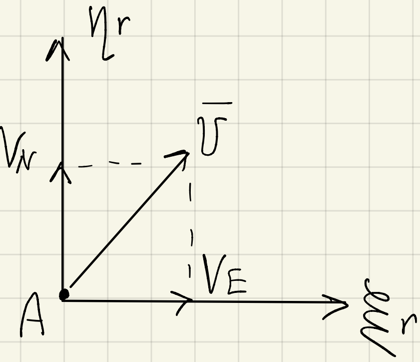


(сонапр с вектором угл. скоростью вращения земли)
ось Z – направлена на полярную звезду
ось X – проходит через гринвичский меридиан (с котор. начинается широта)
ось Y – допол. систему
т. O – центр земли

3)



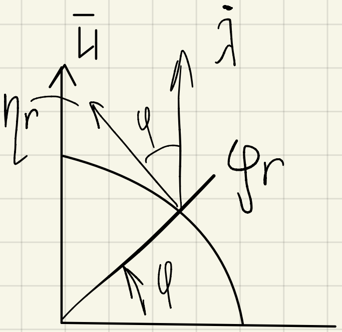
ГМ – гринвичский меридиан
Э – экватор
т. O – центр Земли
R – радиус Земли
φ – угол широты
λ – угол долготы
ζ_r – допольн.
ξ_r – напр. на восток
η_r – напр. на север



$$r = R\cos\varphi$$

$$\dot{\varphi} = \frac{V_N}{R}$$

$$\dot{\lambda} = \frac{V_E}{r} = \frac{V_E}{R\cos\varphi}$$



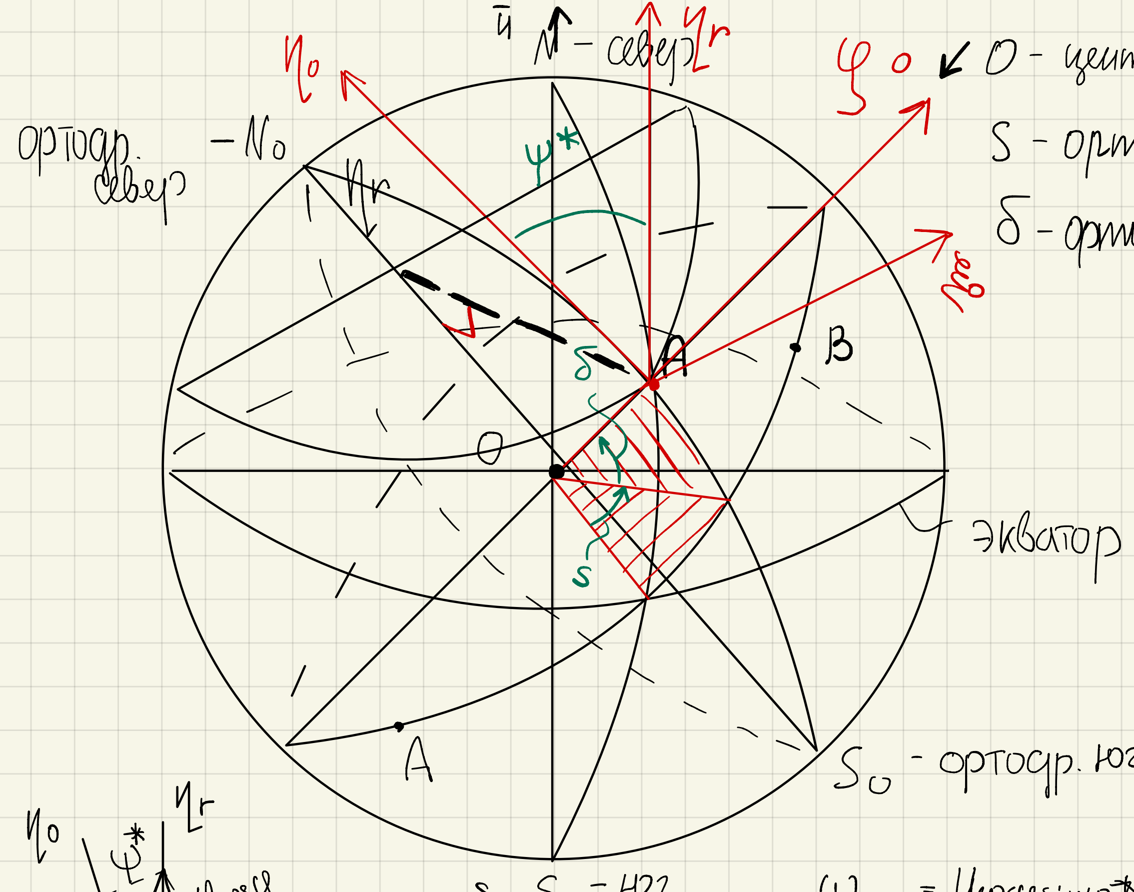
$$\begin{cases} \omega_{\xi r} = -\dfrac{V_N}{R} \\ \omega_{\eta r} = U\cos\varphi + \dfrac{V_E}{R} \\ \omega_{\zeta r} = U\sin\varphi + \dfrac{V_E}{R}\cdot \operatorname{tg}\varphi \end{cases}$$

$$R \to R + h$$

Лекция 7 – РК

Лекция 8

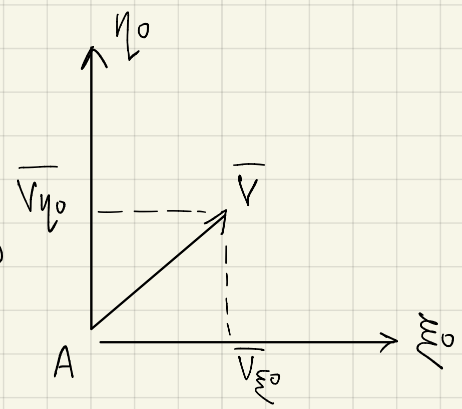
Ортодромическая система координат

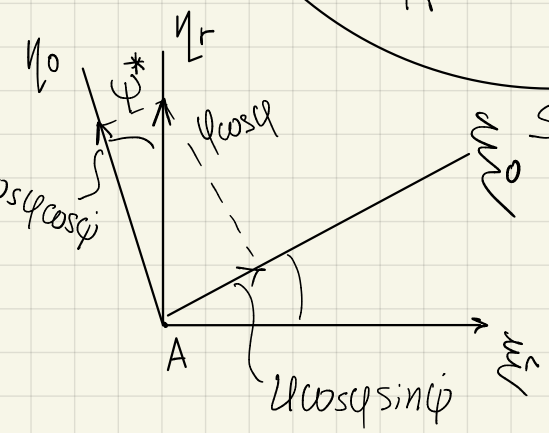


O - центр земли

S - ортодр. долгота

δ - ортодр. широта





$$\omega_{\xi_0} = U\cos\varphi\sin\psi^* - \frac{V_{\eta_0}}{R}$$

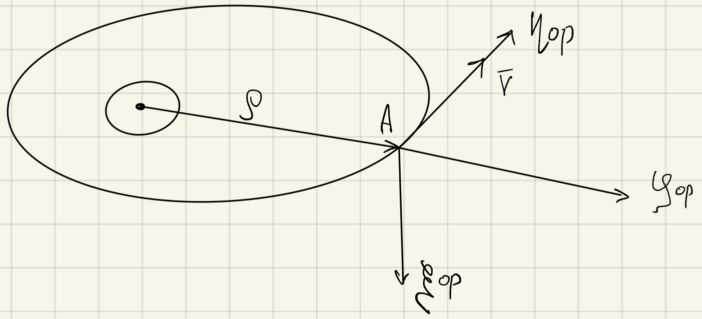
$$\omega_{\eta_0} = U\cos\varphi\cos\psi^* + \frac{V_{\xi_0}}{R}$$

$$\omega_{\zeta_0} = U\sin\varphi + \frac{V_{\xi_0}}{R}tg\delta$$

Ортодромия - дуга большой круга, кратчайшее расстояние между двумя точками

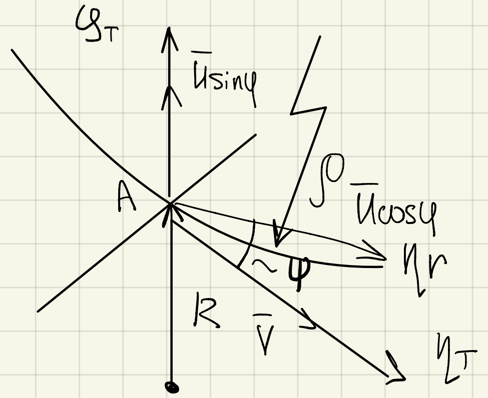
Локсодромия - линия движения под постоянным углом к северу

