

Исследование наблюдаемости ошибки азимутального ориентирования и инструментальных погрешностей трехосного гиростабилизатора инерциальной системы ориентации радиотелескопа

77-30569/327254

03, март 2012

Егоров Ю. Г., Смирнов С. В.

УДК 529.17.06

МГТУ имени Н.Э. Баумана

egoroviu2@yandex.ru

ins10@mail.ru

Для непрерывного определения положения зеркальной системы радиотелескопа в режиме измерений предложена оригинальная инерциальная система ориентации на базе трехосного гиростабилизатора [1].

В инерциальных системах ориентации, построенных на базе трехосных гиростабилизаторов, для азимутальной выставки или коррекции азимутального положения могут применяться методы автономного азимутального ориентирования, использующие только внутреннюю автономную измерительную информацию. В инерциальных системах ориентации, в которых основным режимом работы трехосного гиростабилизатора является режим приведения гиروطформы в плоскость горизонта [1, 2, 3], автономное азимутальное ориентирования или коррекцию азимутального положения гиروطформы целесообразно осуществлять путем измерения токов в каналах горизонтального приведения гиروطформы.

Ошибки азимутального ориентирования гиروطформы при применении данного способа автономного азимутального ориентирования в основном зависят от инструментальных погрешностей трехосного гиростабилизатора (ТГС), а именно: ошибок чувствительных элементов и отклонений масштабных коэффициентов в каналах приведения; ошибок выставки гироблоков и акселерометров на гиروطформе; уходов гиروطформы; динамических ошибок в каналах приведения.

Для исключения (минимизации) влияния инструментальных погрешностей ТГС на точность решения задачи автономного азимутального ориентирования применяют

измерения токов в каналах горизонтального приведения при нескольких различных азимутальных положениях гиросплатформы. Методы автономного азимутального ориентирования с использованием нескольких измерительных положений имеют ряд существенных недостатков, в основном связанных с необходимостью проведения быстрых разворотов гиросплатформы в измерительные положения. Данных недостатков лишены способы автономного азимутального ориентирования, использующие непрерывное вращение гиросплатформы [4].

В связи с этим целью работы является исследование условия наблюдаемости ошибки азимутального ориентирования и инструментальных погрешностей трехосного гиросtabilизатора в способе автономного азимутального ориентирования по измерениям токов в каналах горизонтального приведения с вращением гиросплатформы в азимуте путем применения командной прецессии. Результаты данных исследований использованы для построения рационального прецизионного алгоритма азимутального ориентирования по рассматриваемому способу.

В процессе автономного азимутального ориентирования трехосный гиросtabilизатор находится по горизонтальным каналам в режиме приведения, а по азимутальному каналу — в режиме стабилизации с командной прецессией, обеспечивающей вращение гиросплатформы в азимуте.

Ошибку ориентирования гиросплатформы в этом случае удобно задавать вектором малого поворота $\bar{\psi}$, характеризующим малое отклонение в положении гиросплатформы от модельного. Модельный (расчетный) трехгранник описывает движение приборного трехгранника (связанного с осями гиросплатформы) относительно географического трехгранника в предположении отсутствия инструментальных погрешностей ТГС.

За измерения в системе азимутального ориентирования удобно принять вектор $\partial \bar{I}(t) = [\partial I_1(t) \ \partial I_3(t)]^T$, в котором $\partial I_1(t)$, $\partial I_3(t)$ – отклонения токов в каналах горизонтального приведения от расчетных значений в процессе вращения гиросплатформы по азимуту.

