

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРИЕНТАЦИИ ГИРОТАХОМЕТРОВ В БЛОКЕ ПРИ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

В.В. Алешкин

*Кафедра «Приборостроение», ГОУ ВПО «Саратовский государственный
технический университет», г. Саратов;
aleshkinvv@yandex.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: алгоритмическая компенсация; блок гироскопов; методические погрешности; квадратичный критерий; оптимизация ориентации; результаты моделирования.

Аннотация: Решена задача определения ориентации осей трех гироскопов в блоке с помощью минимизации квадратичного критерия качества переходных процессов при нелинейных ограничениях, налагаемых условиями ортогональности элементов матриц направляющих косинусов осей гироскопов. Методом математического моделирования подтверждена алгоритмическая компенсация методических погрешностей гироскопов.

Как показано в [1, 2], использование уравнений обратной задачи в качестве алгоритма определения компонентов вектора абсолютной угловой скорости объекта по сигналам тройки гироскопов (ГТ) позволяет теоретически точно компенсировать, а с учетом инструментальных погрешностей гироскопов – существенно снизить: погрешности перекрестных связей, нелинейностей масштабных коэффициентов; погрешности от действия угловых ускорений объекта и динамические погрешности ГТ. Степень компенсации этих погрешностей зависит от собственных динамических свойств системы дифференциальных уравнений обратной задачи, которые, в свою очередь, определяются ориентацией трех одинаковых ГТ в блоке. В настоящей работе определяется оптимальная, в смысле квадратичного критерия качества переходных процессов в решениях уравнений обратной задачи, ориентация ГТ, позволяющая в значительной степени компенсировать указанные погрешности.

1. Постановка задачи. Блок измерителей угловой скорости состоит из трех гироскопов, ориентация каждого из которых в блоке задается тремя последовательными поворотами $\theta_3^i \rightarrow \theta_2^i \rightarrow \theta_1^i$ ($i = 1, 2, 3$).

На рисунке 1 правый ортогональный трехгранник $U(U_1, U_2, U_3)$ связан с корпусом блока, трехгранники $Z^i(Z_1^i, Z_2^i, Z_3^i)$, $Z_i(Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{i3})$ связаны, соответственно, с корпусом и рамкой i -го ГТ, причем, ось Z_{i3} является осью кинетического момента, а ось Z_{i1} – выходной осью ГТ. Угол β_i характеризует относительное движение рамки i -го ГТ. Гироскопы 1 и 2 расположены так, что $\theta_j^1 = 0$ ($j = 1, 2, 3$); $\theta_3^2 = 90^\circ$; $\theta_2^2 = 0$; $\theta_1^2 \neq 0$.

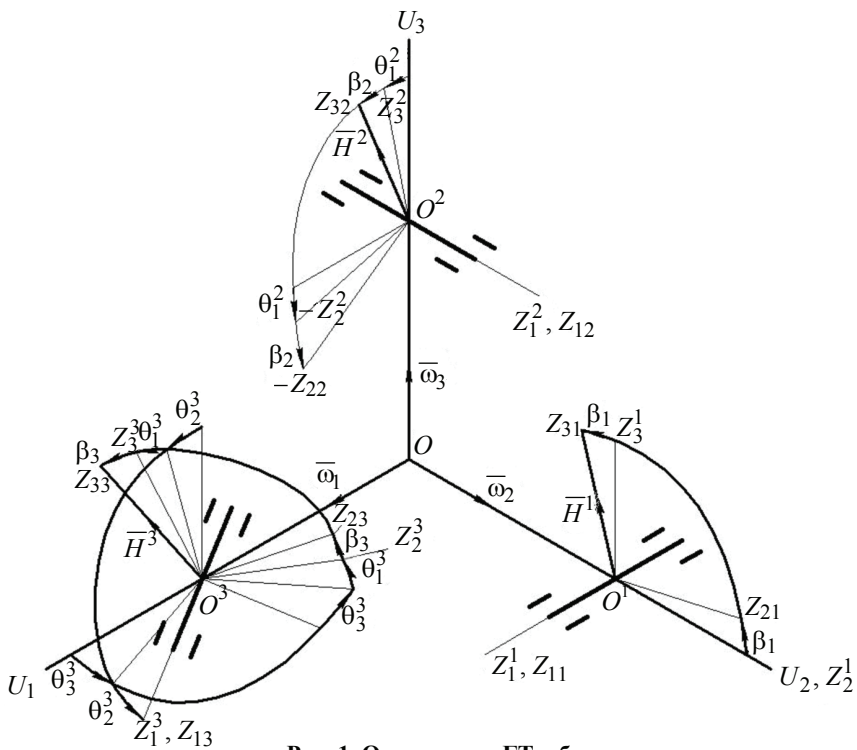


Рис. 1. Ориентация ГТ в блоке

Взаимная ориентация трехгранников определяется равенствами:

$$(Z_1^i, Z_2^i, Z_3^i) = N^i(U_1, U_2, U_3);$$

$$(Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{i3}) = K^i(Z_1^i, Z_2^i, Z_3^i) \quad (i = 1, 2, 3),$$

где $N^i(n_{ij}^i)$, $K^i(k_{ij}^i)$ ($i, l, j = 1, 2, 3$) – матрицы вида

$$K^i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta_i & \sin \beta_i \\ 0 & -\sin \beta_i & \cos \beta_i \end{pmatrix};$$

$$N^i = \begin{pmatrix} \cos \theta_2^i \cos \theta_3^i & \cos \theta_2^i \sin \theta_3^i & -\sin \theta_2^i \\ \sin \theta_1^i \sin \theta_2^i \cos \theta_3^i - \cos \theta_1^i \sin \theta_3^i & \sin \theta_1^i \sin \theta_2^i \sin \theta_3^i + \cos \theta_1^i \cos \theta_3^i & \sin \theta_1^i \cos \theta_2^i \\ \cos \theta_1^i \sin \theta_2^i \cos \theta_3^i + \sin \theta_1^i \sin \theta_3^i & \cos \theta_1^i \sin \theta_2^i \sin \theta_3^i - \sin \theta_1^i \cos \theta_3^i & \cos \theta_1^i \cos \theta_2^i \end{pmatrix}.$$

Уравнения движения главных осей гиротахометров относительно трехгранника U можно представить в виде:

$$A_i \ddot{\beta}_i + c_i \dot{\beta}_i + Q_i = -H_i \sum_{j=1}^3 d_{2,j}^i \omega_j - A_i \sum_{j=1}^3 d_{1,j}^i \dot{\omega}_j - B_i \left(\sum_{j=1}^3 d_{2,j}^i \omega_j \right) \left(\sum_{j=1}^3 d_{3,j}^i \omega_j \right);$$

$$\sum_{\mu=0}^n \alpha_{\mu}^i Q_i = \kappa^i \sum_{\nu=0}^m b_{\nu}^i \beta_i; \quad (1)$$

$$D^i = K^i N^i; \quad A_i = I_i + E_i; \quad B_i = F_i - D_i - I_i \quad (i = 1, 2, 3),$$

где H_i – кинетический момент ротора i -го ГТ; I_i – экваториальный момент инерции ротора i -го ГТ; E_i, F_i, D_i – моменты инерции рамки i -го ГТ относительно осей Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{i3} соответственно; Q_i – момент обратной связи; c_i – коэффициент демпфирования; $\kappa^i, \alpha_{\mu}^i, b_v^i$ – коэффициенты регуляторов электромеханических обратных связей ГТ; ω_j ($j = 1, 2, 3$) – проекции абсолютной угловой скорости объекта на оси U_j ($j = 1, 2, 3$).

На объекте наблюдаемыми являются углы β_i ($i = 1, 2, 3$) относительных движений главных осей ГТ и величины Q_i , определяемые путем измерения токов в обмотках датчиков моментов ГТ. Производные $\dot{\beta}_i, \ddot{\beta}_i$ ($i = 1, 2, 3$) также могут быть измерены или вычислены. Поэтому, считая $\beta_i, \dot{\beta}_i, \ddot{\beta}_i, Q_i$ известными, обозначая неизвестные проекции угловой скорости ω_j через x_j и обращая переменные в уравнениях (1), получим уравнения обратной задачи для блока трех ГТ

$$A_i \sum_{j=1}^3 d_{1j}^i \dot{x}_j + H_i \sum_{j=1}^3 d_{2j}^i x_j + B_i \left(\sum_{j=1}^3 d_{2j}^i x_j \right) \left(\sum_{j=1}^3 d_{3j}^i x_j \right) = -A_i \ddot{\beta}_i - c_i \dot{\beta}_i - Q_i \quad (i = 1, 2, 3). \quad (2)$$

Уравнения (2) являются алгоритмом вычисления компонентов вектора абсолютной угловой скорости объекта по сигналам блока трех ГТ, который может быть реализован на бортовом вычислительном устройстве. При таком подходе обеспечивается алгоритмическая компенсация погрешностей ГТ, вызванных угловыми движениями объекта [1].