Орбитальная система координат



$$\begin{cases} \omega_{\xi op} = -\frac{V}{\rho} \\ \omega_{\eta op} = 0 \\ \omega_{\zeta op} = 0 \end{cases}$$

Траекторная система координат



$$\omega_{\xi_T} = -U\cos\varphi\sin\psi - \frac{V}{R}$$

$$\omega_{\eta_T} = U\cos\varphi\cos\psi$$

$$\omega_{\zeta_T} = U\sin\varphi + \frac{V}{\rho}$$

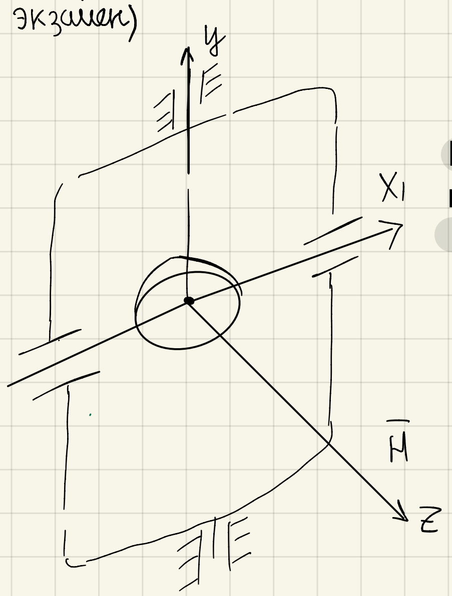
Связанная система координат

РК: 1. системы координат, нарисовать гироскоп

2. найти проекции скоростей

(отсюда начинается экзамен)

Свойства трёхстепенного гироскопа



Гироскоп в кардановом подвесе:

Гироскоп - быстро вращающееся симметричное тело с одной неподвижной точкой

Неподвижная точка находится в центре масс своего ротора

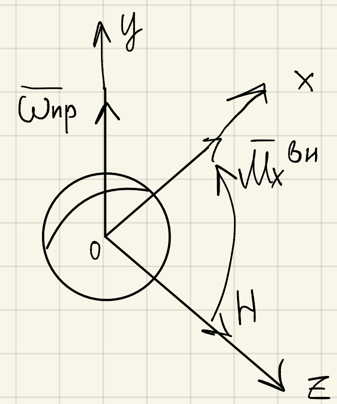
1. (основное) При отсутствии моментов внешних сил, действующих на гироскоп, он сохраняет направление вектора собственного кинетического момента (H) неизменным в инерциальном пространстве.

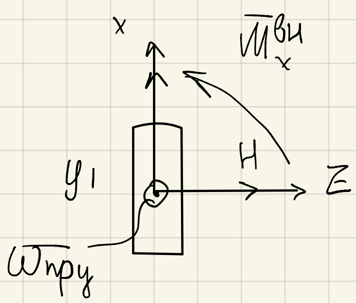
Под действием моментов внешних сил гироскоп прецессирует: то есть движется с постоянной угловой скоростью прямо пропорциональной моменту внешних сил и обратно пропорционально величине собственного кинетического момента.

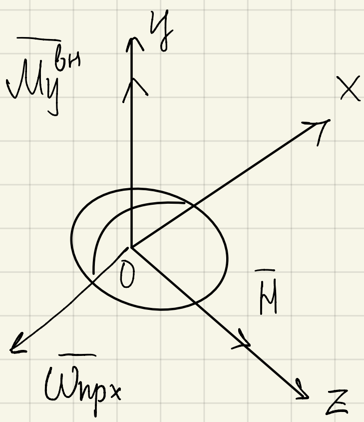
Оно движется таким образом, чтобы совместить вектор H с вектором моментов внешних сил кратчайшим путём.

$$\omega_{пр} = \frac{M_{вн}}{H}$$

Правило направления угловой скорости прецессии: если смотреть с конца вектора угловой скорости прецессии, но движение вектора H будет против часовой стрелки





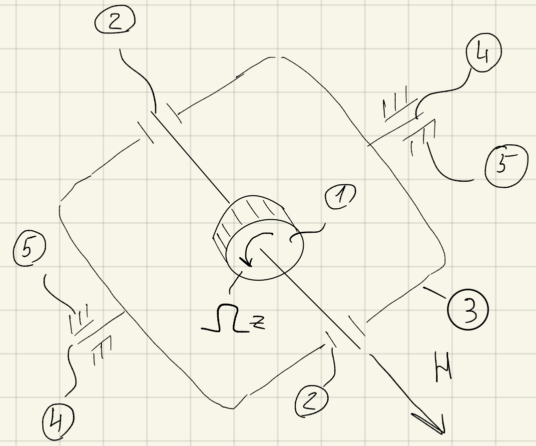


0 - неподвижная точка

Свойство прецессионного движения : безынерционность

Лекция 9

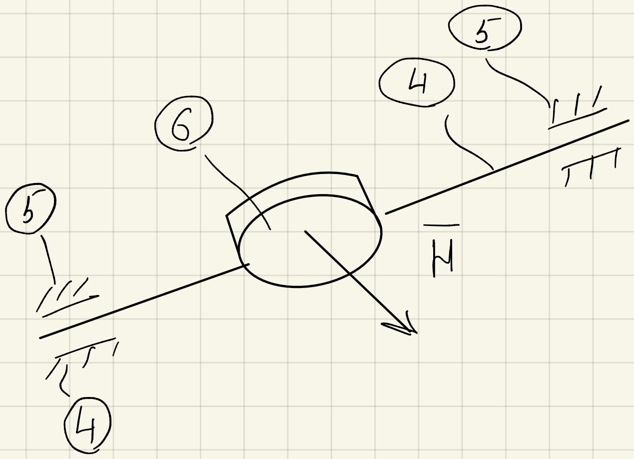
Двухстепенной гироскоп

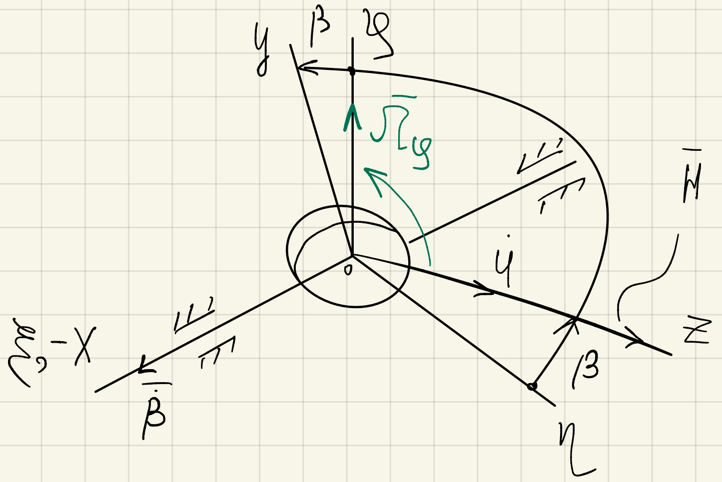


1 - маховик
2 - опоры маховика
3 - внутренняя рамка
4 - опоры внутренней рамки, присоединены к основанию
5 - основание

6 - гиромотор

6 = 1 + 2 + 3 + двиг.





