Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

Кафедра приборов и систем ориентации и навигации

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине

«Навигационные приборы и системы»

Лабораторная работа

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ГИРОКОМПАСИРОВАНИЕ

Составитель Мелешко В.В.

Киев 2010

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ГИРОКОМПАСИРОВАНИЕ

1. **Цель работы** – изучение режима начальной выставки, его свойств и характеристик.
2. **Основные теоретические сведения**

При аналитическом гирокомпасировании платформа ориентируется и удерживается по продольной оси самолёта по сигналу датчика угла (синусно-косинусного трансформатора), установленного на азимутальной оси платформы . Сигналы акселерометров с горизонтальным расположением осей чувствительности, обеспечивающие горизонтальное положение платформы, используются для вычисления азимутального положения платформы (аналитического гирокомпасирования) .

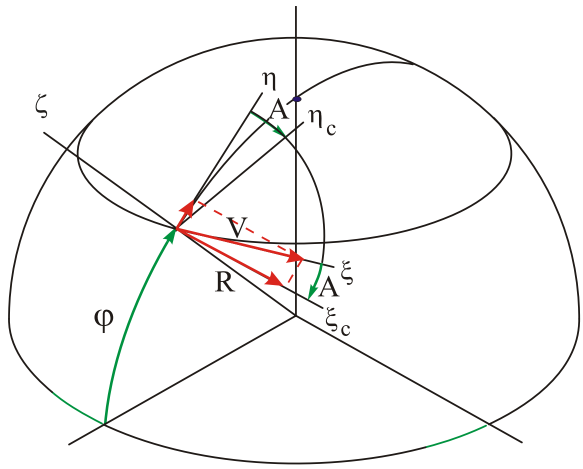

Рис.1. Азимутальное положение платформы

В зависимости от требуемой точности начальной выставки и времени предполётной подготовки применяют различные алгоритмы аналитического гирокомпасирования.

Например, сигналы акселерометров подаются на интеграторы, выходом которых являются составляющие $V_{\xi c}$ и $V_{\eta c}$ абсолютной линейной скорости. Для неподвижного основания $V = RU\cos\varphi$ - скорость точки земной поверхности из-за вращения Земли. Здесь R – радиус Земли, U – угловая скорость ее вращения, φ - широта. Азимутальный угол A гироплатформы определяется по алгоритму

$$A = arctg(V_{\eta c}/V_{\xi c})\,. \qquad (1)$$

Это можно увидеть также из соотношений $V_{\xi c} = u_{\eta_c}R$, $V_{\eta c} = -u_{\xi_c}R$,а

$$u_{\xi c} = -U\cos\varphi\sin A,$$

$$u_{\eta c} = U\cos\varphi\cos A\,.$$

Этот алгоритм требует логических операций для определения квадранта , в котором находится курс. Такое определение начального азимутального угла называется <u>одинарным</u> гирокомпасированием (ГК) .

Недостатком одинарного ГК являются значительные ошибки определения скоростей $V_{\xi c}$ и $V_{\eta c}$, вызванные дрейфами гироскопов, инструментальными погрешностями акселерометров и интеграторов.

Для повышения точности выставки проводят <u>двойное</u> ГК, при котором после измерения составляющих скорости $V_{\xi c\,0}$, $V_{\eta c\,0}$ в нулевом (начальном) положении платформы производится разворот платформы на 180°, после чего измеряются значения скорости. По измеренным составляющим скорости в двух положениях платформы в азимуте определяются средние значения:

$$V_{\xi c} = \frac{V_{\xi c_{180}} - V_{\xi c_0}}{2}\,, \qquad V_{\eta c} = \frac{V_{\eta c180} - V_{\eta c0}}{2}\,,$$

которые затем используются в алгоритме (1).

Следует отметить, что использовать можно не только информацию о линейной скорости, но также информацию об угловых скоростях $u_{\xi c}$ и $u_{\eta c}$ или связанных с ними сигналах.

Составим уравнения движения платформы при проведении аналитического гирокомпасирования. Пусть с платформой связана система координат **xyz**, ось **z** которой является осью подвеса платформы во внутренней раме крена, ось **x** - продольная ось платформы. Положение платформы относительно сопровождающего трёхгранника $\xi_c\eta_c\zeta_c$ (ось ζ_C - вертикальна) задано координатами α, β, γ в соответствии с рис. 2. Ориентация системы координат $\xi_c\eta_c\zeta_c$ относительно земной геогра фической опорной системы координат изображена на рис.3.

