

ФИЗИЧЕСКОЕ ГИРОКОМПАСИРОВАНИЕ ПО ДАТЧИКУ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Вступление

Инерциальные навигационные системы (ИНС) являются основой навигационных комплексов современных подвижных объектов. Для нормального функционирования ИНС необходимо как можно точнее выполнить начальную выставку ИНС, которая включает физическую или аналитическую выставку чувствительных элементов в азимуте, т.е. гироскопирование. Чувствительными элементами ИНС зачастую являются датчики угловой скорости (ДУС).

Выходной сигнал ДУСа можно использовать как для начальной выставки ИНС [3, 4], так и в отдельном курсоуказывающем устройстве [6, 7].

В статье рассматривается физическое гироскопирование по выходному сигналу датчика угловой скорости, его отличие и преимущества в сравнении с гироскопированием по сигналу акселерометра [1].

Постановка задачи

Рассмотрим принцип использования выходного сигнала датчика угловой скорости для осуществления физического гироскопирования гиролатформы.

Начальная выставка производится на неподвижном основании, после горизонтирования платформы. Предполагая, что гироскопы достаточно точно определяют скорость вращения Земли, ориентирование платформы производится до тех пор, пока сигнал ДУС о восточной составляющей угловой скорости вращения Земли не станет равным нулю [2, 5]. На рис. 1 η_0, ξ_0 –

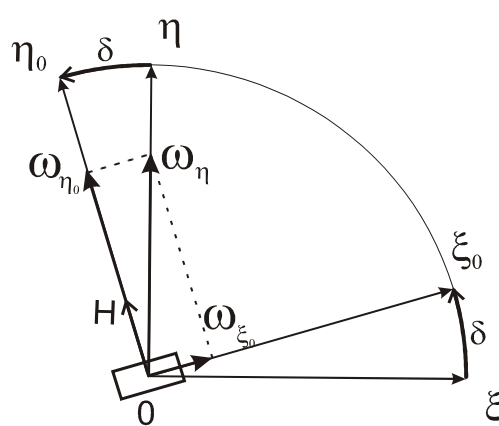


Рис. 1. К принципу гироскопирования

оси, связанные с платформой, η, ξ - оси географической системы координат в плоскости горизонта, ω_η - горизонтальная составляющая угловой скорости Земли, ω_{ξ_0} , ω_{η_0} - проекции ω_η на оси платформы, δ - отклонение платформы от направления на север. При $\delta = 0$ проекция ω_{ξ_0} обращается в ноль. Платформа поворачивается (гирокомпасируется) до тех пор, пока это не произойдет.

Схема и математическая модель гирокомпасирования

На рис. 2 показана схема гирокомпасирования по выходному сигналу ДУС. Здесь А – акселерометр, ДУ – датчик угла первого гироскопа, ДМ1 – датчик момента первого гироскопа, ДМ2 – датчик момента второго гироскопа, k_3 – коэффициент передачи азимутального канала, k_{2d} – коэффициент передачи горизонтального канала.