$\vec{H}$ - вектор собственного кинетического момента

Свойства:

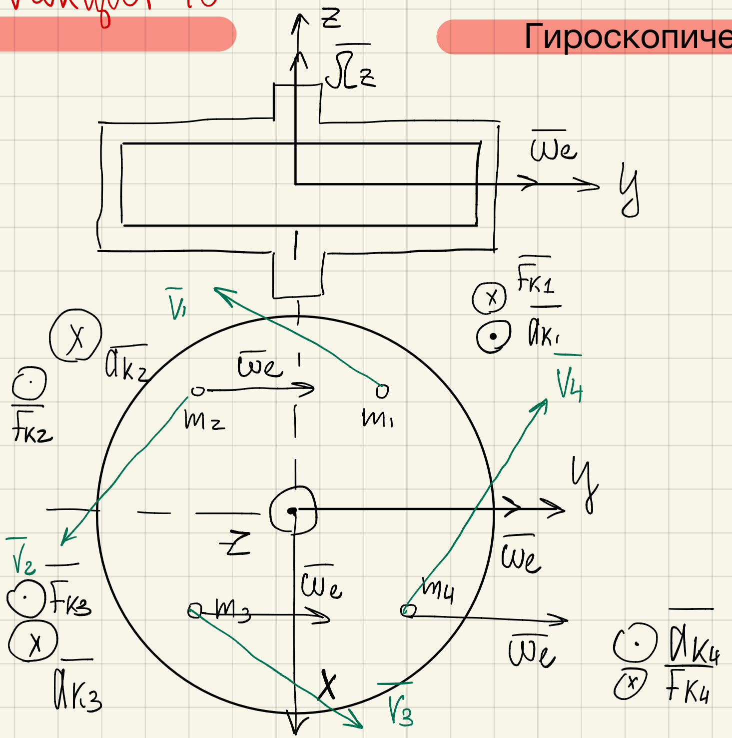
*** Двухстепенной гироскоп не обладает свойствами трехстепенного.

1. При наличии угловой скорости основание, на котором установлен двухстепенной гироскоп , он стремится совместить собственный вектор кинетического момента с вектором угловой скорости основания.

! ускорение кориолиса

Лекция 10

Гироскопический момент



$\bar{a}_K = 2[\bar{\Omega}_c \times \bar{V}_c]$

$\bar{\omega}_e$ - переносная угловая скорость

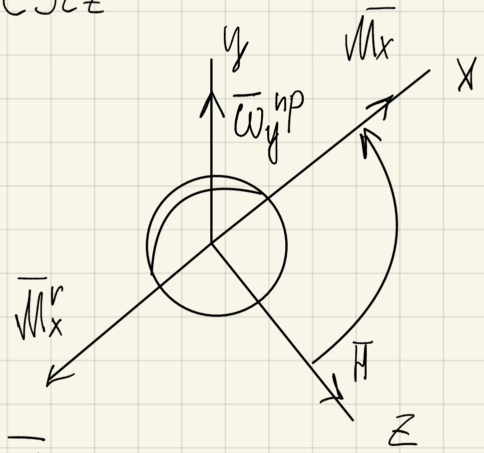
$\bar{V}_{1,2,3,4}$

$m = m_1 = m_2 = m_3 = m_4$

$F_K = -m a_K$

$\boxed{M_\Gamma^* = H\omega_e}$

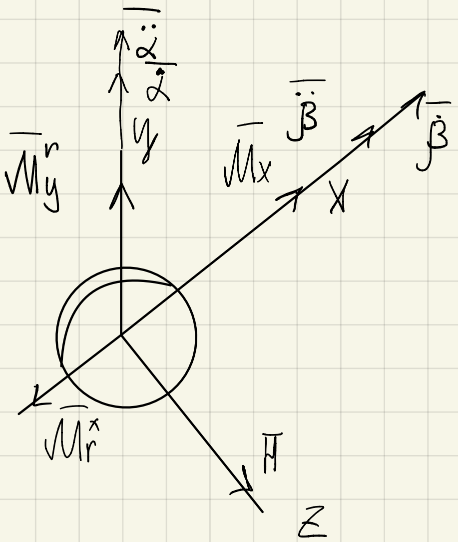
$H = C\Omega_z$



$$\omega_y^{пр} = \frac{M_x^{вн}}{H}$$

$$M_x^г = H \cdot \omega_y^{пр}$$

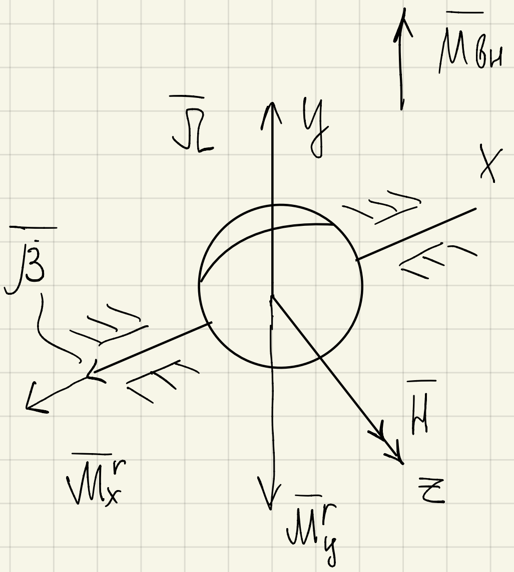
Этот момент описывает нутацион. бросок



Если есть момент по оси X, то возникает угловое ускорение => угловая скорость

$\dot{\alpha}$ - скорость прецессии

Двухстепенной гироскоп

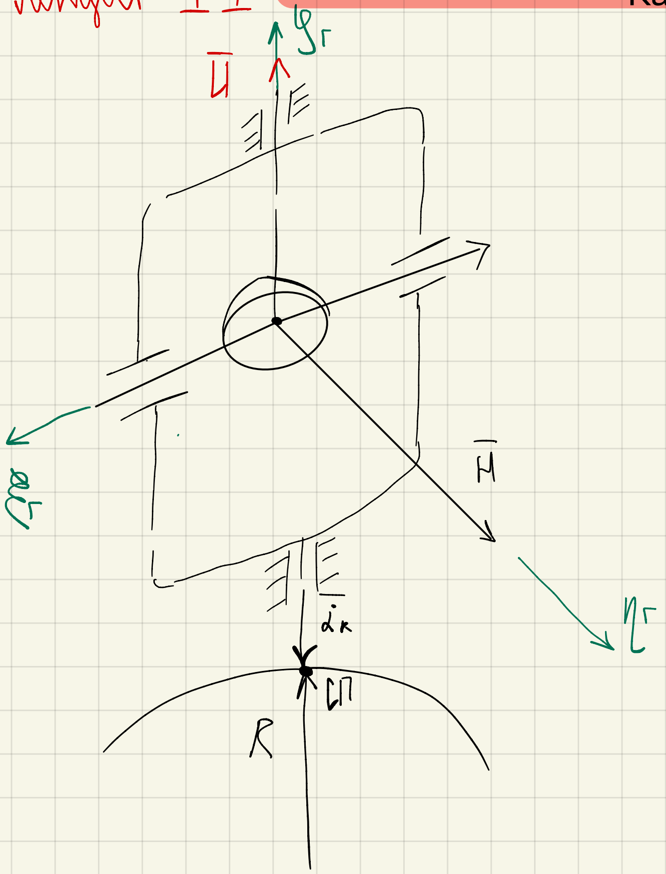


Момент внешних сил приводит к образованию угловой скорости

$\dot{\beta}$ – переносная

Лекция 11

Кажущийся уход



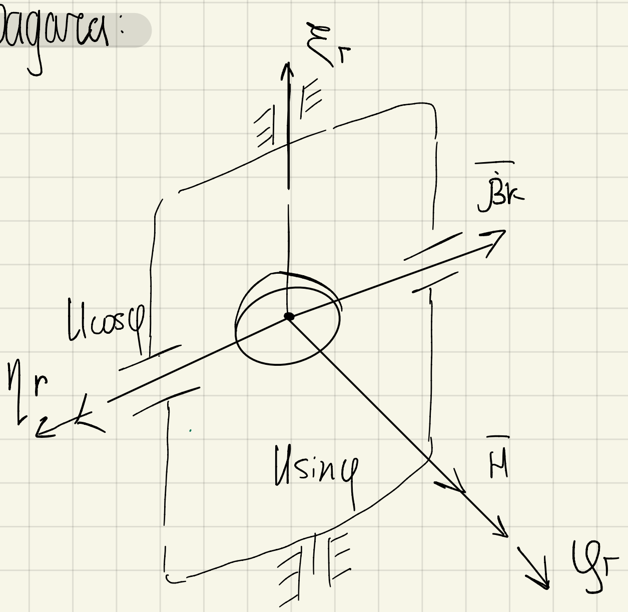
$\bar{U}$ - угловая скорость вращения Земли

