

ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДВУХРОТОРНОГО СФЕРИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

В.В. Барбашин, к.т.н. В.Ю. Дубницкий
(представил д.т.н., проф. В.С. Харченко)

Получено выражение математического ожидания статической погрешности двухроторного сферического гироскопа на газогидродинамическом подвесе чувствительного элемента с использованием оптического датчика съема информации, определена дисперсия этой погрешности.

При рассмотрении задачи о точности определения ориентирного направления сферическим двухроторным гироскопом на газогидродинамическом подвесе чувствительного элемента было получено выражение, приведенное в работе [1]:

$$\theta = \alpha_{\text{гир}} + \alpha_{\text{г}} + \arcsin \left(\frac{\alpha_{\text{сс}}^*}{b \cdot \text{tg}(2\alpha_{\text{уст}})} \right) + \arcsin \left(\frac{2 \cdot (R + d \cdot \sin(2 \cdot \alpha))}{\sqrt{(b \cdot \text{tg}(2\alpha_{\text{уст}}))^2 - (\alpha_{\text{сс}}^*)^2}} \right), \quad (1)$$

где θ - абсолютная погрешность определения истинного ориентирного направления гироскопическим образом; $\alpha_{\text{гир}}$ - суммарная погрешность гироскопа; $\alpha_{\text{г}}$ - погрешность системы горизонтирования; $\alpha_{\text{сс}}^*$ - погрешность следящей системы; $\alpha_{\text{уст}}$ - угол рассогласования между осями, связанными с корпусом гироскопического прибора и его чувствительным элементом (ЧЭ); α - угол рассогласования за счет не перпендикулярности зеркала ЧЭ гироскопа к оси собственного его вращения; R - радиус отраженного от зеркала ЧЭ светового пятна на светочувствительной поверхности датчика съема информации; b - конструктивный параметр сферического гироскопа; d - конструктивный параметр сферического гироскопа.

В силу того, что в полученном выражении невозможно отделить случайные погрешности от систематических, будем рассматривать каждое из слагаемых, входящих в условие (1), как случайную величину, что соответствует рекомендациям, приведенные в [2].

На основе сведений, приведенных в работе [3], примем, что допустимые значения аргументов функции (1) соответствуют значениям, указанным в таблице.

Учитывая, что $\alpha_{\text{сс}}^*$ есть величина второго порядка малости по сравнению с величиной $b \cdot \text{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})$ получим:

$$\mathbf{b} \cdot \mathbf{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}) - \alpha_{\text{cc}}^* \approx \mathbf{b} \cdot \mathbf{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}), \quad (2)$$

Интервалы изменения параметров определяющих величину статической погрешности сферического гироскопа

Таблица

Обозначение	размерность	диапазоны измерения
α_{cc}^*	м	0 ÷ 0,001
$\alpha_{\text{уст}}$	градусы	0 ÷ 5
α	градусы	0 ÷ 0,004166
\mathbf{R}	м	0 ÷ 0,003
\mathbf{b}	м	0,05 ÷ 0,1
\mathbf{d}	м	0,055 ÷ 0,105

Справедливость этого утверждения подтверждается расчетом, при этом правая и левая части выражения (2) отличаются не более чем на $\mathbf{k} \cdot 10^{-6}$, $\mathbf{k} < 7$. Таким образом, в дальнейшем будем оценивать погрешность определения ориентирного направления сферическим двухроторным гироскопом, с учетом упрощения (2) в виде:

$$\theta = \alpha_{\text{гир}} + \alpha_{\text{г}} + \arcsin \left(\frac{\alpha_{\text{cc}}^*}{\mathbf{b} \cdot \mathbf{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})} \right) + \arcsin \left(\frac{2 \cdot (\mathbf{R} + \mathbf{d} \cdot \sin(2 \cdot \alpha))}{\mathbf{b} \cdot \mathbf{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})} \right). \quad (3)$$

Погрешность θ , являющаяся функцией вида: $\theta = \varphi(\alpha_{\text{гир}}, \alpha_{\text{г}}, \alpha_{\text{cc}}^*, \mathbf{R}, \alpha)$, выполнена по методике принятой для оценки результатов случайных погрешностей косвенного измерения при нелинейной зависимости [1]. В соответствии с этой методикой математическое ожидание погрешности в общем виде запишем как $\mathbf{M}\theta = \varphi(\mathbf{M}\alpha_{\text{гир}}, \mathbf{M}\alpha_{\text{г}}, \mathbf{M}\alpha_{\text{cc}}^*, \mathbf{M}\mathbf{R}, \mathbf{M}\alpha)$.