Табл.1. Направляющие косинусы

	ξñ	ηñ	ζñ
x	1	γ	-α
y	-γ	1	β
z	α	-β	1

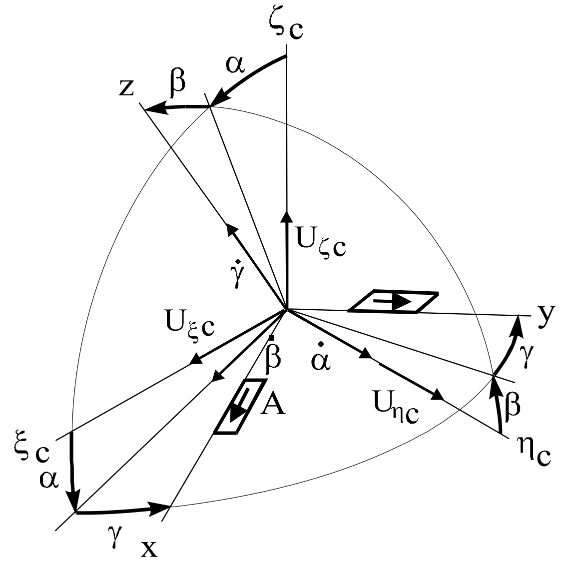

Рис.2. Углы поворота платформы

Для анализа движения гироплатформы достаточно рассмотрения прецессионных уравнений. Уравнения моментов в проекциях на оси **x** и **y** имеют вид:

$$\begin{cases} H\omega_y = M_{kx} + M_{вx}, \\ -H\omega_x = M_{ky} + M_{вy}. \end{cases}$$

где *H* - кинетический момент гироскопа; ω_X, ω_Y - проекции абсолютной угловой скорости платформы на оси **x** и **y**; M_{kx}, M_{ky} - моменты коррекции, приложенные к соответствующим осям; $M_{âx}$, $M_{вy}$ - вредные моменты.

Запишем систему в размерностях угловых скоростей:

$$\begin{cases} \omega_x = -\omega_{kx} - \omega_{дx}, \\ \omega_y = \omega_{ky} + \omega_{дy}. \end{cases}; \qquad (2)$$

где $\omega_{kx} = \dfrac{-M_{ky}}{H}, \omega_{ky} = \dfrac{M_{kx}}{H}$ - угловые скорости коррекции платформы; $\omega_{дx} = \dfrac{-M_{вy}}{H}, \omega_{дy} = \dfrac{M_{вx}}{H}$ -угловые скорости дрейфа платформы.

Абсолютная угловая скорость платформы $\vec{\omega}$ равна сумме переносной угловой скорости $\vec{u}$ (скорость трёхгранника $\xi_c\eta_c\zeta_c$) и относительной угловой скорости $\vec{n}$ (угловая скорость движения платформенной системы координат xyz относительно $\xi_c\eta_c\zeta_c$):

$$\vec{\omega} = \vec{u} + \vec{n}.$$

Направляющие косинусы систем координат $\xi_c\eta_c\zeta_c$ и **xyz** для малых α, β, γ приведены в табл. 1.

Уравнение (1) в проекциях на оси **x** и **y** имеет вид:

$$\omega_x = u_x + n_x, \qquad \omega_y = u_y + n_y. \qquad (3)$$

Используя рис.2, определим проекции переносной угловой скорости:

$$u_x = u_{\xi c} + u_{\eta c}\gamma - u_{\zeta c}\alpha;$$
$$u_y = -u_{\xi c}\gamma + u_{\eta c} + u_{\zeta c}\beta;$$
$$u_{\xi c} = -U\cos\varphi\sin A, \qquad (4)$$
$$u_{\eta c} = U\cos\varphi\cos A,$$
$$u_{\zeta c} = u_{\zeta} = U\sin\varphi.$$

где $U = 7{,}29\cdot 10^{-5}\, 1/c$ - скорость вращения Земли; φ - широта места; A - азимутальный угол (см. рис. 3).