$\dot{\alpha}_\kappa = U$ - кажущаяся скорость

в РК: $V_E = 0$
$V_N = 0$

$U = 15\ °/ч$

Задача:



Москва: $55°44'24.00''$ СШ

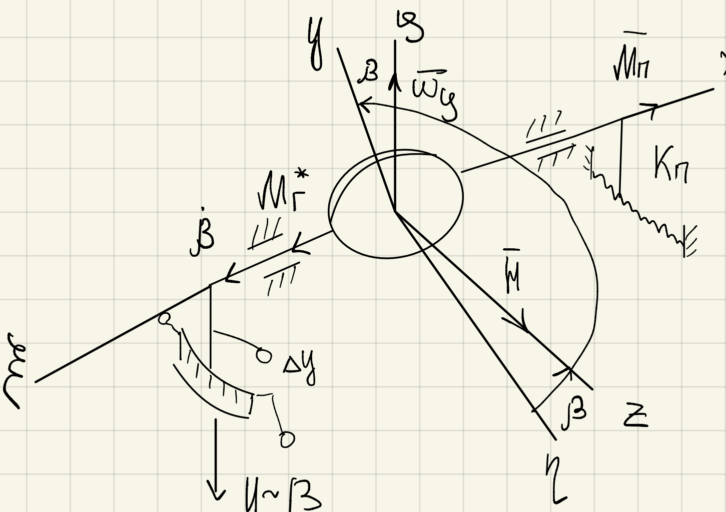
$U\cos\varphi = 15°/ч \cos(55°44'24.00'') = 8{,}44°/ч$

$U\sin\varphi = 15°/ч \sin(55°44'24.00'') = 12{,}4°/ч$

$\dot{\alpha}_\kappa = 0$

$\dot{\beta}_\kappa = 8{,}44°$

Датчик угловой скорости с механической пружиной



Предназначен для измерения угловой скорости (абсолютной) вокруг измерительной оси

Состав:
- Датчик угла
- Пружина (упругий элемент)
- Двухстепенной гироскоп

$M_п = M_г^*$

$M_п = K_п \cdot \beta$

$M_г^* = H \cdot \omega_y \ (*)$

Принцип работы:
При возникновении угловой скорости основания появляется гироскопический момент под его действием кожух поворачивается, появляется «бета», следовательно, деформируется пружина и появляется упругий момент Мп

$K_п \beta = H \omega_y$

$\beta = \frac{H}{K_п} \cdot \omega_y \quad (1)$

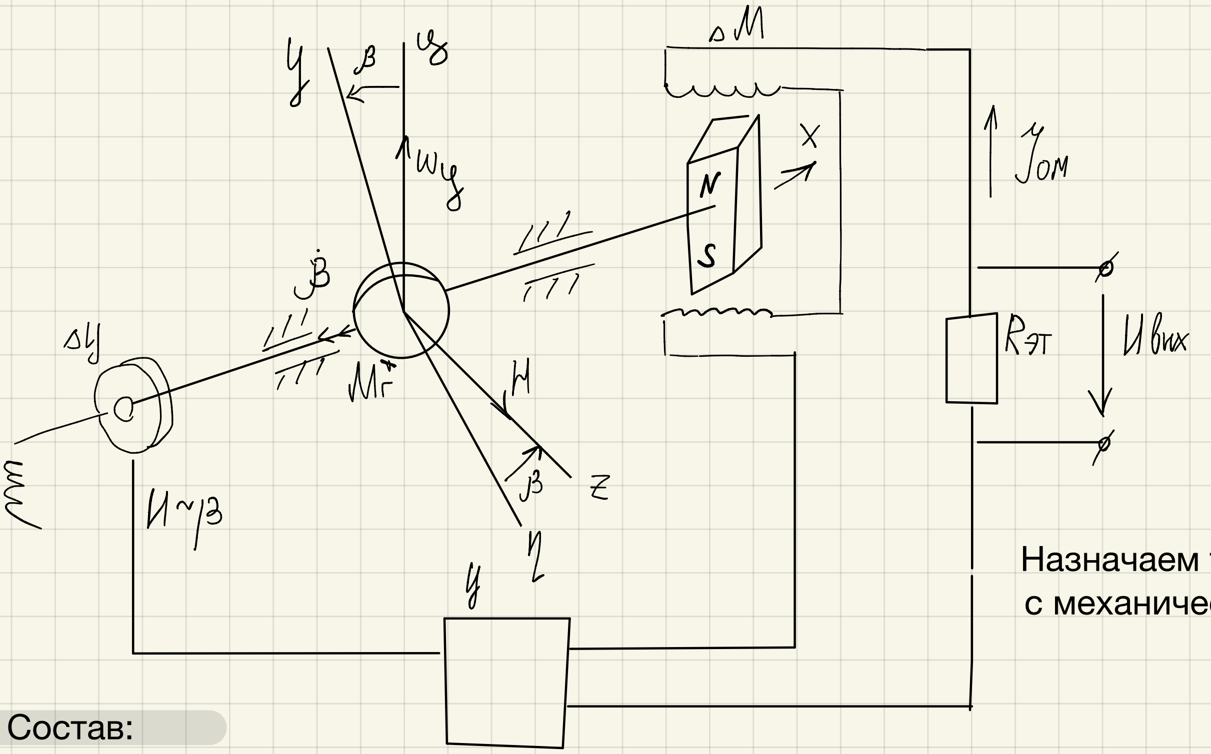
При наличии угловой скорости возникает гироскопический момент : $M_г = H \cdot \omega_y$

По свойству двухстепенного гироскопа H стремится совместится с ω_y

Появляется угол «бэта» и вслед за ним момент пружины Мп, направленный в сторону противоположную гироскопическому моменту. После переходного процесса моменты уравновесятся и по формуле (1) можно найти пропорциональную зависимость между β и ω_y

Изменяя напряжение с датчика угла, мы получаем величины «бэта» и можем рассчитать величину ω_y

Датчик угловой скорости с электрической пружиной



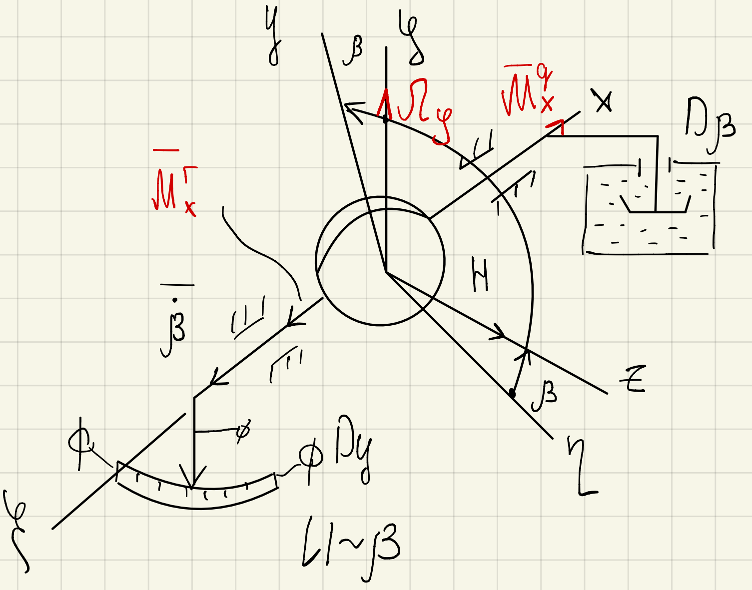
Назначаем то же, что и у ΔУС с механической пружиной

