

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИЛОВЫМ ГИРОСКОПИЧЕСКИМ ПРИБОРАМ МАНЁВРЕННОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Для силовых гироскопических приборов манёвренного космического аппарата (КА) определяющими являются требования, обеспечивающие выполнение программного углового движения КА на маршрутах непосредственной работы целевой аппаратуры (режим сканирования) и участках перехода от одного маршрута к следующему (режим переориентации).

Выполнение этих задач подтверждается отклонениями в пределах допуска фактических значений параметров углового движения по углу $\delta\varphi$ и угловой скорости $\delta\omega$ от их программных значений для требуемого диапазона изменения параметров ω_p , ε_p , θ_p , где ω_p , ε_p – векторы программной угловой скорости и углового ускорения, θ_p – производная программного ускорения по времени. При этом имеется в виду, что ограничения на угловое положение связанного с КА базиса S отсутствуют.

Применительно к двухстепенным силовым гироскопическим приборам (гиродинам) ограничение $\delta\varphi$, $\delta\omega$ в пределах допуска обеспечивается значениями кинетического момента ротора H , диапазоном значений скорости вращения оси подвеса гиromотора ω , точностью отработки ω заданной скорости ω , точностью измерения положения оси подвеса гиromотора $\delta\vartheta$.

В число обобщённых характеристик гиросистемы из n гиродинов входит область вариации управляющего момента (ОВУМ) [1] для текущего значения вектора углов поворота оси подвеса гиromотора $\beta = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n]$. В силу большого количества ОВУМ и наличия особых значений вектора $\beta(\beta^*)$ [2], при которых возможности по созданию управляющих моментов ограничиваются, воспользоваться ОВУМ затруднительно. Необходимо проведение расчётов, упрощённая схема которых отражена для гиросистемы из четырёх гиродинов ($n = 4$), где два гиродина создают управляющий момент по осям X , Y базиса S , а два других гиродина – по осям X и Z . Принимается также условие, что степень участия первой и второй пары гиродинов в создании управляющего момента по оси X одинакова. Это позволяет при определении динамического изменения требуемых значений ω рассматривать одну пару гиродинов, создающую моменты по осям X , Z . Рассматривается случай, когда наименьшим из осевых моментов инерции J_X, J_Y, J_Z является момент J_Y , при этом $J_X = J_Z = J$.

Для текущего значения $\beta = [\beta_1, \beta_2]$ требуемые значения вектора $u = [u_1, u_2]$ определяются из соотношения: $A \cdot u = m$,

где
$$A = \begin{bmatrix} \sin \beta_1 & \sin \beta_2 \\ \cos \beta_1 & \cos \beta_2 \end{bmatrix}, \quad m = \begin{bmatrix} 0,5 \cdot m_0 \cdot \cos \varphi \\ -m_0 \cdot \sin \varphi \end{bmatrix},$$

$m_0 = J \cdot \varepsilon_0 / H$, φ – угол в плоскости OXZ , определяющий требуемое направление управляющего момента, $\varepsilon_0 = |\varepsilon_p|$ – модуль вектора программного ускорения. Углы β_1, β_2 , соответствующие рассматриваемой паре гиродинов, и угол φ отсчитываются от оси X .

При синхронизации работы алгоритмов управления и аппаратуры системы управления с помощью синхроимпульсов «1 Гц» для периода T_0 , в течение которого заданное значение u является постоянным, рассматриваются значения, кратные 1 с; 0,1 с; 0,125 с; 0,2 с; 0,25 с.

На рис. 1 показаны зависимости максимального значения требуемой скорости $u_m = \max(|u_1|, |u_2|)$ для $m = 0,5 \text{ с}^{-1}$ при движении вектора β от начального состояния $\beta_1 = -\beta_2 = \frac{\pi}{4}$ к конечному, которое характеризует приближение к параллельному или антипараллельному расположению кинетических моментов и определяется с помощью условий вида:

$$|\sin(\beta_1 - \beta_2)| < \delta_1 \text{ и } \cos(\beta_1 - \beta_2) > 0, \quad (1)$$

$$|\sin(\beta_1 - \beta_2)| < \delta_2 \text{ и } \cos(\beta_1 - \beta_2) < 0. \quad (2)$$

где $\delta_1 = 0,4$, $\delta_2 = 0,6$.

На рис. 2-5 представлено изменение во времени значений u_1, u_2 при значениях $\varphi = 13^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$ с выполнением в первом случае условия (1), во втором – условия (2).

Выполненные расчёты показывают, что при смене знака ускорения КА в момент перехода от набора скорости КА к её уменьшению разрыв в требуемых значениях скорости и при скачкообразном их изменении может достигать 2 рад/с.

Для реализации сканирования без переходного процесса после переориентации КА желательно организовать участок постоянного снижения значения ε_0 , т. е. с ограничением величины $\Delta u = u(t) - u(t - T_0)$, а также аналогичные участки при наборе максимального значения ε_0 . Длительность таких участков при длительности процессов, показанных на рис. 2-5 (со скачкообразным изменением величины ε_0 в начале процесса), оценивается от 0,5 до 1 с.

Анализ показывает, что определение погрешности управления моментом в виде

относительной погрешности отработки заданной скорости u на интервале осреднения, который исчисляется секундами, не отвечает задачам точной отработки программного углового движения КА.