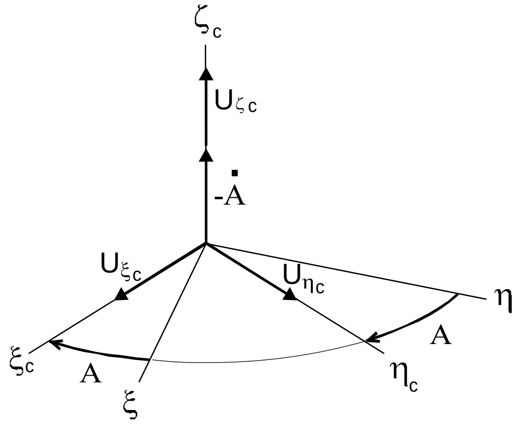

Рис.3. Азимутальное положение платформы

Аналогично определим проекции относительной угловой скорости:

$$n_x = \dot{\alpha}\gamma + \dot{\beta}; \quad n_y = \dot{\alpha} - \dot{\beta}\gamma. \qquad (5)$$

Пусть коррекция в системе строится по интегральному закону

$$\omega_{kx} = K\int_0^t a_y dt; \quad \omega_{ky} = K\int_0^t a_x dt, \qquad (6)$$

где a_x, a_y - выходные сигналы акселерометров (кажущиеся ускорения); $K = \dfrac{k}{H}$ - удельная скорость коррекции; k - коэффициент передачи цепи коррекции.

Рассмотрим также движение платформы при позиционной $(\omega_k = Ka)$ и интегрально-позиционной $(\omega_k = K_1 a + K_2\int_0^t adt)$ коррекциях. Поэтому удобно представить ω_{kx} и ω_{ky} в следующем общем виде:

$$\omega_{kx} = f(a_y); \quad \omega_{ky} = f(a_x). \qquad (7)$$

Как известно, акселерометры измеряют кажущиеся ускорения, являющиеся разностью абсолютного W и гравитационного g' ускорений:

$$\overline{a} = \overline{W} - \overline{g}'. \qquad (8)$$

Проекции абсолютного ускорения на оси географического трёхгранника (при пренебрежении несферичностью Земли) имеют вид:

$$W_{\xi} = (R+h)\left(\dot{\omega}_{\eta} + \omega_{\xi}\omega_{\zeta} + \frac{\dot{h}\omega_{\eta}}{R+h}\right);$$
$$W_{\eta} = (R+h)\left(-\dot{\omega}_{\xi} + \omega_{\eta}\omega_{\zeta} - \frac{2\dot{h}\omega_{\xi}}{R+h}\right); \qquad (9)$$
$$W_{\zeta} = \ddot{h} - (R+h)(\omega_{\xi}^2 + \omega_{\eta}^2);$$

$$\omega_\xi = -\frac{v_N}{R+h},\ \omega_\eta = \frac{v_E}{R+h} + U\cos\varphi;$$

$$\omega_\zeta = \frac{v_E}{R+h} tg\varphi + U\ \sin\varphi, \qquad v_E = v\sin\psi, v_N = v\cos\psi, ..$$

R=6371110м - радиус Земли; h - высота; v - относительная скорость движения объекта; ψ - курс объекта.

Ускорения, измеряемые акселерометрами с горизонтальными осями чувствительности, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} a_X &= \left(w_\xi \cos A - (w_\eta - g'_\eta)\sin A\right) + \gamma\left(w_\xi \sin A + (w_\eta - g'_\eta)\cos A\right) - \alpha\left(w_\zeta - g'_\zeta\right) \\ a_Y &= -\gamma\left(w_\xi \cos A - (w_\eta - g'_\eta)\sin A\right) + \left(w_\xi \sin A + (w_\eta - g'_\eta)\cos A\right) + \beta\left(w_\zeta - g'_\zeta\right). \end{aligned} \tag{10}$$

Подставляя выражения (4), (5), (9), (10) в систему (1), используя соотношения (3) и (4), можно получить обобщённые уравнения режима гирокомпасирования .

Режим ГК осуществляется на неподвижном основании при $h=0$. Тогда, согласно формулам (9) - $W_\xi = 0$; $W_\eta = RU^2\cos\varphi\sin\varphi$; $W_\zeta = RU^2\cos^2\varphi$.

Проекции кажущихся ускорений принимают следующий вид (см. рис. 4)

$$\begin{aligned} a_\eta &= W_\eta - g'_\eta = 0 \quad (g'_\eta = W_\eta); \\ a_\zeta &= W_\zeta - g'_\zeta = g \quad (\overline{g} = \overline{g}' - \overline{U} \times (\overline{U} \times \overline{R})), \end{aligned} \tag{11}$$

где $\vec{g}$ - ускорение силы тяжести.