Состав:
- двухстепенной гироскоп
- датчик угла
- датчик момента
- контур обратной связи

Принцип работы:
При наличии угловой скорости основания возникает гироскопический момент Мг, начинает появляться угол, фиксируется Δy и отправляет его по контуру на ΔM.
Течёт Jдм и M развивает момент датчика момента : $M_{ДМ} = K_{рм} \cdot J_{рм}$
Они уравновешиваются и мы находим формулу пропорциональности

$M_г^* = H\omega_y \qquad M_{ДМ} = K_{рм} \cdot J_{дн} \qquad M_г^* = M_{ДМ} \Leftrightarrow H\omega_y = K_{рм} \cdot J_{дн} \qquad J_{дн} = \frac{H}{K_{рм}} \omega_y$

Интегрирующий гироскоп



D_β - коэф. демпфирования

$M_x^д = D_\beta \cdot \dot{\beta}$

Демпфер - устройство для погашения колебаний

$M_x^г \cong H \cdot \Omega_\psi \quad (\beta \to \text{мал})$

$M_x^г = M_x^д$

Состав: 2хстепенной гироскоп, демпфер, датчик угла

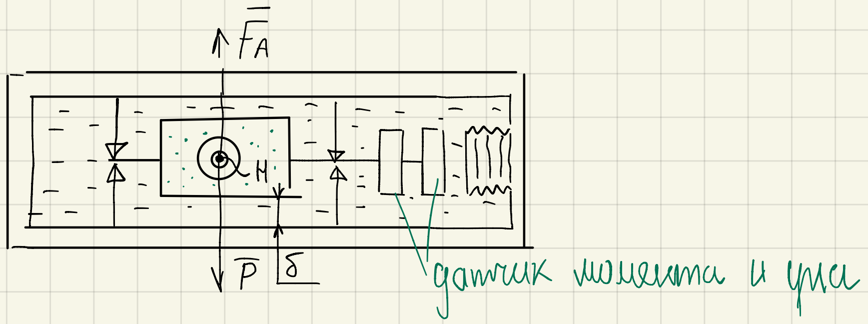
$H \cdot \Omega_\psi = D_\beta \cdot \dot{\beta}$

$\Omega_\psi = \dot{\varphi}$

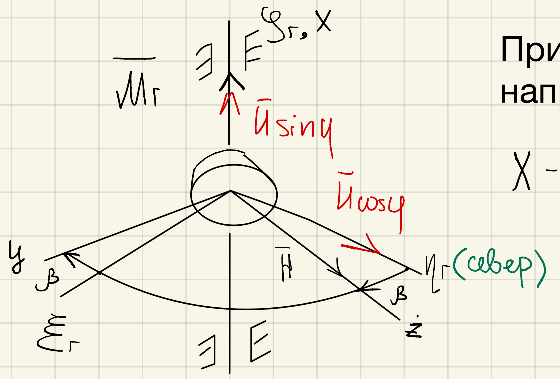
$H\dot{\varphi} = D_\beta \cdot \dot{\beta} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\beta = \frac{H}{D_\beta}\varphi}$

Принцип работы: измеряет угол поворота вокруг измерительной оси

Поплавковый интегрирующий гироскоп - ПИГ



Гироскоп Фуко первого рода (Гирокомпос)

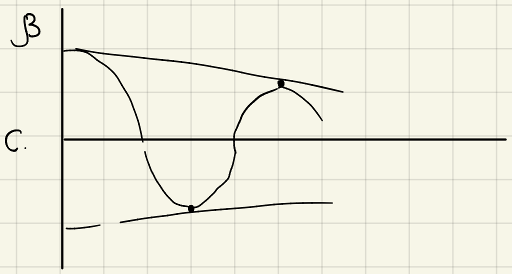


Прибор предназначен для определения определения направления на север

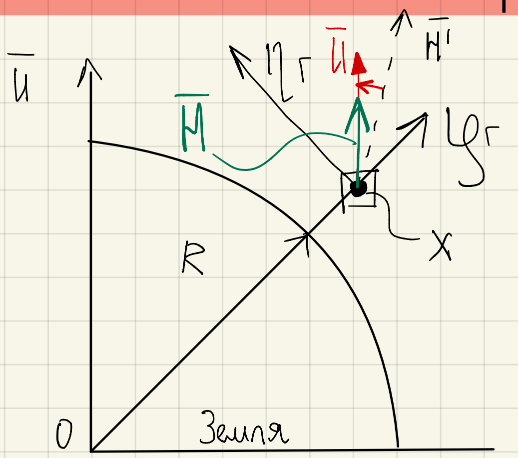
X - направлена по вертикале

$\bar{M}_г = H \cdot U\cos\varphi \sin\beta \approx \beta$

Гироскоп должен преодолеть трение, чем ближе к северу, тем хуже

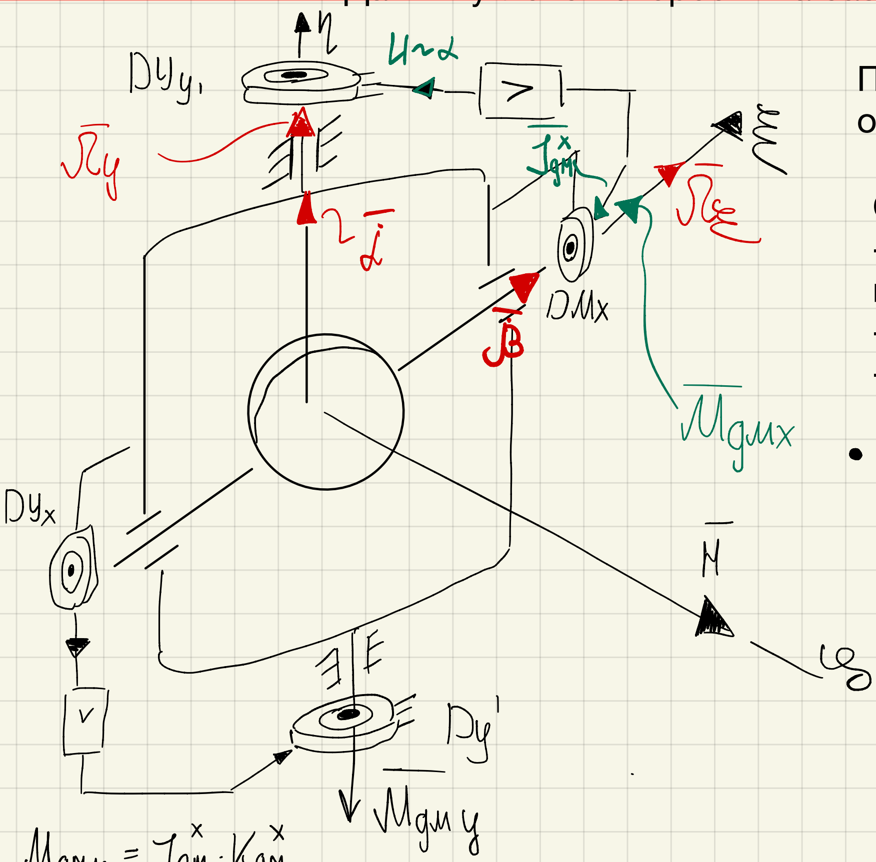


Гироскоп Фуко 2 рода (гирокомпас)



X - перпенд. плоскости меридиана

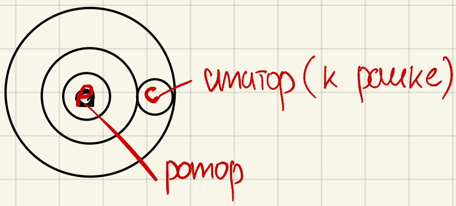
Датчик угловой скорости на базе 3хстепенного гироскопа



Предназначен для измерения по двум осям

Состоит из:
- 3хстепенного гироскопа в кардановом подвесе
- двух каналов обратной связи
- датчик момента и датчик угла