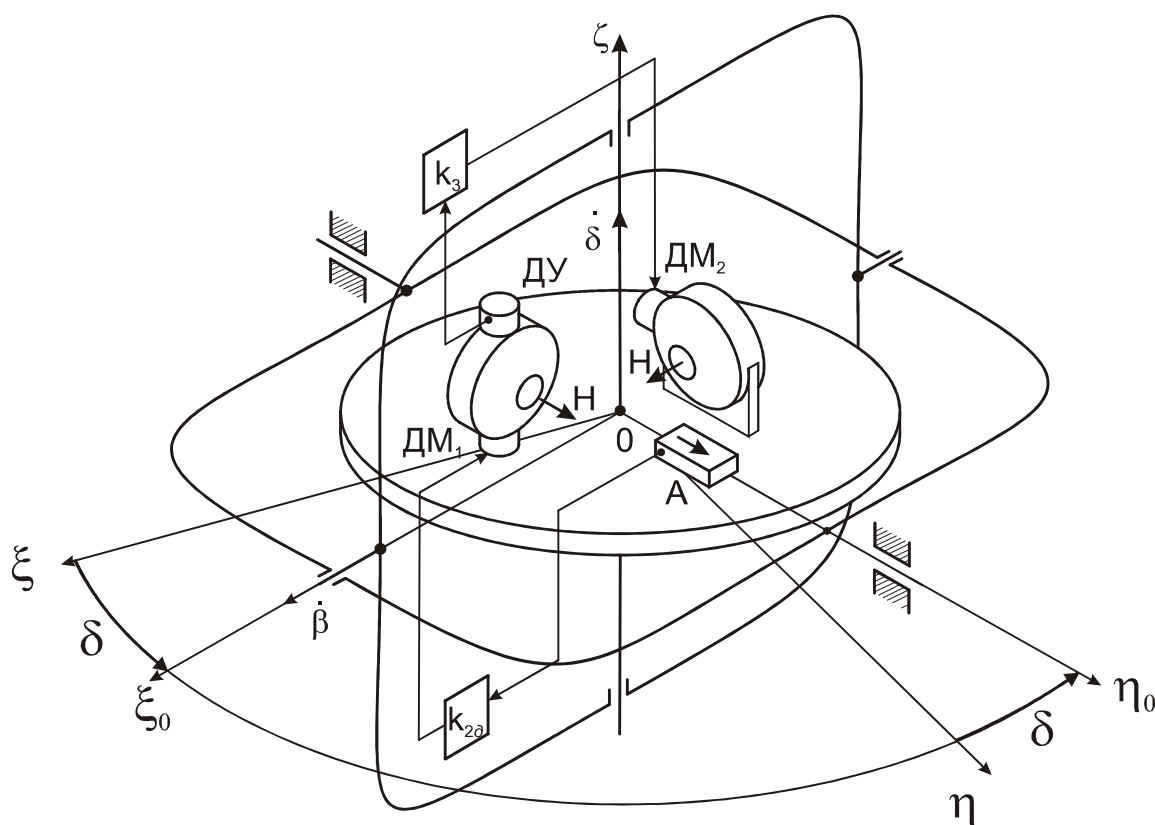


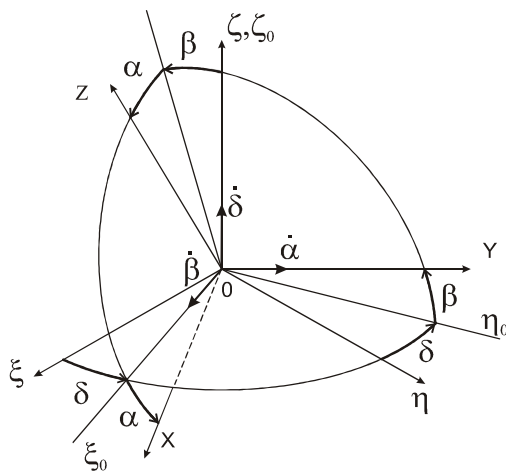
Рис. 2. Схема физического гирокомпасирования по ДУС

Составим уравнения движения платформы в режиме гирокомпасирования. Для описания процесса используется кинематика

поворотов рис. 3, где $\xi \eta \zeta$ – географическая сопровождающая система координат, ось ξ – направлена на восток, ось η – на север, ось ζ – по вертикали, XYZ – система координат, связанная с платформой, Y – направлена по продольной оси платформы. α и β – углы отклонения платформы от горизонта.