Подставив (11) в (10), получим сигналы акселерометров для неподвижного основания:

$$\begin{aligned} a_x &= -g\alpha; \\ a_y &= g\beta. \end{aligned} \tag{12}$$

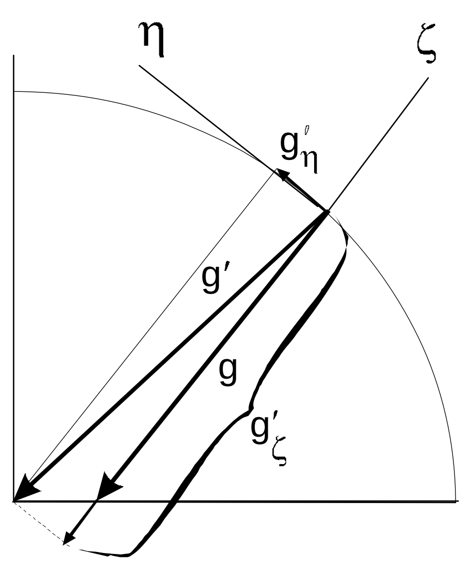

Рис.4. Векторы ускорений

Углы α и β определяются ошибками горизонтирования и, следовательно, являются малыми величинами α, β<<1. Примем идеальным ориентирование гироплатформы по продольной оси объекта, т.е. $\gamma = 0$. Тогда математическая модель ГК примет вид:

$$\begin{cases} u_{\xi c} - u_{\zeta c}\alpha + \dot{\beta} = -f(a_y) - \omega_{\partial x}; \\ u_{\eta c} + u_{\zeta c}\beta + \dot{\alpha} = f(a_x) + \omega_{\partial y}. \end{cases} \tag{13}$$

ГК с позиционной коррекцией гироплатформы

Соотношения (7) для позиционной коррекции имеют следующий вид:

$$\omega_{kx} = f(a_y) = Ka_y = \frac{k}{H} g\beta;$$
$$\omega_{ky} = f(a_x) = Ka_x = \frac{-k}{H} g\alpha. \qquad (14)$$

Перепишем математическую модель (13):

$$\begin{cases} \dot{\alpha} + d_1\alpha + d_2\beta + d_3 = 0, \\ \dot{\beta} + d_1\beta - d_2\alpha + d_4 = 0, \end{cases} \qquad (15)$$

где $d_1 = (k / H)g$, $d_2 = u_{\zeta c}$, $d_3 = u_{\eta c} - \omega_{\partial y}$, $d_4 = u_{\xi c} + \omega_{\partial x}$.

Частные решения системы (15):

$$\alpha^{ч} = \frac{d_2 d_4 - d_1 d_3}{d_1^2 + d_2^2} = \frac{u_{\zeta c}(u_{\xi c} + \omega_{\partial y}) - (k / H) g (u_{\eta c} - \omega_{\partial y})}{(k / H)^2 g^2 + u_{\zeta c}^2}; \qquad (16)$$

$$\beta^{ч} = -\frac{d_2 d_3 + d_1 d_4}{d_1^2 + d_2^2} = \frac{u_{\zeta c}(u_{\eta c} - \omega_{\partial y}) + (k / H) g (u_{\xi c} + \omega_{\partial x})}{(k / H)^2 g^2 + u_{\zeta c}^2}.$$

Проведём анализ движения гироплатформы при позиционной коррекции. Выделим из системы (15) уравнения, описывающие движение платформы по угловым координатам α и β :

$$\ddot{\alpha} + 2d_1\dot{\alpha} + (d_1^2 + d_2^2)\alpha = d_2 d_4 - d_1 d_3;$$
$$\ddot{\beta} + 2d_1\dot{\beta} + (d_1^2 + d_2^2)\beta = -d_2 d_3 - d_1 d_4. \qquad (17)$$

Для колебательного процесса общие решения дифференциальных уравнений второго порядка (1.42) имеют вид:

$$\alpha(t) = (\alpha_0 - \alpha^{ч})e^{-ht}\sqrt{1 + \frac{h^2}{\omega_1^2}} cos(\omega_1 t - \varepsilon) + \alpha^{ч};$$

$$\beta(t) = (\beta_0 - \beta^{ч})e^{-ht}\sqrt{1 + \frac{h^2}{\omega_1^2}} cos(\omega_1 t - \varepsilon) + \beta^{ч}, \qquad (18)$$

где α_0, β_0 - начальные отклонения платформы (погрешности горизонтирования); $h = a_1 = (k / H)g$ - коэффициент затухания; $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - h^2}$ - частота затухающих колебаний; $\varepsilon = arctg(h / \omega_1)$.

