При подобном подходе каждая из выбранных концептуальных схем вводит в рассмотрение новый аспект бортового оборудования спутниковой системы и по каждому из этих аспектов проводится дальнейшая генерация альтернатив, число которых возрастает в геометрической прогрессии. При этом каждое из вновь образующихся пространств альтернатив является более конкретным по сравнению с предыдущим типом технических решений, при абсолютном сохранении целостности проектируемой системы.

Процесс проектирования заканчивается выбором из последнего пространства альтернатив такого варианта, который удовлетворяет выставленным критериям.

Предлагаемый метод позволяет не только структуризовать и упорядочить процессы выработки технических решений, но и ставить задачи по их программной поддержке.

УДК 629.78.021.7

Ю.Н.Горелов

КОНЦЕПЦИЯ ЛОКАЛЬНО-АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УПРУГИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

1. Введение. Упругие КА и крупногабаритные космические конструкции (КГКК) представляют собой механические системы с распределенными параметрами. Исследования в области динамики и процессов управления состоянием таких объектов с учетом существующих тенденций развития космической техники являются актуальными. Имеющиеся к настоящему времени здесь результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют указать на комплексный характер проблем динамики и управления движением упругих КА и КГКК, поскольку для своего разрешения они требуют привлечения методов и средств различных научных и технических дисциплин /1,2/. Наиболее сложными, в силу непосредственной связи с решением ряда задач динамики упругих КА и КГКК, являются вопросы управления их движением. И хотя к настоящему времени уже существуют обстоятельные подходы и теоретические основы их разрешения /1-5/, тем не менее в теории управления состоянием или, более узко, упругими

колебаниями КА или КГКК пока еще не сформулированы приемлемые концепции, в максимальной степени учитывающие и основные особенности динамики упругих КА и КГКК как систем с распределенными параметрами, и имеющиеся особенности задач управления ими. Поэтому настоящая статья посвящена изложению одной такой концепции – концепции локально-автономного управления движением или упругими колебаниями КГКК, развивавшейся в работах автора /6,8/.

2.Основная задача управления. Стандартные уравнения возмущенного движения упругого КА имеют вид /5/:

$$M \frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial t^2} = L\,\bar{\varphi} + B\,\bar{u} + D\,\xi\ , \tag{1}$$

где $\bar{u}$ – вектор управляющих параметров, ξ – вектор внешних возмущений, $\bar{\varphi}(\bar{r},t)$ – вектор-функция, определенная на пространственной базе объекта управления – P, $\forall\,\bar{r} \in P$, характеризующая его текущее состояние и удовлетворяющая некоторым граничным условиям /5/:

$$\Gamma\ \varphi(\gamma,t) = 0\ , \qquad \gamma = \mathbf{r} \in \partial P\ , \tag{2}$$

а также соответствующим начальным условиям $\forall\,\bar{r} \in P$ при $t=t_0$.

Переходя к формулировке основной задачи управления движением упругого КА, выделим какой-либо фрагмент его пространственной базы – $P_f \subseteq P$ – в связи с невозможностью полного измерения текущего состояния – $\bar{\varphi}(\bar{r},t)$, $\partial\bar{\varphi}(\bar{r},t)/\partial t$ /5/ – и введем в рассмотрение некоторый неотрицательно определенный функционал $I_t \cong I(\bar{\varphi}(\bar{r},t),\partial\bar{\varphi}(\bar{r},t)/\partial t,t)$, вычисляемый в пределах пространственной базы этого фрагмента.

Тогда основная задача управления состоянием упругого КА или КГКК заключается в минимизации функционала I_T для заданного $t_0 < T \le \infty$.

В общем случае пространственная база P_f может быть многосвязной, то есть $P_f = \bigcup\limits_{i=0}^{N} P_f^i$, где $P_f^i \cap P_f^j = \varnothing$, $\forall i,j=\overline{1,N}$ $(i \neq j)$. Если при этом для каждого фрагмента P_f^i управление формируется только по результатам измерения его текущего состояния, то тогда такое управление является локальным, а основная задача управления упругим КА – задачей локального управления.

3.Парциальные математические модели упругих КА и КГКК. В рамках основной задачи управления упругими КА или КГКК следует соответствующим образом модифицировать граничные условия (2). Вместо них для уравнения (I) необходимо ввести новые граничные условия, которые согласно принципу освобождаемости от связей будут иметь вид:

$$\Gamma_f\ \varphi(\gamma_f, t) = R_f, \qquad \gamma_f = r \in \partial P_f,$$

где R_f – расширенный вектор дополнительных граничных реакций со стороны "отброшенной" части конструкции, обусловленных наличием упругих деформаций. Следует также перенести граничные возмущения $\bar{R}_f$ в правую часть уравнения состояния (I), (рассматриваемого здесь только для $\forall\ \bar{r} \in P_f$), включая их в состав "внешних" воздействий ξ в виде возмущений $\bar{\rho}_f$. Тогда уравнения возмущенного движения фрагмента с пространственной базой P_f будут иметь вид:

$$M_{(f)}\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} = L_{(f)}\bar{\varphi} + B_{(f)}\bar{u}_f + D_{(f)}\bar{\rho}_f\ ,\ \forall\ \bar{r} \in P_f \qquad (3)$$

с однородными граничными условиями:

$$\Gamma_{f0}\ \varphi(\gamma_f, t) = 0\ , \qquad \gamma_f = r \in \partial P_f\ , \qquad (4)$$

и соответствующими начальными условиями $\forall\ \bar{r} \in P_f$ при $t=t_0$.