Для эффективной работы вычислителя и наиболее полной компенсации методических и динамических погрешностей необходимо, чтобы:

а) единственные решения системы (2) были асимптотически устойчивыми по Ляпунову;

б) динамические свойства системы были достаточно хорошими. В частности, время переходных процессов решений должно быть меньше, чем у самих ГТ.

Задача построения такой системы сводится к определению параметров H_i, A_i, B_i и углов $\theta_1^i, \theta_2^i, \theta_3^i$ ориентации ГТ в блоке, которые определяют при малых $\beta_i \leq (1-2)^\circ$ ($i = 1, 2, 3$) динамические свойства решений уравнений (2).

2. Решение задачи. Уравнения возмущенного движения системы (2) имеют вид

$$A_i \sum_{j=1}^3 d_{1j}^i \dot{y}_j + H_i \sum_{j=1}^3 d_{2j}^i y_j + B_i \left(\sum_{j=1}^3 d_{2j}^i y_j \right) \left(\sum_{j=1}^3 d_{3j}^i y_j \right) + B_i \left[\left(\sum_{j=1}^3 d_{2j}^i y_j \right) \left(\sum_{j=1}^3 d_{3j}^i x_j^0 \right) + \left(\sum_{j=1}^3 d_{2j}^i x_j^0 \right) \left(\sum_{j=1}^3 d_{3j}^i y_j \right) \right] = 0 \quad (i = 1, 2, 3), \quad (3)$$

где $x_j^0(t)$ – невозмущенное движение системы (2); $y_j(t)$ – возмущения.

При $\omega_j = 0$ нелинейная неавтономная система (3) превращается в автономную, совпадающую по форме с уравнениями собственного движения системы (3)

$$A_i \sum_{j=1}^3 n_{1j}^i \dot{y}_j + H_i \sum_{j=1}^3 n_{2j}^i y_j + B_i \left(\sum_{j=1}^3 n_{2j}^i y_j \right) \left(\sum_{j=1}^3 n_{3j}^i y_j \right) = 0 \quad (i = 1, 2, 3). \quad (4)$$

В случае использования одинаковых гиротахометров систему (4) можно привести к виду

$$y'_k = \sum_{j=1}^3 C_{kj} y_j + \sum_{j=1}^3 P_{kj} y_j + R_k(y_j) \quad (k=1, 2, 3), \quad (5)$$

где $y'_k = \frac{dy_j}{d\tau}$ ($k=j=1, 2, 3$), $\tau = ht$, $h = \frac{H_i}{A_i}$ ($i=1, 2, 3$), C_{kj} ($k, j=1, 2, 3$) – элементы матрицы C , состоящей из направляющих косинусов тех ГТ, ориентацию которых мы задаем заранее. Например, мы полагаем, что один или два ГТ расположены ортогонально по отношению к осям блока. Ориентацию остальных ГТ, то есть $P_{kj}(n_{kj}^i)$, будем определять, исходя из необходимых динамических свойств

решений уравнений обратной задачи; $R_k(x_j)$ – совокупность нелинейных членов уравнения (4).

В отличие от системы (4), коэффициенты системы (5) зависят только от углов ориентации ГТ в блоке и не зависят от их параметров.

В отношении системы (5) можно поставить следующую задачу: необходимо найти такие коэффициенты P_{kj} линейных относительно фазовых координат

функций $U_k = \sum_{j=1}^3 P_{kj} y_j$, которые обеспечивали бы асимптотическую устойчивость невозмущенного движения $y_j = 0$ в силу уравнений (5), причем на движениях $y_j(t)$ этой системы минимизировался бы интегральный критерий качества переходных процессов

$$J = \int_0^{\infty} \Phi(y, U) d\tau.$$

Методика решения такого рода задач хорошо известна [3, 4]. Специфика настоящей задачи состоит в том, что синтезируемые коэффициенты P_{kj} есть функции элементов n_{kj}^i ($k, j=1, 2, 3$) матриц направляющих косинусов N^i ($i=1, 2, 3$), которые должны удовлетворять шести нелинейным соотношениям (условиям ортогональности)

$$\sum_{j=1}^3 n_{kj}^i n_{lj}^i = \sum_{j=1}^3 n_{jk}^i n_{jl}^i = \begin{cases} 0 & \text{при } l \neq k \\ 1 & \text{при } l = k \end{cases} \quad (i, l, k=1, 2, 3). \quad (6)$$

При выполнении условия

$$\text{rang}(W) = 3, \quad W = \{U, CU, C^2U\}, \quad U = (P_{kj}), \quad C = (C_{kj}) \quad (k, j=1, 2, 3)$$

решение поставленной задачи возможно по уравнениям первого приближения системы (5) [4].