- Ω_y - угловая скорость основания



$$M_{дм x} = J^x_{дм} \cdot K^x_{дм}$$

датчик момента

$$\dot{\alpha} = \frac{M_{дм x}}{H} ; \quad \dot{\alpha} = \frac{K^x_{дм}}{H} J^x_{дм}$$

Когда переходные процессы закончатся, получим:

$$\boxed{\Omega_y = \dot{\alpha} = \frac{K^x_{дм}}{H} J^x_{дм}}$$

Аналогично работает второй канал: $M_{дм y} = J^x_{дм} K^x_{дм}$

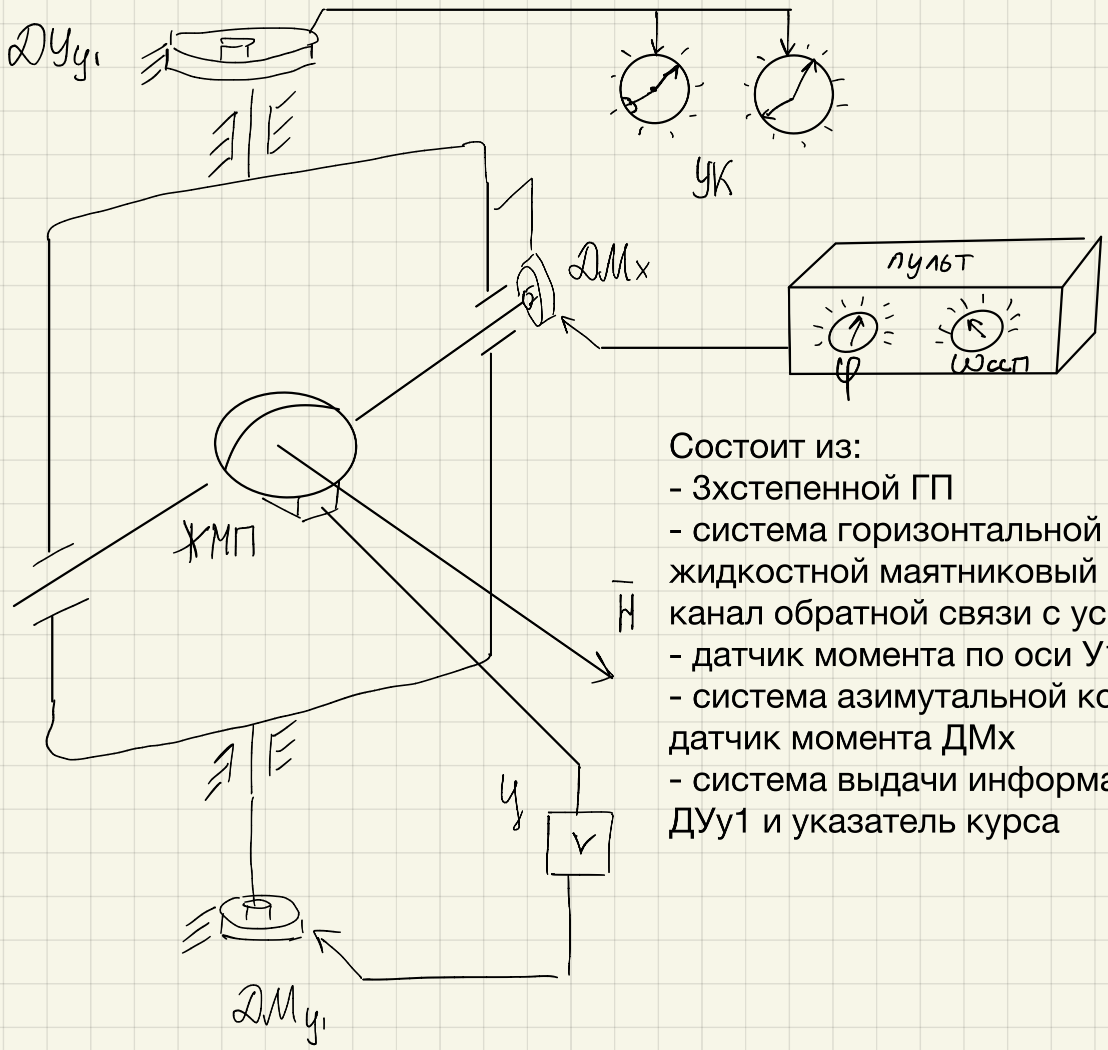
$$\dot{\beta} = \frac{M_{дм y}}{H}$$

$$\boxed{\Omega_{\xi} = \dot{\beta} = \frac{J_{дм}^{x} K_{дм}^{x}}{H}}$$

При наличии угловой скорости основания Ω_y , основание поворачивается, а 3степенной гироскоп сохраняет направление $\vec{H}$ неизменным в инерциальном пространстве
С ДУу появляется напряжение U , пропорциональное углу поворота гироскопа.
Напряжение через усилитель поступает на ДМх , который развивает момент Мдмх, направленный в сторону такую, чтобы возникло угловая скорость прецессии $\dot{\alpha}$, направленная в ту же сторону, что и Ω_η
После окончания переходного процесса $\dot{\alpha}$ становится равной Ω_η
Измеряя так ДМх, мы определяем скорость прецессии $\dot{\alpha}$, а соответственно и Ω_η

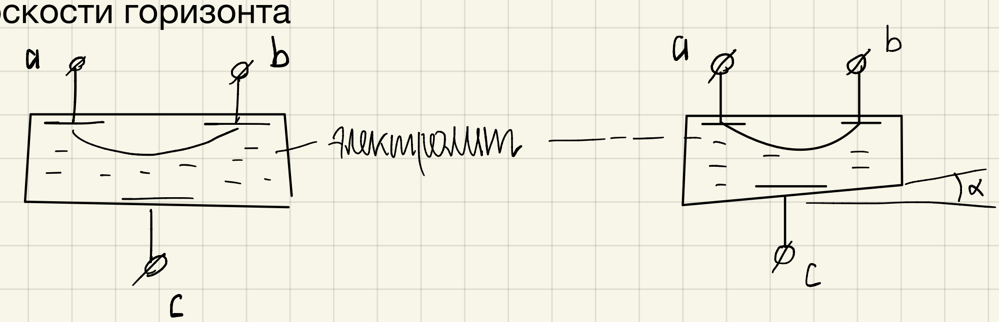
Лекция (14.12)

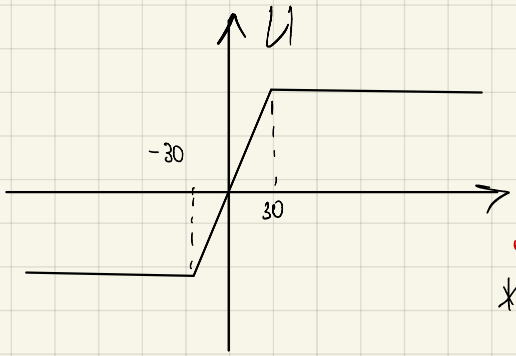
Гирополукомпас

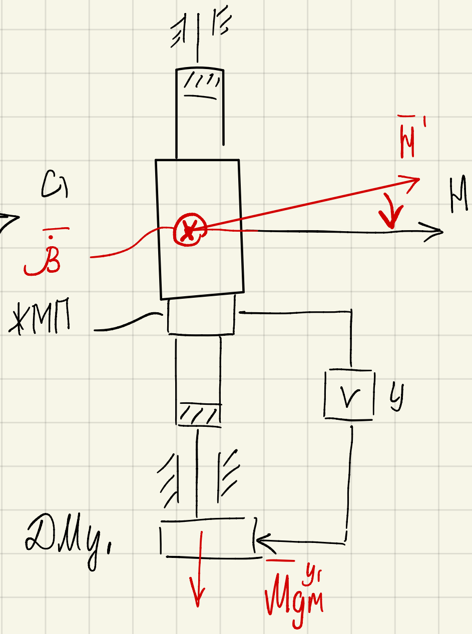


Состоит из:
- 3хстепенной ГП
- система горизонтальной коррекции: жидкостной маятниковый переключатель; канал обратной связи с усилителем
- датчик момента по оси У1
- система азимутальной коррекции : пульт и датчик момента ДМх
- система выдачи информации о курсе: ДУу1 и указатель курса