В нашем случае математическое ожидание результата оценки погрешности определения ориентирного направления сферическим двухроторным гироскопом представим следующим выражением:

$$\mathbf{M}\theta = \mathbf{M}\alpha_{\text{гир}} + \mathbf{M}\alpha_{\text{г}} + \arcsin \left(\frac{\mathbf{M}\alpha_{\text{cc}}^*}{\mathbf{b} \cdot \mathbf{tg}(2 \cdot \mathbf{M}\alpha_{\text{уст}})} \right) + \arcsin \left(\frac{2 \cdot (\mathbf{M}\mathbf{R} + \mathbf{d} \cdot \sin(2 \cdot \mathbf{M}\alpha))}{\mathbf{b} \cdot \mathbf{tg}(2 \cdot \mathbf{M}\alpha_{\text{уст}})} \right). \quad (4)$$

Считая аргументы функции θ статистически независимыми (данный вывод можно сделать исходя из физической сущности процесса определения ориентирного направления гироскопическим способом при помощи сферического двухроторного гироскопа на газогидродинамическом подвесе с использованием оптического датчика съема ин-

формации) среднеквадратическое отклонение величины θ оценим согласно [1] следующим образом:

$$\sigma_{\theta} = \sqrt{\sigma_{\alpha_{\text{гир}}}^2 + \sigma_{\alpha_{\text{Г}}}^2 + \left(\frac{d\theta}{d\alpha_{\text{cc}}^*}\right)_{\text{м}} \sigma_{\alpha_{\text{cc}}^*}^2 + \left(\frac{d\theta}{d\alpha_{\text{уст}}}\right)_{\text{м}} \sigma_{\alpha_{\text{уст}}}^2 + \left(\frac{d\theta}{d\alpha}\right)_{\text{м}} \sigma_{\alpha}^2 + \left(\frac{d\theta}{dR}\right)_{\text{м}} \sigma_{\text{R}}^2}, \quad (5)$$

при этом нижний индекс м означает, что значение соответствующей частной производной вычислено при значениях аргументов, в нее входящих, равным их математическим ожиданиям. Окончательные выражения для соответствующих частных производных примут вид:

$$\frac{d\theta}{d\alpha_{\text{cc}}^*} = \frac{1}{\sqrt{(\mathbf{b} \cdot \text{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}))^2 - (\alpha_{\text{cc}}^*)^2}}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{d\alpha_{\text{уст}}} = & \frac{-2 \cdot \alpha_{\text{cc}}^*}{\sqrt{(\mathbf{b} \cdot \text{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}))^2 - (\alpha_{\text{cc}}^*)^2} \cdot \text{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}) \cdot \cos(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})} + \\ & + \frac{-4(\text{R} + \text{d} \cdot \sin(2 \cdot \alpha))}{\sqrt{(\mathbf{b} \cdot \text{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}))^2 - 4(\text{R} + \text{d} \cdot \sin(2 \cdot \alpha))^2} \cdot \text{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}) \cdot \cos^2(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{d\theta}{d\alpha} = \frac{4 \cdot \text{d} \cdot \cos(2 \cdot \alpha)}{\sqrt{(\mathbf{b} \cdot \text{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}))^2 - 4(\text{R} + \text{d} \cdot \sin(2 \cdot \alpha))^2}}; \quad (8)$$

$$\frac{d\theta}{dR} = \frac{2}{\sqrt{(\mathbf{b} \cdot \text{tg}(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}))^2 - 4(\text{R} + \text{d} \cdot \sin(2 \cdot \alpha))^2}}. \quad (9)$$

Значение среднеквадратических отклонений аргументов, входящих в условие (5), определим следующим образом:

$$\sigma_i = \frac{X_{i_{\text{верх}}} - X_{i_{\text{нижн}}}}{K}, \quad (10)$$

где $X_{i_{\text{верх}}}$, $X_{i_{\text{нижн}}}$ - соответственно верхняя и нижняя границы изменения i -го параметра, величина K , в предположении нормального закона распределения аргументов в условии (1) равным 4 или 6, что соответствует интервалу $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$ соответственно.

Зная значения аргументов выражения θ , приведенных в таблице, и используя выражения (6)÷(10), получим следующие графики среднеквадратического отклонения величины θ (рис.1 ÷ рис.5).

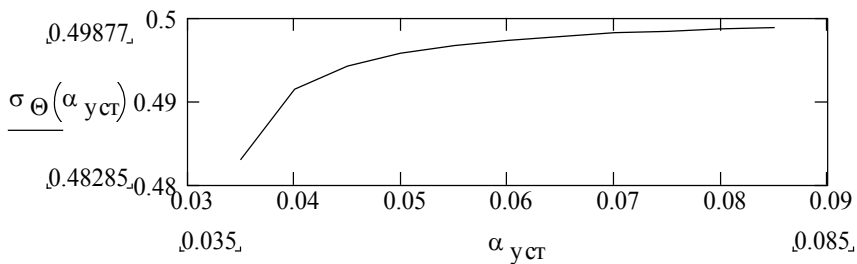


Рис.1. Изменение значения σ_{Θ} в зависимости от изменения величины $\alpha_{уст}$