Из (18) видно, что платформа совершает колебательный переход из начального положения α_0, β_0, определяемого параметрами режима горизонтирования, в новое положение

$\alpha^ч,\ \beta^ч$. Время переходного процесса (затухания собственного движения) можно регулировать путём изменения крутизны позиционной коррекции *k*. В идеальном случае (при $\omega_{\partial x} = \omega_{\partial y} = 0$) непрерывное отслеживание платформой плоскости горизонта происходит с погрешностями $\alpha^ч,\ \beta^ч$. Дрейфы гироскопов приводят к дополнительным ошибкам ориентирования платформы. Для получения значений V_x и V_y, используемых в алгоритмах ГК (1), необходимо умножить сигналы позиционной коррекции на коэффициент передачи, равный радиусу Земли *К=1/R*. Следовательно,

$$\begin{aligned} V_y &= K(a_y) = R(-u_{\xi c} + u_{\zeta c}\alpha - \dot{\beta} - \omega_{\partial x}); \\ V_x &= K(a_x) = R(u_{\eta c} + u_{\zeta c}\beta + \dot{\alpha} - \omega_{\partial y}). \end{aligned} \tag{19}$$

Из соотношений (19) видно, что, кроме полезных составляющих $Ru_{\xi c}$, $Ru_{\eta c}$, сигналы V_X и V_Y содержат помехи:

$$\begin{aligned} \Delta V_y &= R(u_{\zeta c}\alpha - \dot{\beta} - \omega_{\partial x}); \\ \Delta V_x &= R(u_{\zeta c}\beta + \dot{\alpha} - \omega_{\partial x}). \end{aligned} \tag{20}$$

После завершения переходного процесса погрешности измерения скорости определяются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \Delta V'_y &= R(u_{\zeta c}\alpha^ч - \omega_{\partial x}); \\ \Delta V'_x &= R(u_{\zeta c}\beta^ч - \omega_{\partial y}). \end{aligned} \tag{21}$$

Наибольшее влияние на точность ГК оказывают дрейфы гироскопов $\omega_{\partial x}$, $\omega_{\partial x}$. При дрейфах 2°/час (ИКВ-802) полезные сигналы и помехи являются величинами одного порядка и, следовательно, аналитическое определение курса одинарным гирокомпасированием провести не удаётся. Поэтому для системы с позиционной коррекцией следует проводить двойное ГК, в результате которого компенсируются постоянные погрешности (20).

Динамические погрешности ГК, вызванные колебательными составляющими угловых координат, а также величинами $\dot{\alpha}, \dot{\beta}$, имеющими место во время переходного процесса, не превышают $0{,}3°$ при $\alpha_0, \beta_0 \le 0{,}5'; \varphi = 50°$ (для любого положения платформы в азимуте).

Максимальные значения динамических погрешностей ГК определяются величинами α_0, β_0 и возникают в первые (10...15) мин работы, после чего наблюдается уменьшение погрешностей по закону косинуса согласно формулам (21). Следует отметить, что максимальные погрешности возникают на курсах, близких $\psi = \pm 90°,\ \pm 180°$, когда одна из составляющих линейной скорости (V_x или V_y) является малой величиной, что повышает удельный вес динамических помех измерения скорости в алгоритме (1).

Рассмотрим влияние инструментальных погрешностей на точность ГК. Введём нелинейность канала коррекции δh_K, статической характеристики акселерометра δh_a и смещение нуля (порог чувствительности) акселерометра δa в модель (20). Частные решения принимают вид:

$$\alpha_n^Ч = \frac{a_2 n - a'_1 m}{a'^2_1 + a^2_2}; \quad \beta_n^Ч = -\frac{a_2 m + a'_1 n}{a'^2_1 + a^2_2}, \tag{22}$$

где $$a_1' = \frac{k}{H} g(1+\delta h_K)(1+\delta h_a) \approx a_1(1+\delta h_K+\delta h_a);$$

$$n = u_{\xi c} + \omega_{\partial x} + \frac{k}{H} g(1+\delta h_K)\delta a \approx a_4 + \frac{k}{H}\delta a;$$

$$m = u_{\eta c} - \omega_{\partial y} - \frac{k}{H} g(1+\delta h_K)\delta a \approx a_3 - \frac{k}{H}\delta a.$$

Инструментальные ошибки изменяют также коэффициент затухания и частоту собственных незатухающих колебаний.