Тогда на основе прецессионной теории уравнения состояния и наблюдений системы автономного азимутального ориентирования гиросплатформы по измерениям токов в каналах горизонтального приведения с вращением гиросплатформы в азимуте можно представить следующей парой:

$$\begin{aligned}\dot{\bar{\psi}} &= A_{\psi} \bar{\psi} + \delta \bar{v} \\ \partial \bar{I} &= H(A, V_2, t) \bar{X} + \bar{w}(t)\end{aligned}$$

где:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{\psi} \\ \bar{X}_H \end{bmatrix} - \text{вектор состояния};$$

$$\bar{\psi} = [\psi_x \quad \psi_y \quad \psi_z]^T - \text{вектор ошибок ориентирования гиросплатформы};$$

$\bar{X}_H = [\omega_o^1 \quad \omega_o^2 \quad \omega_o^3 \quad \delta k_1 \quad \delta k_2 \quad \delta k_3 \quad \gamma_1^3 \quad \gamma_3^1 \quad \chi_1^3 \quad \chi_3^1 \quad \gamma_{13}]^T$ – вектор инструментальных погрешностей ТГС; $\omega_o^1, \omega_o^2, \omega_o^3$ – составляющие ухода гиросплатформы по соответствующим осям; $\delta k_1, \delta k_3$ – ошибки в соответствующих каналах горизонтального приведения; δk_2 – ошибка в канале управления азимутальной прецессией; $\gamma_1^3, \gamma_3^1, \chi_1^3, \chi_3^1$ – углы выставки горизонтальных гироскопов и акселерометров относительно плоскости гиросплатформы; γ_{13} – угол неперпендикулярности входных осей горизонтальных гироскопов в горизонтальной плоскости;

$\bar{W}$ – вектор, характеризующий интенсивность измерительного шума в каналах горизонтального приведения гиросплатформы;

A_ψ – кососимметрическая матрица, образованная составляющими угловой скорости движения приборного трехгранника относительно географического;

$\delta \bar{v} = [\delta v_1 \quad \delta v_2 \quad \delta v_3]^T$ – вектор ошибок угловой скорости движения приборного трехгранника: δv_1 – ошибка угловой скорости по азимутальному каналу, $\delta v_2, \delta v_3$ – ошибки угловой скорости приведения гиросплатформы в горизонт;

$H(A, V_2, t)$ – матрица измерений размерности 2×15 , зависящая от первоначальной выставки гиросплатформы A , закона управления движением гиросплатформы $V_2(t)$ и времени t .

Исследование наблюдаемости ошибки азимутального ориентирования ψ_y и инструментальных погрешностей ТГС (вектора $\bar{X}_H$) было проведено с использованием интегрального критерия для непрерывных динамических систем [5], связанного с исследованием невырожденности матрицы $\int_0^t \Phi^T(t, t_0) H^T(t) H(t) \Phi(t, t_0) dt$, в которой $\Phi(t, t_0)$ – переходная матрица системы.

Время интегрирования t соответствовало времени полного оборота гиросплатформы по азимуту. Исследовались условия наблюдаемости при постоянном значении угловой скорости вращения гиросплатформы и для случая переменной угловой скорости вращения

гироплатформы $V_2(t)$. Результаты исследования наблюдаемости ошибок ориентирования гироплатформы и составляющих вектора инструментальных погрешностей представлены в таблице.

Видно, что ошибка азимутального ориентирования гироплатформы ψ_y наблюдаема полностью (отмечена знаком “плюс”), а остальные параметры или также полностью наблюдаемы, или наблюдаемы в линейной комбинации друг с другом (отмечены номерами параметров, входящих в линейную комбинацию). Кроме того, переменная скорость командной прецессии гироплатформы $V_2(t)$ вокруг вертикальной оси позволяет увеличить количество отдельно наблюдаемых параметров.

Таблица

Результаты исследования наблюдаемости

Управ- ление $V_2(t)$	Параметр													
	ψ_x	ψ_y	ψ_z	γ_{13}	γ_1^3	γ_3^1	χ_1^3	χ_3^1	δk_1	δk_2	δk_3	ω_{d1}	ω_{d2}	ω_{d3}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Пост.	1		3		3	1	3	1				3		1
	6	+	5	+	5	6	5	6	+	10	+	5	10	6
	8		7		7	8	7	8		13		7	13	8
	14		12		12	14	12	14				12		14
Перем.	1		3		3	1	3	1						
	6	+	5	+	5	6	5	6	+	+	+	+	+	+
	8		7		7	8	7	8						

Полученные результаты исследования наблюдаемости ошибки азимутального ориентирования и инструментальных погрешностей ТГС показали потенциально высокую эффективность применения метода автономного азимутального ориентирования по измерениям токов в каналах горизонтального приведения с вращением гироплатформы в азимуте и являются основой для построения прецизионного алгоритма азимутального ориентирования и исследования его погрешностей.

