УДК:528.526.6

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]:

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

где θ - абсолютная погрешность определения истинного ориентирного направления гироскопическим образом; $\alpha_{гир}$ - суммарная погрешность гироскопа; $\alpha_г$ - погрешность системы горизонтирования; α^*_{cc} - погрешность следящей системы; $\alpha_{уст}$ - 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 α^*_{cc} есть величина второго порядка малости по сравнению с величиной $b\cdot tg(2\cdot\alpha_{уст})$ получим:

$$\mathbf{b \cdot tg(2 \cdot \alpha_{уст}) - \alpha^{*}_{cc} \approx b \cdot tg(2 \cdot \alpha_{уст})}, \tag{2}$$

Интервалы изменения параметров определяющих величину статической погрешности сферического гироскопа

Таблица

Обозначение	размерность	диапазоны измерения
$\boldsymbol{\alpha^{*}_{cc}}$	м	0 ÷ 0,001
$\boldsymbol{\alpha_{уст}}$	градусы	0 ÷ 5
$\boldsymbol{\alpha}$	градусы	0 ÷ 0,004166
R	м	0 ÷ 0,003
b	м	0,05 ÷ 0,1
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:

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

Погрешность θ, являющаяся функцией вида: $\boldsymbol{\theta = \varphi(\alpha_{гир}, \alpha_{г}, \alpha^{*}_{cc}, R, \alpha)}$, 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 $\boldsymbol{M\theta = \varphi(M\alpha_{гир}, M\alpha_{г}, M\alpha^{*}_{cc}, MR, M\alpha)}$.

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

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

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

$$\sigma\theta = \sqrt{\sigma^2_{\alpha_{\text{гир}}} + \sigma^2_{\alpha_{\text{г}}} + \left(\frac{d\theta}{d\alpha^*_{\text{сс}}}\right)_m \sigma^2_{\alpha^*_{\text{сс}}} + \left(\frac{d\theta}{d\alpha_{\text{уст}}}\right)_m \sigma^2_{\alpha_{\text{уст}}} + \left(\frac{d\theta}{d\alpha}\right)_m \sigma^2_{\alpha} + \left(\frac{d\theta}{dR}\right)_m \sigma^2_{R}}\,, \qquad (5)$$

при этом нижний индекс **m** 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:

$$\frac{d\theta}{d\alpha^*_{\text{сс}}} = \frac{1}{\sqrt{\left(b \cdot tg(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})\right)^2 - (\alpha^*_{\text{сс}})^2}}\,; \qquad (6)$$

$$\frac{d\theta}{d\alpha_{\text{уст}}} = \frac{-2 \cdot \alpha^*_{\text{сс}}}{\sqrt{\left(b \cdot tg(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})\right)^2 - (\alpha^*_{\text{сс}})^2} \cdot tg(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}) \cdot \cos(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})} + \\ + \frac{-4(R + d \cdot \sin(2 \cdot \alpha))}{\sqrt{\left(b \cdot tg(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})\right)^2 - 4(R + d \cdot \sin(2 \cdot \alpha))^2} \cdot tg\,(2 \cdot \alpha_{\text{уст}}) \cdot \cos^2(2 \cdot \alpha_{\text{уст}})}\,; \qquad (7)$$

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

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

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

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

где $X_{i\,\text{верх}}$, $X_{i\,\text{нижн}}$ - соответственно верхняя и нижняя границы изменения **i** - го параметра, величина **К**, 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).

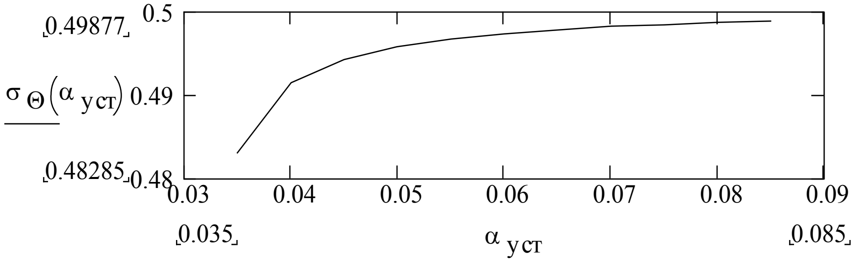


Рис.1. Изменение значения **σθ** в зависимости от изменения величины $\boldsymbol{\alpha}_{уст}$