В результате

$$\begin{aligned}
\alpha(t) &= (\alpha_0 - \alpha_n^ч)e^{-h't}\sqrt{1+\left(\frac{h'}{\omega_1'}\right)^2}\cos(\omega_1' - \varphi') + \alpha_n^ч;\\
\beta(t) &= (\beta_0 - \beta_n^ч)e^{-h't}\sqrt{1+\left(\frac{h'}{\omega_1'}\right)^2}\cos(\omega_1' - \varphi') + \beta_n^ч,
\end{aligned} \tag{23}$$

где $$h' = \frac{k}{H} g(1+\delta h_K)(1+\delta h_a) \approx h(1+\delta h_K+\delta h_a);$$

$$\omega_0' = \sqrt{[a(1+\delta h_K)(1+\delta h_a)]^2 + a_2^2} \approx \sqrt{a(1+2\delta h_K+2\delta h_a)+a_2^2};$$

$$\omega_1' = \sqrt{\omega_0'^2 - h'^2}, \varphi' = arctg\frac{h'}{\omega_1'}.$$

Рост установившихся ошибок (22) из-за инструментальных погрешностей компенсируется в результате проведения двойного ГК. Максимальные погрешности ГК в первые 10...15 мин работы при $\alpha_0, \beta_0 \le 0{,}5'$ возрастают до $0{,}35°$.

ГК с интегрально-позиционной коррекцией гироплатформы

Подставив в общую модель (13) зависимости интегрально-позиционной коррекции

$$\begin{aligned}
\omega_{kx} &= f(a_y) = \frac{k}{H}\int_0^t g\beta\cdot dt + \frac{k_1}{H} g\beta;\\
\omega_{ky} &= f(a_x) = -\frac{k}{H}\int_0^t g\alpha\cdot dt - \frac{k_1}{H} g\alpha,
\end{aligned} \tag{24}$$

получим следующие уравнения движения:

$$\begin{aligned}
u_{\xi c} - u_{\zeta c}\alpha + \dot\beta &= -\frac{k}{H}\int_0^t g\beta\cdot dt - \frac{k_1}{H} g\beta - \omega_{\partial x};\\
u_{\eta c} + u_{\zeta c}\beta + \dot\alpha &= -\frac{k}{H}\int_0^t g\alpha\cdot dt - \frac{k_1}{H} g\alpha + \omega_{\partial y};
\end{aligned} \tag{25}$$

Продифференцировав уравнения (25) по времени, получим

$$\ddot{\beta} - d_1\dot{\alpha} + d_2\dot{\beta} + d_3\beta = 0;$$
$$\ddot{\alpha} + d_1\dot{\beta} + d_2\dot{\alpha} + d_3\alpha = 0; \tag{26}$$

где $d_1 = u_{\zeta c}$, $d_2 = \varepsilon g$, $d_3 = g/R$, $\varepsilon = k_1/H$, $k/H = 1/R$.

Из (26) видно, что платформа совершает сложное движение вокруг нулевых значений угловых координат α и β.

Разделим систему (26) на два уравнения

$$\beta^{IV} + b_1\beta^{III} + b_2\beta^{II} + b_3\beta^{I} + b_4\beta = 0;$$
$$\alpha^{IV} + b_1\alpha^{III} + b_2\alpha^{II} + b_3\alpha^{I} + b_4\alpha = 0, \tag{27}$$

где $b_1 = 2d_1, b_2 = 2d_3 + d_1^2 + d_2^2, b_3 = 2d_2d_3, b_4 = d_3^2$

Им соответствует характеристическое уравнение

$$s^4 + b_1s^3 + b_2s^2 + b_3s + b_4 = 0 \tag{28}$$

Точные значения корней алгебраического уравнения (28) определить нельзя. Можно найти приближенные значения решения уравнений (26) путем численного интегрирования системы дифференциальных уравнений.