Список литературы

1. Артеменко Ю.Н., Егоров Ю.Г., Парщиков А.А., Смирнов С.В. Инерциальная система ориентации зеркальной системы радиотелескопа // Гироскопия и навигация. 2006. №4(55). С. 89.
2. Егоров Ю.Г., Смирнов С.В. Ошибки ориентирования зеркальной системы радиотелескопа // Труды XXXI академических чтений по космонавтике / Под общей редакцией А.К. Медведевой. М.: Комиссия РАН, 2007. С. 313.

3. Егоров Ю.Г., Смирнов С.В. Конструкция и основные характеристики инерциальной системы ориентации зеркальной системы радиотелескопа // Труды XXXI академических чтений по космонавтике / Под общей редакцией А.К. Медведевой. М.: Комиссия РАН, 2007. С. 313-314.
4. Егоров Ю.Г. Способ выставки и калибровки инерциальной навигационной системы. АС СССР №18299577, 1992. 21 с.
5. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского М.: Наука, Гл.ред.физ-мат.лит, 1987. 712 с.

Observability research of the azimuthal orientation error and instrumental errors of the three-axis gyrostabilizer of the radio telescope inertial orientation system

77-30569/327254

03, March 2012

Egorov Yu.G., Smirnov S.V.

Bauman Moscow State Technical University

egoroviu2@yandex.ru

ins10@mail.ru

The radio telescope inertial orientation system is based on using the method of autonomous azimuthal orientation by means of currents measured in horizontal correction channels with the azimuthal rotation of the gyroplatform. The authors studied observability conditions of azimuthal orientation error and instrumental errors of a three-axis gyrostabilizer with constant and variable command precession around vertical axis.

Publications with keywords: [observability](#), [azimuthal orientation error](#), [instrumental errors](#), [triaxial gyrostabilizer](#), [inertial orientation system](#)

Publications with words: [observability](#), [azimuthal orientation error](#), [instrumental errors](#), [triaxial gyrostabilizer](#), [inertial orientation system](#)

References

1. Artemenko Iu.N., Egorov Iu.G., Parshchikov A.A., Smirnov S.V. Inertsial'naiia sistema orientatsii zerkal'noi sistemy radioteleskopa [Inertial orientation of the mirror radiotelescope]. *Giroskopiia i navigatsiia*, 2006, no. 4 (55), p. 89.
2. Egorov Iu.G., Smirnov S.V. Oshibki orientirovaniia zerkal'noi sistemy radioteleskopa [Orientation errors of the mirror radiotelescope]. *Trudy 31 Akad. chtenii po kosmonavtike* [Proc. 31st Acad. Readings on Astronautics]. Moscow, RAS Commission Publ., 2007, p. 313.
3. Egorov Iu.G., Smirnov S.V. Konstruktsiia i osnovnye kharakteristiki inertsial'noi sistemy orientatsii zerkal'noi sistemy radioteleskopa [Design and main characteristics of an inertial guidance system of a mirror radiotelescope]. *Trudy 31 Akad. chtenii po kosmonavtike* [Proc. 31st Acad. Readings on Astronautics]. Moscow, RAS Commission Publ., 2007, pp. 313-314.
4. Egorov Iu.G. *Sposob vystavki i kalibrovki inertsial'noi navigatsionnoi sistemy* [Method of placing and calibration of an inertial navigation system]. USSR Author's Certif., no. 18299577, 1992.
5. Aleksandrov A.G., Artem'ev V.M., Afanas'ev V.I., Ashimov A.A., Beloglazov I.I., Zemliakov S.N., e.a. *Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniia* [Guide to the theory of automatic control]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 712 p.