Запишем уравнения в проекциях на оси платформы для малых углов:

$$\begin{aligned}\dot{\beta} - \delta \dot{\alpha} &= \omega_x^k + \omega_{dx} - \omega_\xi - \omega_\eta \delta + \omega_\zeta \alpha, \\ \dot{\alpha} + \delta \dot{\beta} &= \omega_y^k + \omega_{dy} + \omega_\xi \delta - \omega_\eta - \omega_\zeta \beta, \\ \dot{\delta} + \beta \dot{\alpha} &= \omega_z^k + \omega_{dz} - \omega_\xi \alpha + \omega_\eta \beta - \omega_\zeta.\end{aligned}\quad (1)$$



где
 $\omega_x^k = \pm k_{2d}(\beta + \varepsilon)$, $\omega_z^k = \pm k_3(\omega_{dx} - \omega_{\eta 0} \delta)$ – скорости коррекции,
 $\varepsilon = \delta a / g$ – ошибка акселерометра,
 $\omega_{dx}, \omega_{dy}, \omega_{dz}$ – угловые скорости дрейфа гироскопов.

На неподвижном основании $\omega_\xi = 0$, угол δ обычно значительно больше углов α, β . Тогда уравнения (1) запишем в виде:

Рис. 3. Кинематика поворотов

$$\begin{aligned}\dot{\beta} &= \pm k_{2d}(\beta + \varepsilon) + \omega_{dx} - \omega_\eta \delta, \\ \dot{\alpha} &= \omega_y^k + \omega_{dy} - \omega_\eta, \\ \dot{\delta} &= \pm k_3(\omega_{dx} - \omega_\eta \delta) + \omega_{dz} - \omega_\zeta.\end{aligned}\quad (2)$$

Второе уравнение системы (2) не зависит от $\dot{\beta}$ и $\dot{\delta}$, т.е. выполняется горизонтирование по α , систему образуют уравнения:

$$\begin{aligned}\dot{\beta} &= -k_{2d}(\beta + \varepsilon) + \omega_{dx} - \omega_\eta \delta, \\ \dot{\delta} &= k_3(\omega_{dx} - \omega_\eta \delta) + \omega_{dz} - \omega_\zeta.\end{aligned}\quad (3)$$

Запишем решение:

$$\beta^d = \frac{-\omega_\eta(\delta_0 - \delta_{ycm}^d)}{-k_3\omega_\eta + k_{2d}} e^{-k_3\omega_\eta t} - \frac{\omega_\eta(\delta_0 - \delta_{ycm}^d) + (\beta_0 - \beta_{ycm}^d)(-k_3\omega_\eta + k_{2d})}{\omega_\eta(-k_3\omega_\eta + k_{2d})} e^{-k_{2d}t} + \beta_{ycm}^d,$$

$$\delta^d = (\delta_0 - \delta_{ycm}^d) e^{-k_3\omega_\eta t} + \delta_{ycm}^d, \quad (4)$$

где установившиеся значения:

$$\beta_{ycm}^d = \frac{-k_3\omega_\eta(k_{2d} - \omega_{dx}) + \omega_\eta(\omega_\zeta - \omega_{dz})}{k_{2d}k_3\omega_\eta},$$

$$\delta_{ycm}^d = \frac{1}{\omega_\eta} \left(\frac{\omega_{dz} - \omega_\zeta}{k_3} \right) + \frac{\omega_{dx}}{\omega_\eta}. \quad (5)$$

Для сравнения, установившиеся значения при гироскопировании по сигналу акселерометра имеют вид [1]:

$$\beta_{ycm}^d = \frac{-(\omega_{dz} - \omega_\zeta)}{k_1},$$

$$\delta_{ycm}^d = \frac{k_{2a}}{k_1\omega_\eta} (\omega_{dz} - \omega_\zeta) + \frac{\omega_{dx}}{\omega_\eta}. \quad (6)$$

Сравнение показывает, что при компасировании по ДУС на точность влияет только коэффициент передачи азимутального канала k_3 в отличие от гироскопирования по акселерометру, когда на точность влияют 2 коэффициента передачи k_1 и k_{2a} . Как известно [1], уменьшение k_{2a} ведет к увеличению времени выставки, увеличение k_{2a} порождает увеличение установившейся ошибки, т.е. существует противоречие между точностью и длительностью выставки. В схеме гироскопирования по ДУС такого противоречия нет.

