УДК 629.78

<u>ГУДЗЕНКО А.В.,</u>* *УСПЕНСКИЙ В.Б., канд. техн. наук

АНАЛИЗ НАБЛЮДАЕМОСТИ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПРИСОЕДИНЕННЫМИ УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В настоящее время к системам управления ориентацией космических летательных аппаратов (КЛА) предъявляются чрезвычайно высокие требования по точности переориентации и стабилизации углового положения. Для удовлетворения таким требованиям в законах управления ориентацией желательно учитывать влияние упругих элементов на динамику центрального ядра аппарата. Одним из способов такого учета является реализация в бортовом вычислителе алгоритмов наблюдающего устройства или фильтра Калмана.

Необходимым условием эффективной работы алгоритмов оценивания является наблюдаемость переменных вектора состояния, в том числе и характеризующих колебания упругих элементов. Учитывая сложность математической модели современного КЛА с упругими элементами проанализировать наблюдаемость полного вектора состояния не представляется возможным. В данной работе проводится такой анализ для упрощенной модели по специально разработанной методике. На основании полученных результатов сделаны обобщающие выводы, которые могут быть полезными при анализе и синтезе систем управления ориентацией современных КЛА.

Рассматривается одноосное вращения КЛА, представляющего собой жесткое центральное ядро с двумя парами симметрично присоединенных упругих элементов в виде однородных стержней с консольной заделкой.

Динамические уравнения имеют вид:

$$\begin{cases} I\dot{\omega} + L\ddot{\bar{x}} = \bar{M}_y \\ \ddot{\bar{x}} + K\dot{\bar{x}} + C\bar{x} = Q\dot{\omega} \end{cases}, \qquad (1)$$

где x – двухмерный вектор деформации упругих элементов, ω – угловая скорость, I– осевой момент инерции, L– матрица влияния упругих элементов на динамику жесткого ядра, M_y– управляющий момент, K– матрица коэффициентов демпфирования, C– матрица квадратов собственных частот колебаний, Q – матрица влияния движения жесткого ядра на динамику упругих элементов.

Измерением в данной задаче является угловая скорость ω. Для анализа наблюдаемости вектора состояния, представляющего собой вектор $y = (\omega; x_1; \dot{x}_1; x_2; \dot{x}_2)$, воспользуемся известным критерием, в соответствии с которым система будет вполне наблюдаемой, если ранг матрицы наблюдаемости

$$Q_n = (P^T \quad A^T P^T \quad A^{2^T} P^T \quad \dots \quad A^{(n-1)^T} P^T), \qquad (2)$$

в которой P – матрица измерений, A – матрица системы (1), приведенной к форме Коши, равен n - размерности вектора состояния.

Наблюдаемость вектора состояния, вообще говоря, - это структурное свойство системы, поэтому его анализ желательно проводить в аналитическом виде. Однако получить аналитические выражения для миноров матрицы наблюдаемости в системах высокого порядка оказывается затруднительным. Поэтому предлагается численная методика анализа параметрической наблюдаемости, применимая, вообще говоря, для задач любой размерности. Она состоит в вычислении и сравнении с нулем всех миноров матрицы Q_n. Корректность использования численной методики обусловлена тем, что если при каком-либо наборе параметров вектор состояния наблюдаем, то система структурно наблюдаема. Недостатком численной методики является неопределенность «вычислительного нуля», и это усложняет анализ ранга матрицы Q_n. Для преодоления указанного недостатка в работе предлагается специальная процедура.

Исследуется зависимость наблюдаемости вектора состояния от параметров упругих элементов. С этой целью все параметры упругих элементов, кроме одного, фиксируются, и численно строится зависимость миноров матрицы Q_n от варьируемого параметра. По поведению этой зависимости можно сделать вывод о параметрической наблюдаемости вектора состояния и о степени наблюдаемости в зависимости от варьируемого параметра системы.