Для принятой ориентации осей ГТ в блоке (см. рис. 1) уравнения первого приближения возмущенного движения имеют вид

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = -y_2; \\ \dot{y}_2 = y_1 \cos \theta_1^2 - y_3 \sin \theta_1^2; \\ \dot{y}_3 = \frac{1}{n_{13}^3} [-y_1(n_{21}^3 + n_{12}^3 \cos \theta_1^2) + y_2(n_{11}^3 - n_{22}^3) + y_3(n_{12}^3 \sin \theta_1^2 - n_{23}^3)] = U. \end{cases} \quad (7)$$

При $\theta_1^2 \neq \pi n$ (n – целое число) $\text{rang}(\mathbf{W}) = 3$. При $\theta_1^2 = 0$ $\text{rang}(\mathbf{W}) = 1$ и задача в данной постановке не имеет решения.

Функционал оптимизации зададим в виде

$$J = \int_0^{\infty} \left(\sum_{j=1}^3 y_j^2 + \sum_{j=1}^3 a_j \dot{y}_j^2 \right) d\tau.$$

Составляя уравнение Ляпунова–Белмана [3, 4] в силу уравнений (7)

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial \tau} - \frac{\partial V}{\partial y_1} y_2 + \frac{\partial V}{\partial y_2} (y_1 \cos \theta_1^2 - y_3 \sin \theta_1^2) + \frac{\partial V}{\partial y_3} U + \sum_{j=1}^3 x_j^2 + \\ + a_1 y_2^2 + a_2 (y_1 \cos \theta_1^2 - y_1 \cos \theta_1^2 - y_3 \sin \theta_1^2)^2 + a_3 U^2 = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

и используя обычную процедуру нахождения коэффициентов A_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) функции Ляпунова

$$V = \sum_{i,j=1}^3 A_{i,j} y_i y_j$$

с помощью уравнений Риккати:

$$\begin{aligned} \dot{A}_{11} &= 2A_{12} \cos \theta_1^2 + 1 + a_2 \cos^2 \theta_1^2 - \frac{1}{a_3} A_{13}^2; \\ \dot{A}_{22} &= -2A_{12} + 1 + a_1 - \frac{1}{a_3} A_{23}^2; \\ \dot{A}_{33} &= -2A_{23} \sin \theta_1^2 + 1 + a_2 \sin^2 \theta_1^2 - \frac{1}{a_3} A_{33}^2; \\ \dot{A}_{12} &= A_{22} \cos \theta_1^2 - A_{11} - \frac{1}{a_3} A_{13} A_{23}; \\ \dot{A}_{13} &= A_{23} \cos \theta_1^2 - A_{12} \sin \theta_1^2 - \frac{1}{a_3} A_{13} A_{33} - a_2 \cos \theta_1^2 \sin \theta_1^2; \\ \dot{A}_{23} &= -A_{22} \sin \theta_1^2 - A_{13} - \frac{1}{a_3} A_{23} A_{33}, \end{aligned} \quad (9)$$

получим ряд значений A_{ij} , соответствующих каждому конкретному значению θ_1^2 . Далее, сопоставляя равенство

$$U = -\frac{1}{2a_3} \frac{\partial V}{\partial y_3} = -\frac{1}{a_3} (A_{33} y_3 + A_{22} y_2 + A_{13} y_1),$$

следующее из (8), и последнее уравнение системы (7), получим три алгебраических уравнения для определения девяти элементов n_{ij}^3 ($i, j = 1, 2, 3$) матрицы N_3 :

$$\begin{aligned} n_{21}^3 + n_{12}^3 \cos \theta_1^2 &= \frac{1}{a_3} n_{13}^3 A_{13}; \quad n_{11}^3 - n_{22}^3 = -\frac{1}{a_3} n_{13}^3 A_{23}; \\ n_{23}^3 - n_{12}^3 \sin \theta_1^2 &= \frac{1}{a_3} n_{13}^3 A_{33}. \end{aligned} \quad (10)$$