Моделирование процесса гироскопирования

Моделирование процесса происходит при условии малости начальных углов отклонения: δ не более 15° , α и β , обусловленные ошибками горизонтирования, доли градуса, скорость коррекции не превышает 0,1 рад/с. На рис. 4, рис. 5 приведены результаты численного моделирования процесса гироскопирования при заданных параметрах чувствительных элементов.

Достижимая точность гироскомпасирования $\delta_{уст}=3'$. Из рис. 4. видно, что процесс гироскомпасирования может быть выполнен за 20 с. В схеме с акселерометром при увеличении k_{2a} с целью сокращения времени возрастает установившаяся ошибка.

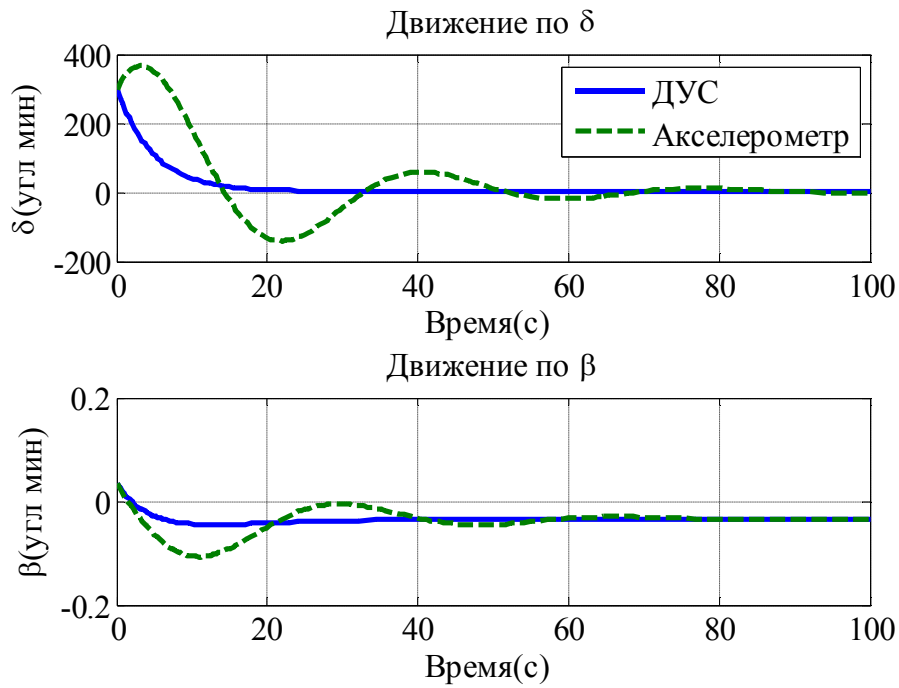


Рис. 4. Изменение углов:

$\varepsilon=1e-5$ (рад), $\omega_{dx}=4.8e-8$ (1/с), $\omega_{dz}=4.8e-8$ (1/с), $\omega_{dy}=4.8e-8$ (1/с),

и коэффициентов передачи по акселерометру:

азимутальный канал – $k_1=600$ (1/с),

канал демпфирования – $k_{2a}=0.1$ (1/с);

по ДУС: азимутальный канал – $k_3=4000$ (1/с),

канал демпфирования – $k_{2d}=0.1$ (1/с).