Гирополукомпас нужен для поддержания (вектора собственного кинетического момент) H в плоскости горизонта







При повороте H датчик момента создаст момент Мдм, который приложен к рамке

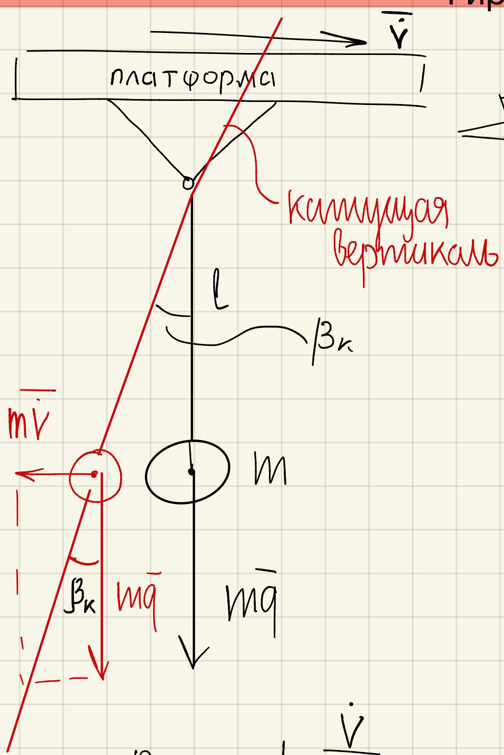
$$\dot{\beta} = \frac{M_{дм}^{у_1}}{H}$$

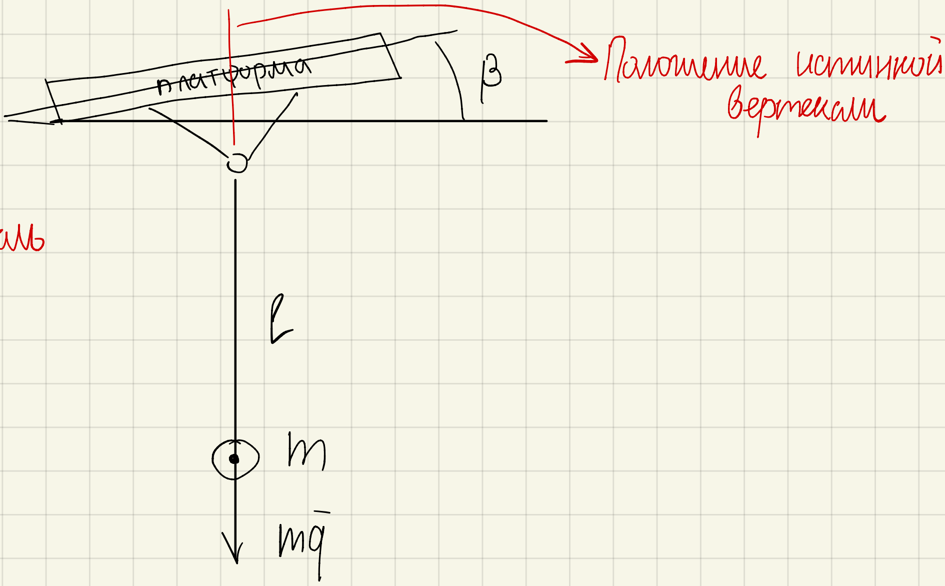
$\omega_{ссп}$ - собственная скорость прецессии, чем $\omega_{ссп} <$, тем лучше для $\bar{H}$

Вектор H по азимуту уходит из-за кажущего ухода и Wссп

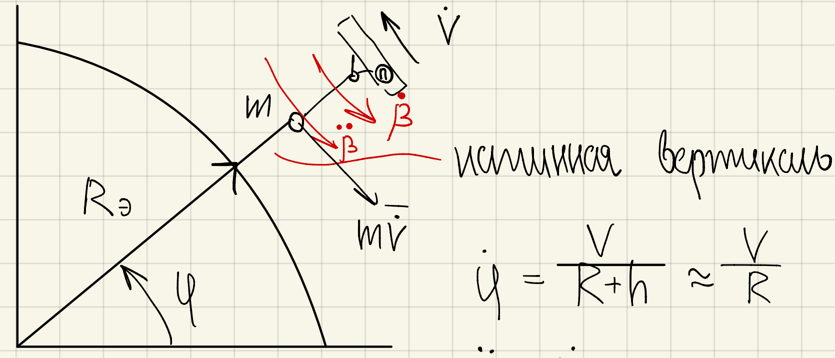
Лекция (21.12)

Гироскопические вертикали





$$\beta_к = \operatorname{arctg} \frac{\dot{V}}{g}$$

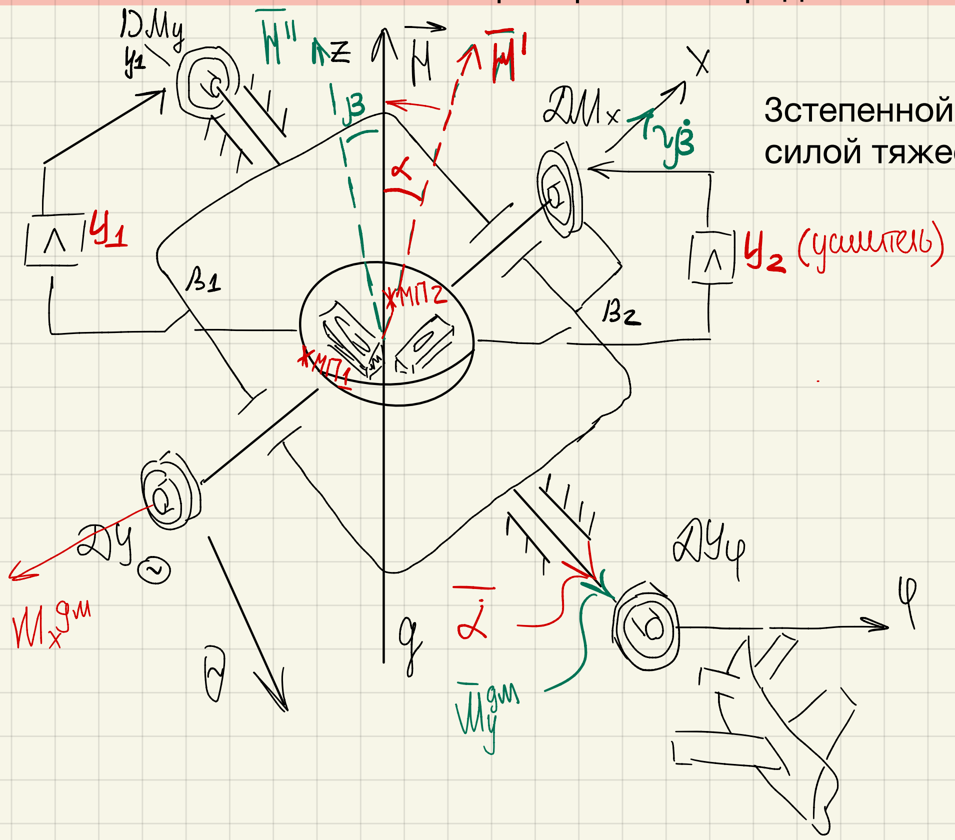


$$\dot\varphi = \frac{V}{R+h} \approx \frac{V}{R} \qquad \ddot\beta = \frac{\dot V}{l}$$

$$\ddot\varphi = \frac{\dot V}{R}$$

$$\left.\begin{aligned} \ddot\varphi &= \ddot\beta \\ R &= l \end{aligned}\right\}$$ условие отсутств. отклонения