Дополнив их шестью уравнениями связи (6) будем иметь систему девяти нелинейных алгебраических уравнений относительно элементов матрицы направляющих косинусов N_3 . Решения этой системы при заданных θ_1^2 , A_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) и $a_3 = 1$ были найдены в конечном виде:

$$\begin{aligned} n_{13}^3 &= \pm \frac{1}{\sqrt{d_1 r^2 + d_3 r + d_3}}; \quad n_{21}^3 = A_{13} n_{13}^3 - n_{12}^3 \cos \theta_1^2; \quad n_{12}^3 = r \cdot n_{13}^3; \\ n_{11}^3 &= m_1 n_{12}^3 + m_2 n_{13}^3; \quad n_{23}^3 = n_{12}^3 \sin \theta_1^2 + A_{33} n_{13}^3; \quad n_{22}^3 = n_{11}^3 + A_{23} n_{13}^3; \\ n_{33}^3 &= \frac{1}{\sqrt{1 + u^2 + (ku + y)^2}}; \quad n_{32}^3 = u \cdot n_{33}^3; \quad n_{31}^3 = n_{33}^3 (ku + y), \end{aligned}$$

где

$$m_1 = \frac{A_{13} \cos \theta_1^2 - A_{33} \sin \theta_1^2}{A_{23}}; \quad m_2 = -\frac{A_{13}^2 + A_{23}^2 + A_{33}^2 - 1}{A_{23}};$$

$$d_1 = 1 + m_1^2; \quad d_2 = 1 + m_2^2; \quad d_3 = 2m_1 m_2;$$

$$P_1 = m_1(1 - \cos \theta_1^2); \quad P_2 = A_{13} m_2 + A_{33};$$

$$P_3 = m_2(1 - \cos \theta_1^2) + A_{13} m_1 - A_{23} - \sin \theta_1^2;$$

$$y = -\frac{n_{23}^3}{n_{21}^3}; \quad u = -\frac{n_{21}^3 y + n_{13}^3}{n_{11}^3 k + n_{12}^3};$$

$$r = \left(-P_3 - \sqrt{P_3^2 - 4P_1 P_2} \right) / 2P_1; \quad k = n_{22}^3 / n_{21}^3. \quad (11)$$

Знаки перед радикалом в формулах выбираются такими, чтобы трехгранник Z^3 после преобразования N^3 оставался правым. Задавая величину угла θ_1^2 и определяя коэффициенты A_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) функции Ляпунова путем интегрирования уравнений (9), по формулам (11) можно вычислить n_{kj}^3 ($k, j = 1, 2, 3$). Углы θ_j^3 ($j = 1, 2, 3$) последовательных поворотов третьего ГТ определяются из выражений:

$$\theta_1^3 = \arctg \frac{n_{23}^3}{n_{33}^3}; \quad \theta_2^3 = -\arcsin n_{13}^3; \quad \theta_3^3 = \arctg \frac{n_{13}^3}{n_{11}^3}. \quad (12)$$

Область существования решений (10)–(12) по θ_1^2 ограничена неравенствами $140^\circ \leq \theta_1^2 < 180^\circ$; $180^\circ < \theta_1^2 \leq 220^\circ$, поскольку из всех решений уравнений (9) нужно выбрать удовлетворяющие критерию Сильвестра определенной положительности квадратичной формы V :

$$A_{11} > 0; \quad A_{11} A_{12} - A_{12}^2 > 0;$$

$$A_{11}(A_{22} A_{33} - A_{23}^2) - A_{12}(A_{12} A_{33} - A_{13} A_{23}) + A_{13}(A_{12} A_{23} - A_{13} A_{22}) > 0.$$

Описанная задача решалась для $\theta_1^2 \in (140^\circ, 220^\circ)$ и $a_j = 1$ ($j = 1, 2, 3$), причем значения θ_1^2 перебирались с шагом 10° .