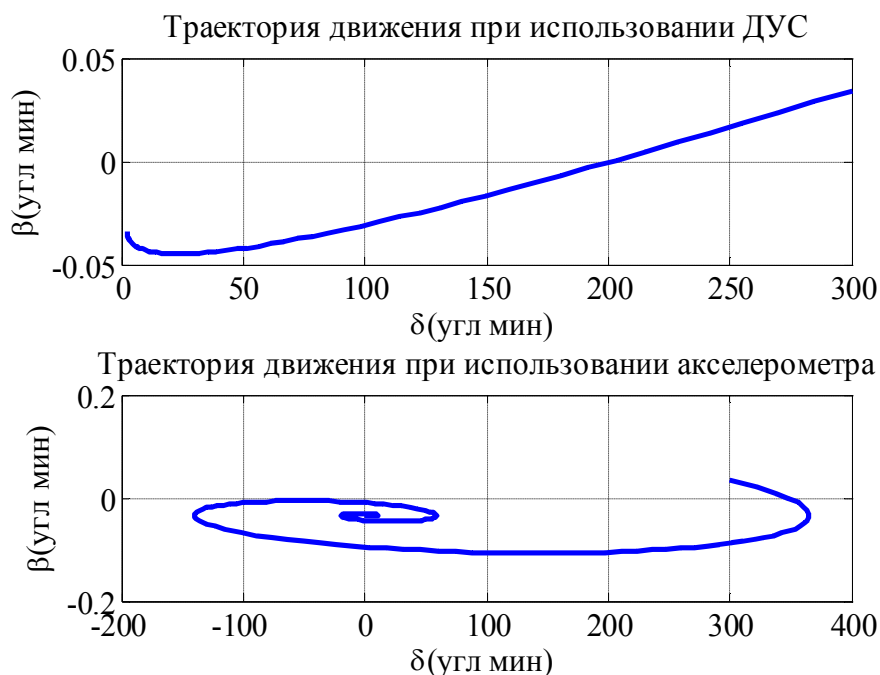


Рис. 5. Фазовая траектория

Выводы

1. Анализ решений показывает, что точность гироскомпасирования при использовании сигнала ДУС $\delta^d_{уст}$ зависит от соотношения угловых скоростей дрейфа ω_{dx} , ω_{dz} и коэффициента передачи k_3 . Чем больше k_3 , тем быстрее и точнее проводится выставка. Для сравнения, точность гироскомпасирования при использовании сигнала акселерометра $\delta^a_{уст}$ зависит от соотношения угловых скоростей дрейфа ω_{dx} , ω_{dz} и коэффициентов передачи k_1 и k_{2a} , при росте k_{2a} уменьшается время, но увеличивается $\delta^a_{уст}$.
2. При использовании сигнала ДУС возможно уменьшить время гироскомпасирования без потерь точности.
3. Гироскомпасирование по ДУС менее зависимо от точности горизонтирования платформы.

Список использованной литературы

1. Мелешко В.В. Инерциальные навигационные системы. Начальная выставка. – К.: «Корнийчук», 1999. – 123с.
2. Назаров Б.И., Хлебников Г.А. Гиростабилизаторы ракет, 1975. – 215с.

3. Патент 2110767 РФ МПК G01C19/34 «Способ аналитического гироскопирования с помощью гироскопического датчика угловой скорости» Редькин С.П. дата публикации: 10.05.1998
4. Патент 2188392 РФ МПК G01C21/12 «Способ определения истинного курса наклонного объекта с применением гироскопического датчика угловой скорости» Редькин С.П. дата публикации: 27.08.2002
5. *Titterton D., Weston J., Strapdown Inertial Navigation Tehnology – 2nd Edition*, Institution of Elecrical Engineers, UK, 2004. – 558p.
6. United States Patent № 4,512,086 Int. Cl. G01C19/34 «Heading Indicator» Inventors: George Galuchak, Hasbrouck Hts.; Richard J.Stomber, Wayne, both of N.J date of patent Apr.23,1985
7. United States Patent № 4,173,216 «NORTH-SEEKING GYRO» date of patent Mar. 16,1965 James V.Johnston, Giles Drive, Huntsville, Ala.