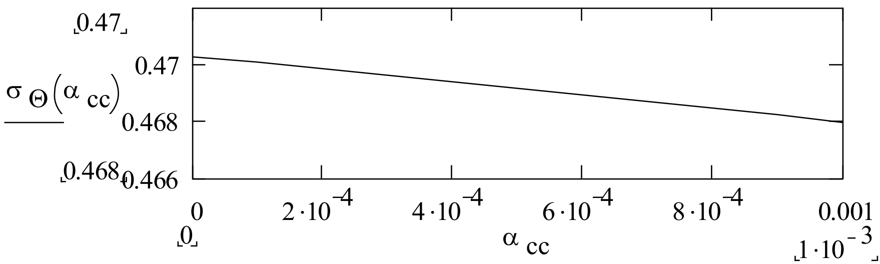


Рис.2. Изменение значения **σθ** в зависимости от изменения величины $\boldsymbol{\alpha}_{сс}$

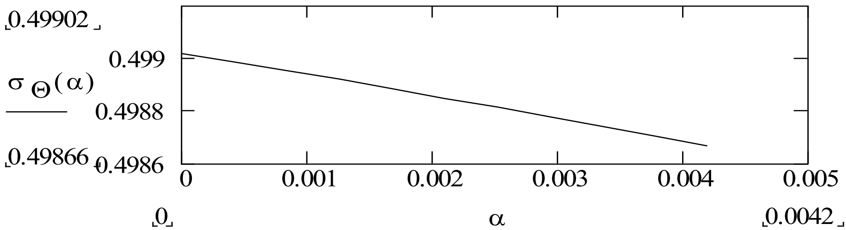


Рис.3. Изменение значения **σθ** в зависимости от изменения величины **α**

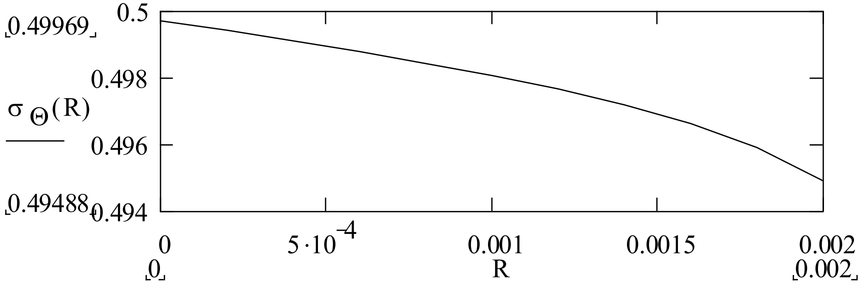
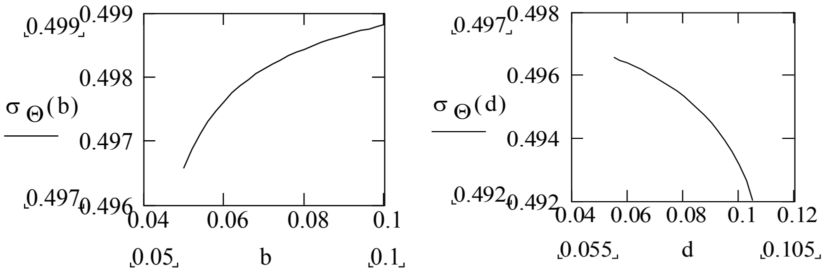


Рис.4. Изменение значения **σθ** в зависимости от изменения величины **R**



а) б)

Рис.5. Изменение значения **σθ** 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 $\alpha_{г}$) точность определения истинного северного направления **(θ)** повышается (это видно из рис.1 и рис.5.а), где показаны зависимость $\sigma\theta(\alpha_{уст})$ и **σθ(b)** соответственно).

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Барбашин В.В. Помилка двухроторного сферичного гіроскопу на газогідродинамічному підвісі у визначенні ориентирного 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.