Например, при $\theta_1^2 = 140^\circ$ решения A_{ij} системы (9) равны:

$$A_{11} = 3,2468; A_{22} = 5,5973; A_{33} = 1,8571; A_{12} = 0,7536; A_{13} = 0,6575; A_{23} = -1,5834.$$

По формулам (11), (12) получаем:

$$\begin{aligned} n_{11}^3 &= -0,5130; & n_{12}^3 &= -0,6135; & n_{13}^3 &= -0,6004; \\ n_{21}^3 &= -0,8196; & n_{22}^3 &= 0,5580; & n_{23}^3 &= 0,1302; \\ n_{31}^3 &= 0,2551; & n_{32}^3 &= 0,5588; & n_{33}^3 &= -0,7890; \\ \theta_1^3 &= 170,627^\circ; & \theta_2^3 &= 36,917^\circ; & \theta_3^3 &= 230,125^\circ. \end{aligned}$$

3. Результаты моделирования. Исследование динамических свойств решений $x_j(t)$ уравнений обратной задачи проводилось путем моделирования работы бортового вычислителя по алгоритмам вида (2), соответствующим различным ориентациям гиротахометров в блоке.

Предполагалось, что блок датчиков построен на ГТ, имеющих параметры, приведенные к H_i :

$$H_i = 1; A_i = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ с}; B_i = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ с}; c_i = 0,144; \kappa^i = 10 \text{ (с·рад)}^{-1}.$$

где κ^i – коэффициент усиления обратной связи ГТ, входящий в формулу (1).

Остальные коэффициенты электромеханических обратных связей равны нулю.

Движение главных осей трех ГТ моделировалось путем решения уравнений вида (1). В дальнейшем решения β_i, Q_i ($i = 1, 2, 3$) использовались как сигналы блока датчиков, поступающие на вход вычислителя.

Наиболее критичным к изменениям θ_1^2 параметром переходных процессов является перерегулирование σ . Графики зависимостей $\sigma_j(\theta_1^2)$, $j = 1, 2, 3$, по компонентам и среднего значения $\bar{\sigma}(\theta_1^2)$ приведены на рис. 2.

Лучшие результаты были получены при $\theta_1^2 = 220^\circ$ и $\theta_1^3 = 43,234^\circ$; $\theta_2^3 = 57,565^\circ$; $\theta_3^3 = 35,823^\circ$.

На рисунке 3 приведены графики $x_j(t)$ ($j = 1, 2, 3$) изменения вычисленных значений абсолютной угловой скорости объекта при ступенчатом изменении последней

$$\omega_j = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 0,10472 \text{ [рад/с]} & \text{при } t \geq 0 \quad (j = 1, 2, 3) \end{cases}$$

и график переходного процесса в одном ГТ $Q_1(t)$, пересчитанный в оценку угловой скорости $x_2^*(t^*)$ с помощью масштабного коэффициента.