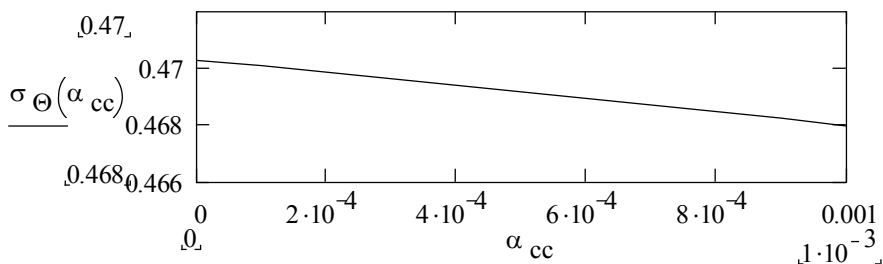


Рис.2. Изменение значения σ_{Θ} в зависимости от изменения величины α_{cc}

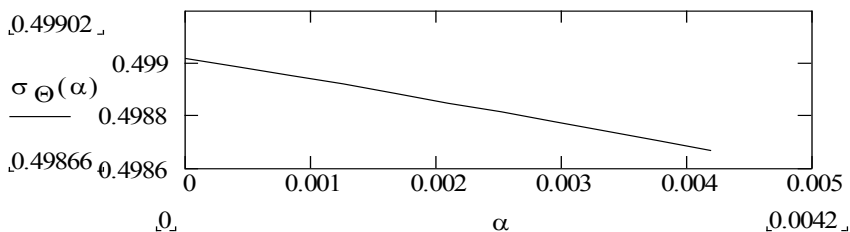


Рис.3. Изменение значения σ_{Θ} в зависимости от изменения величины α

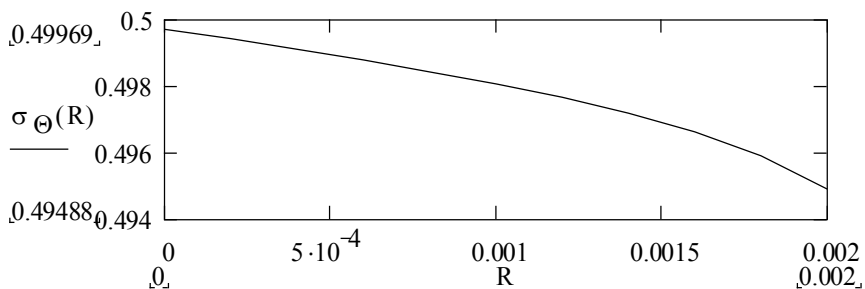


Рис.4. Изменение значения σ_{Θ} в зависимости от изменения величины R

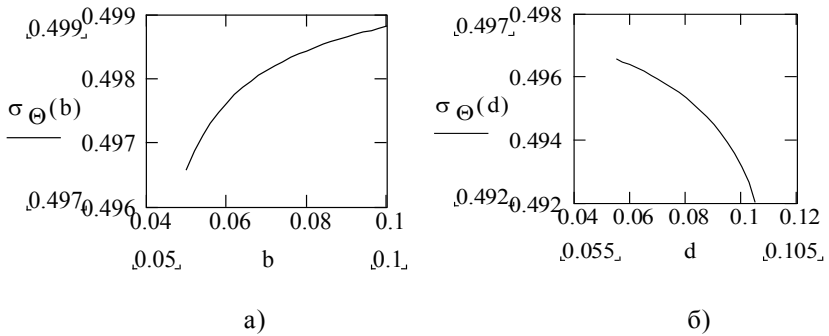


Рис.5. Изменение значения $\sigma\theta$ в зависимости от изменения величины а) конструктивного параметра **b**; б) конструктивного параметра **d**

На основании полученных результатов сделаны выводы.

1. С увеличением $\alpha_{уст}$ и конструктивного параметра сферического гироскопа **b** (при фиксированных погрешностях $\alpha_{гир}$ и α_r) точность определения истинного северного направления (θ) повышается (это видно из рис.1 и рис.5.а), где показаны зависимость $\sigma\theta(\alpha_{уст})$ и $\sigma\theta(b)$ соответственно).

2. С увеличением погрешностей $\alpha_{сс}^*$, α , **R** и конструктивного параметра сферического гироскопа **d** (при фиксированных погрешностях $\alpha_{гир}$ и α_r) точность определения истинного северного направления (θ) понижается (это видно из рис.2, рис.3, рис.4 и рис.5.б), где показаны зависимости $\sigma\theta(\alpha_{сс}^*)$, $\sigma\theta(\alpha)$, $\sigma\theta(R)$ и $\sigma\theta(d)$ соответственно).

ЛИТЕРАТУРА

1. Барбашин В.В. Помилка двухроторного сферичного гіроскопу на газогідродинамічному підвісі у визначенні орієнтирного напрямку гіроскопічним способом. // Збірник наукових праць. Ракетно-космічна техніка. Випуск № 1.- Харьков: ХВУ, 1999.- С. 136 - 139.
2. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е издание,.- Л.: Энергоатомиздат, 1991. - 304 с.
3. Шевченко И.Т., Барбашин В.В. Погрешность двухроторного сферического гироскопа на газодинамическом подвесе в определении ориентирного направления гироскопическим способом // Сборник тезисов докладов по материалам НТК.- Харьков: ХВУ, 1997.