При задании, например, в моменты времени t_i с интервалом $T_0 = t_{i+1} - t_i = 0,125$ с, значений скорости $0, \frac{1}{7}u_d, \frac{2}{7}u_d, \dots, u_d$ и затем этих же значений в обратной последовательности в моменты времени $t_i + T_0$ должно выполняться неравенство

$$|\Delta\beta_i - \Delta\beta_o| \leq \delta\beta,$$

где $\Delta\beta_i = \beta(t_i + T_0) - \beta(t_i)$, $\Delta\beta_o = u(t_i) \cdot T_0$, $u_d = 56$ град/с (рис. 2, 3), $u_d = 2$ град/с (рис. 4-5), $\delta\beta = 180^\circ$ при $u_d = 56$ град/с, $\delta\beta = 18^\circ$ при $u_d = 2$ град/с.

Таким образом, соответствие гироскопических приборов рассмотренным задачам может быть проверено с помощью двух тестовых примеров, один из которых отражает динамику изменения заданной скорости u в режиме переориентации, другой – в режиме сканирования. Допустимая погрешность рассматривается в виде отклонения углового перемещения оси подвеса гиromотора на одном периоде циклической работы прибора от перемещения, соответствующего заданной скорости на этом же интервале времени.

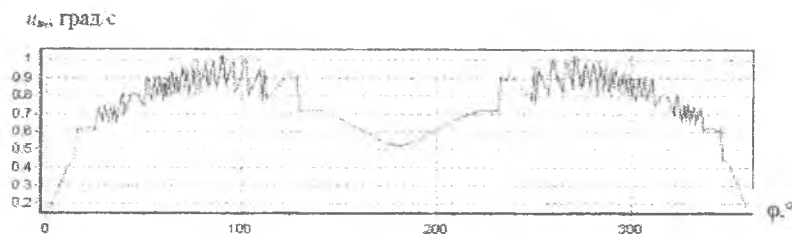


Рис. 1. Зависимость максимальных значений скорости u от угла φ

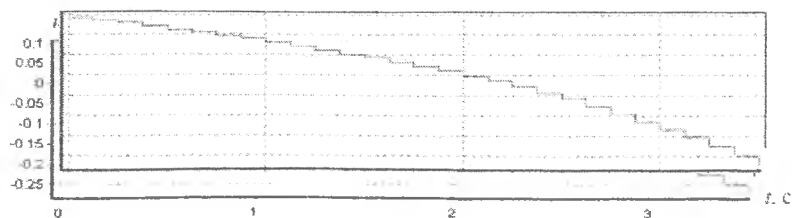


Рис. 2. Изменение во времени значений u_1 при значениях $\varphi = 13^\circ$ при условии (1) для угла φ

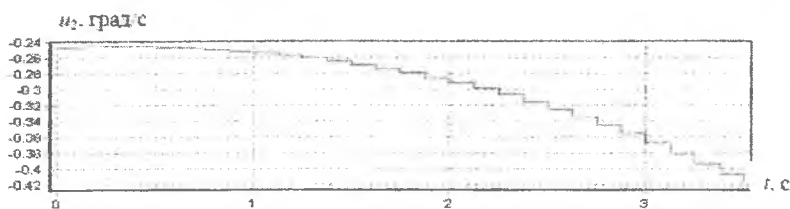


Рис. 3. Изменение во времени значений u_2 при значениях $\varphi = 13^\circ$ при условии (1) для угла φ

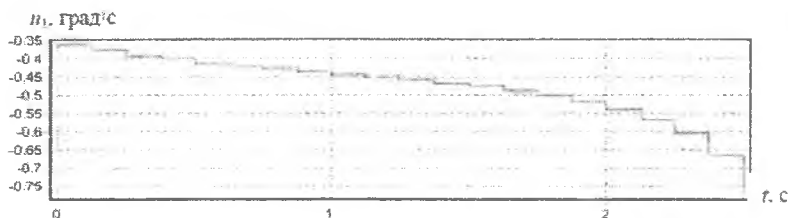


Рис. 4. Изменение во времени значений u_1 при значениях $\varphi = 90^\circ$ при условии (2) для угла φ

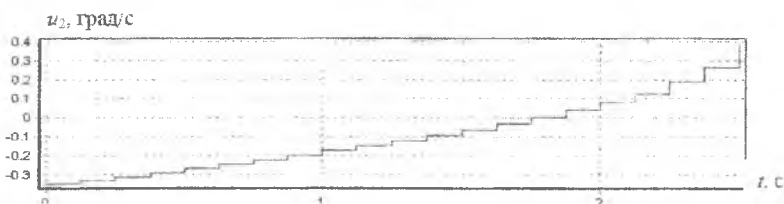


Рис. 5. Изменение во времени значений u_2 при значениях $\varphi = 90^\circ$ при условии (2) для угла φ

Библиографический список

1. Васильев, В.Н. Обобщенные характеристики гиросиловых систем управления [Текст]/ В.Н. Васильев, Д.М. Вейнберг, С.И. Злочевский // Космич. исслед. – 1991. – Т. 29. – Вып. 2.
2. Токарь, Е.Н. Критерий настройки гиросиловых систем [Текст]/ Е.Н. Токарь, // Космич. исслед. – 1980. – Т. 18. – Вып. 3.