Численный анализ показал, что платформа идеальной ИКВ совершает движение от начального положения α_0, β_0 к нулю. При наличии инструментальных погрешностей платформа переходит из положения α_0, β_0 к установившимся значениям, соответствующим по величине частным решениям

$$\alpha^{Ч} \approx \frac{\delta a + \delta u}{g(1 + \delta h_И + \delta h_a)}, \qquad \beta^{Ч} \approx -\frac{\delta a + \delta u}{g(1 + \delta h_И + \delta h_a)} \tag{29}$$

Изменяя крутизну коррекции ε, можно регулировать время перехода, задавать характер переходного процесса (колебательный или апериодический).

В случае интегрально-позиционной коррекции можно измерять проекции линейной скорости в трёх различных точках цепи коррекции: на выходе интегратора, на выходе позиционного усилителя сигнала акселерометра с учётом коэффициента $K = 1/R$, в точке выхода суммарного сигнала интегрально-позиционной коррекции.

На выходе интегратора получаем:

$$V_{x1} = R(-u_{\eta c} - u_{\zeta c}\beta - \dot{\alpha} - \varepsilon g\alpha - \omega_{\partial y});$$
$$V_{y1} = R(-u_{\xi c} + u_{\zeta c}\alpha - \dot{\beta} - \varepsilon g\beta - \omega_{\partial x}). \tag{30}$$

Выход позиционного канала:

$$V_{x2} = R(-u_{\eta c} - u_{\zeta c}\beta - \dot{\alpha} + \omega_{\partial y}) - \int_0^t g\alpha \cdot dt;$$
$$V_{y2} = R(-u_{\xi c} + u_{\zeta c}\alpha - \dot{\beta} - \omega_{\partial x}) - \int_0^t g\beta \cdot dt. \qquad (31)$$

Выход интегрально-позиционной коррекции:

$$V_{x3} = R(-u_{\eta c} - u_{\zeta c}\beta - \dot{\alpha} + \omega_{\partial y});$$
$$V_{y3} = R(-u_{\xi c} + u_{\zeta c}\alpha - \dot{\beta} - \omega_{\partial x}). \qquad (32)$$

Из (30), (31), (32) видно, что и при интегрально-позиционной коррекции необходимо применять двойное ГК. Предпочтение следует отдать выходным сигналам (32).

3. Задание к работе

1.Выполнить численное исследование , сопоставить результаты численного и аналитического исследования влияния следующих факторов на погрешности гирокомпасирования:

- погрешностей начального горизонтирования;
- смещения нуля интегратора ;
- широты места;
- азимутального угла;
- смещения нуля акселерометра;
- нестабильности коэффициента передачи акселерометра;
- нестабильности коэффициента передачи контура управления;
- нестабильности коэффициента передачи интегратора;
- систематической составляющей угловой скорости дрейфа гироскопа;
- случайной составляющей угловой скорости дрейфа гироскопа;

2.Выработать требования к элементам ИНС , обеспечивающим указанные преподавателем характеристики точности гирокомпасирования.

3.Выяснить , при каких условиях динамические погрешности гирокомпасирования максимальны.

4.Выяснить , что оказывает наибольшее влияние на точность гирокомпасирования.

5. Оцените влияние осреднения показаний в течение заданного времени на точность гирокомпасирования.

4. Контрольные вопросы

1. Как направлены оси сопровождающего трехгранника?
2. Чем уравнения реальной работы отличаются от уравнений идеальной работы?
3. Как получают уравнения идеальной работы?
4. Как получают уравнения движения?
5. Как в системе используют гироскопы?
6. Как в системе используют акселерометры?
7. Что такое «кажущееся ускорение»?
8. Что такое «абсолютная линейная скорость»?
9. Как платформу располагают на объекте?
10. Зачем в системе нужны интеграторы?

11. Какие возмущающие факторы не учтены в приведенных реальных уравнениях работы?
12. Чем отличается гирокомпасирование при различных законах горизонтирования?
13. От чего зависит время гирокомпасирования?

5. Содержание отчета

1. Используемые математические выражения и пояснения к ним.
2. Графики полученных зависимостей.
3. Численные оценки и пояснения к ним.
4. Выводы по работе.

6. Литература

1. Мелешко В.В. Инерциальные навигационные системы. Начальная выставка. -Киев, 1999.