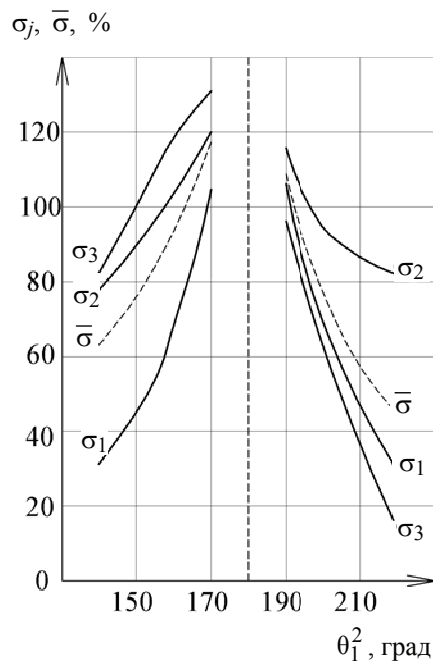


Рис. 2. Зависимости перерегулирования в решениях $x_j(t)$ от угла θ_1^2

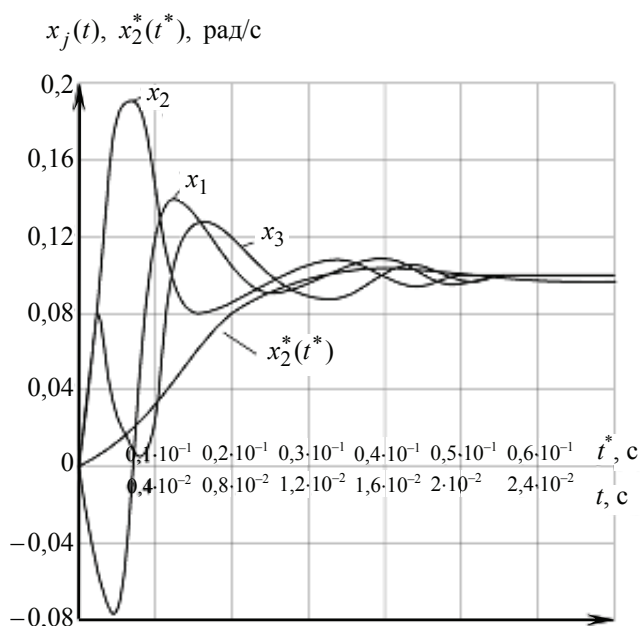


Рис. 3. Переходные процессы в ГТ и в оценках $x_j(t)$

Из графиков следует, что время переходных процессов в решениях $x_j(t)$ примерно в 4 раза меньше, чем в гироскопах, что позволяет уже при $t \geq 1,31 \cdot 10^{-2}$ с практически точно определить угловую скорость объекта. Погрешность вычисления статических значений угловой скорости ограничивается в рассматриваемом случае лишь вычислительными погрешностями и имеет в процентном выражении порядок 10^{-8} . Статическая погрешность гироскопа при определении угловой скорости путем измерения тока датчика момента равна 3,3 %.

Таким образом, полученная ориентация гироскопов в блоке обеспечивает необходимые динамические свойства решений задачи вычисления угловой скорости и в этом смысле является оптимальной. Вычисление компонентов $\omega_j(t)$ ($j = 1, 2, 3$) угловой скорости объекта по алгоритму вида (2), соответствующему данной ориентации ГТ, позволяет с высокой точностью определять $\omega_j(t)$ по сигналам трех гироскопов, компенсируя методические погрешности, учтенные в исходной математической модели блока и, в значительной степени, динамические погрешности последних.

Список литературы

1. Плотников, П.К. Измерительные гироскопические системы / П.К. Плотников. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. ун-та, 1976. – 164 с.
2. Плотников, П.К. К вопросу построения алгоритмов оценивания параметров движения по сигналам датчиков первичной информации / П.К. Плотников // Изв. РАН. МТТ. – 1990. – № 1. – С. 12–22.
3. Малкин, И.Г. Теория устойчивости движения / И.Г. Малкин. – М. : Наука, 1966. – 530 с.
4. Летов, А.М. Динамика полета и управление / А.М. Летов. – М. : Наука, 1969. – 359 с.

Optimization of Orientation Gyroscopes in Block with Algorithmic Compensation of Errors

V.V. Aleshkin

*Department "Instrumentation", Saratov State Technical University, Saratov;
aleshkinvv@yandex.ru*

Key words and phrases: algorithmic compensation; block of gyroscopes; methodic errors; optimization of orientation; quadratic criterion; simulation results.

Abstract: The paper presents the solution to the problem of determining the axes orientation of the three gyroscopes in the block by minimizing the quadratic criterion of quality of transient processes under nonlinear restrictions imposed by the orthogonality conditions for matrices elements of the direction cosines of gyroscope axes. By mathematical modeling the algorithmic compensation of methodic errors of gyroscopes is verified.

Optimisation der Orientierung der Gyrotachometer im Block bei der algorithmischen Kompensierung ihrer Fehler

Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe der Bestimmung der Orientierung der Achsen der dreien Gyrotachometer im Block mit Hilfe der Minimierung des quadratischen Kriteriums der Qualität der Übergangsprozesse bei den nichtlinearen Begrenzungen in den Bedingungen der Orthogonalität der Matrixelementen der Führungen der Kosinusachsen der Gyrotachometer gelöst. Durch die Methode der matematischen Modellierung ist die algorithische Kompensation der methodischen Fehler der Gyrotachometer bestätigt.

Optimisation de l'orientation des hydrotachymètres dans un bloc lors de la compensation algorithmique de leurs erreurs

Résumé: Est résolu le problème de la définition de l'orientation des axes de trois hydrotachymètres dans un bloc à l'aide de la minimisation du critère quadratique de la qualité des processus transitoires lors des restrictions non linéaires appliquées par les conditions d'orthogonalité des éléments des matrices des cosinus guidé des axes des hydrotachymètres. Par la méthode du modélage mathématique est affirmée la compensation algorithmique des erreurs méthodiques des hydrotachymètres.

Автор: *Алешкин Валерий Викторович* – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Приборостроение», ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет», г. Саратов.

Рецензент: *Глазков Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы искусственного интеллекта», ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет», г. Саратов.