Гировертикаль с радиальной коррекцией



3степенной ГП стоит так, чтобы Н совпадал с силой тяжести

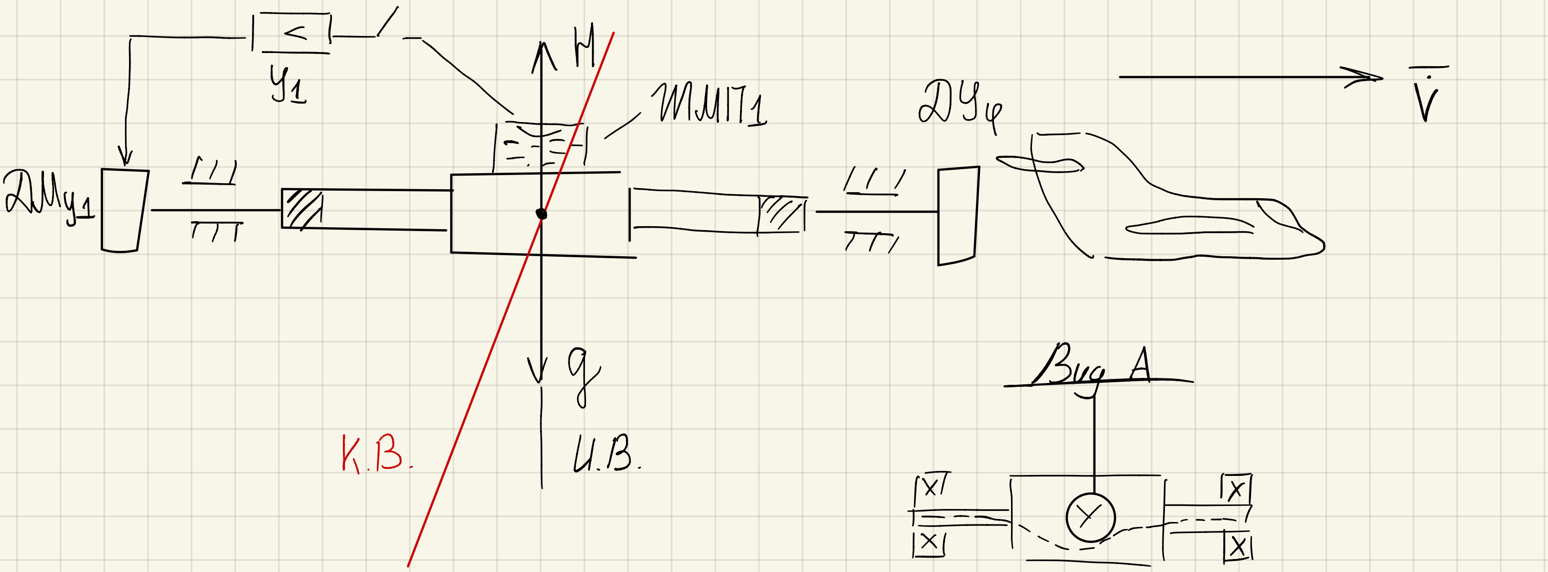
Состоит из:
3хстепенного ГП с горизонтально расположенной наружной рамкой и вектором Н, направленным по $y_г$
двух каналов радиальной коррекции, состоящей из ЖМП1 и ЖМП2, усилителей У1 и У2, датчиков Дму и Дмх , для выдачи информации тангажа и угла крена ($ДУ_θ$ и $ДУ_φ$)

В случае появлении крена у самолета, ГП сохраняет направление вектора Н неизменным в инерциальным пространстве и увлекает за собой $ДМ_{у1}$ и $ДУ_φ$
В итоге с датчика угла $ДУ_φ$ поступает информация об угле крена

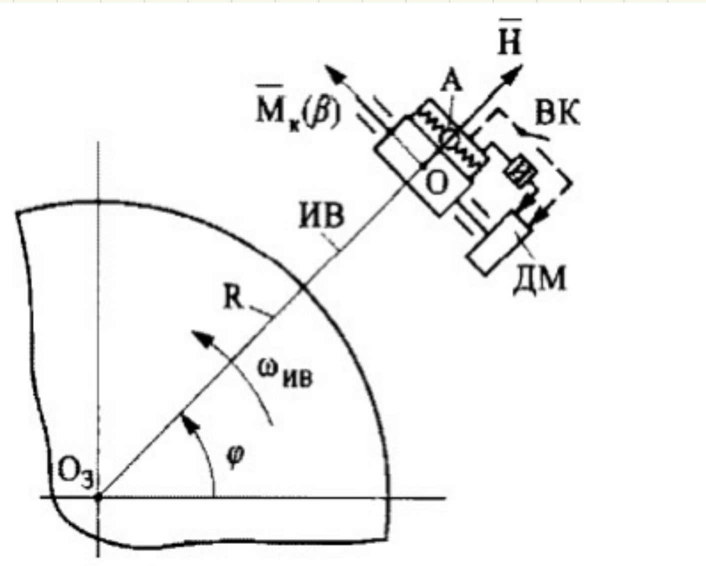
В случае появления угла тангажа у самолета, ГП увлекает за собой наружную раму 3хстепенного ГП вместе со статорами ДМх и $ДУ_θ$
В итоге с датчика угла $Ду_θ$ поступает сигнал об угле тангажа

Два канала радиальной коррекции позволяют удерживать вектор Н так, что он совпадал с осью $y_г$

В случае отклонения вектора H от истинной вертикали , например на угол α
ЖМП2 будет реагировать на это отклонение и вызывать сигнал через усилитель У2 на датчик момента Дмх
Дмх будет создавать момент такой, чтобы ГП прецессировал в сторону уменьшения угла α
ГП будет прецессировать до тех пор, пока угол не станет равен 0 и тогда сигнал исчезнет



Гировертикаль с интегральной коррекцией



На рисунке коррекция β при полете ЛА по меридиану

А - акселерометр

$\omega_{ИВ} = \frac{V}{R}$ - скорость ИВ

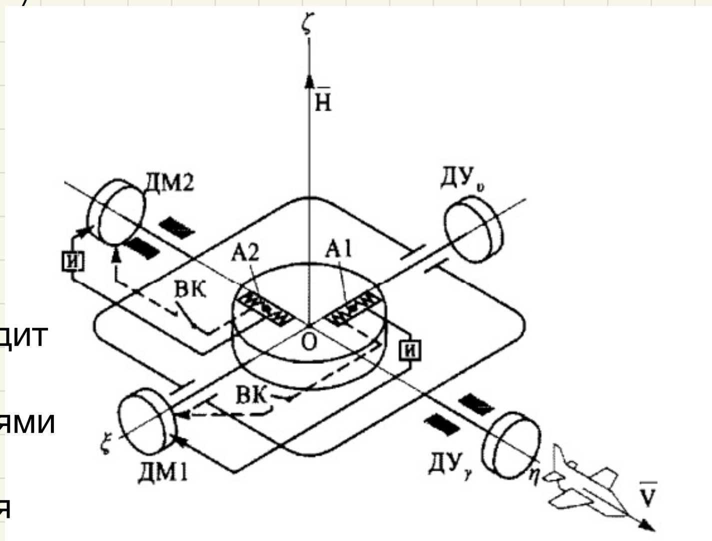
Если в начальный момент H расположен по ИВ , то ГП необходимо корректировать с угловой скоростью коррекции

$$\omega_к = \frac{M_к(\beta)}{H} = \omega_{ИВ}$$

$\varepsilon = E/H$, $\varepsilon_и = E_и/H$ - удельные скорости позиционной и интегральной коррекции соответственно.

$M_к(\beta) = E_и \int \beta_к(t)dt$, $E_и$ - удельный момент интегральной коррекции

Сигнал с акселерометра(пропорционален$\int \beta_к(t)dt$)
подается на ДМ через интегратор И
Для демпфирования колебаний ГВ используют в позиционная коррекция, однако в этом случае появляется погрешности ГВ, пропорциональный второй производной от скорости ЛА, поэтому предусмотрен выключать ВК коррекция на некоторых режимах полёта.



Формирование коррекционных моментов происходит из-за угла между КВ и H

Движение ГВ с ИК представляют собой колебаниями собственной частотой $\omega_0 = \sqrt{\varepsilon_и}$

Позиционнная коррекция деформирует колебания