Если математическую модель (4), (5) замкнуть уравнением измерения текущего состояния фрагмента:

$$y_f(t)=\int_{P_f} K(r,t)\ \varphi(r,t)\ dP_f\ , \qquad (5)$$

где $K(\bar{r},t)$ – матрица, характеризующая способ измерения /5/, то тогда (3)-(5) – суть парциальная математическая модель упругого КА или КГКК /8/, которая позволяет построить новый класс конечномерных математических моделей упругих КА или КГКК /8,9/.

4. <u>Принцип квазизатвердевания – концептуальная основа теории управления движением упругих КА и КГКК</u>. В /6,7/ автором впервые были сформулированы условия квазизатвердевания упругого КА, которые заключаются в достижении в рамках основной задачи управления ограниченности дополнительных реакций – $\|\bar{R}_f\| \le \varepsilon$, где ε – некоторая постоянная. При выполнении условия $\varepsilon \to 0$ локальные регуляторы упругого КА или КГКК реализуют условия автономности, а точнее, по А.М.Летову – условия ε-автономности для односвязных фрагментов пространственной базы $P_f \subset P$, поэтому такие локальные регуляторы были названы локально-автономными регуляторами /8/. Их введение в теорию управления движением упругих КА обусловлено в первую очередь тем, что пространственные базы их управления и измерения /5/ – существенно ограниченны. Соответственно, концепция локально-автономного управления, базирующаяся на принципах ло-

кального управления и квазизатвердевания упругого КА или КГКК, оказывается естественной концепцией в теории управления такими объектами. Вместе с новым классом математических моделей она позволяет пересмотреть традиционные постановки задач управления движением или упругими колебаниями КА и КГКК, что приводит к разрешению ряда проблемных вопросов теории централизованного (или сосредоточенного) управления упругими КА. Кроме того, в рамках изложенной здесь концепции теории управления движением упругих КА получают свое решение задачи, связанные с проектированием и применением локальных регуляторов для формирования требуемых динамических свойств упругих КА и КГКК.

Список литературы

1. Белоцерковский С.М. и др. Введение в аэроавтоупругость. - М.: Наука, 1980. - 384 с.

2. Нур Г.С., Райан Р.С., Скофилд Х.Н., Симс Дж.Л. Динамика больших космических конструкций и управление ими //Аэрокосмическая техника, Т3, N:6, 1985, С.129-147.

3. Синяков А.Н. Системы управления упругими подвижными объектами. - Л.:Изд-во ЛГУ, 1981. - 200 с.

4. Рутковский В.Ю., Суханов В.М. Алгоритмы управления ориентацией деформируемых спутников с использованием информации о фазе упругих колебаний //Управление в пространстве. Т.2. М.:Наука, 1976. С.297-305.

5. Дегтярев Г.Л., Сиразетдинов Т.К. Теоретические основы оптимального управления упругими космическими аппаратами.- М.:Машиностроение, 1986. - 216 с.

6. Бочкарев А.Ф., Горелов Ю.Н., Титов Б.А. Об одном подходе к решению задачи управления ориентацией упругих космических аппаратов //Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации. 1983г.,1984г. М.:Наука, 1985. С.105-107.

7. Горелов Ю.Н., Мануйлов Ю.С., Шалымов С.В. Методы реализации принципа "квазизатвердевания" при стабилизации движения упругих динамических объектов //Методы и алгоритмы исследования и разработки автоматических систем управления. Л.,1989.С.20-23.

8. Горелов Ю.Н., Синяков А.Н. Парциальные математические модели движения в динамике упругих космических аппаратов //Тезисы докладов Второго Российско-Китайского симпозиума по космической науке и технике. Самара, 1992. С.109.

9. Горелов Ю.Н. Концепция локальных математических моделей крупногабаритных космических конструкций //Труды XXVI Чтений К.Э.Циолковского. Секция "Проблемы ракетной и космической техники". М., 1992. С.118-121.

Е.Я.Горелова

УПРАВЛЕНИЕ И ОЦЕНИВАНИЕ ДЛЯ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Широкое распространение, которое получили в технике гироскопические системы, привлекает к ним внимание математиков. Существует большое количество работ, в которых изучаются методы приближенного решения уравнений движения таких систем, исследуется устойчивость стационарных режимов, а также обсуждается возможность замены этих уравнений так называемыми прецессионными уравнениями.

Работа /1/ посвящена анализу уравнений гироскопических систем, находящихся под действием случайных сил. Исследуется возможность замены уравнений движения соответствующими прецессионными уравнениями. Этот подход широко распространен в механике и дает приемлемые результаты во многих случаях. Однако, существует большое количество примеров, когда замена полных уравнений прецессионными приводит к неточным или к качественно неверным результатам. В /1/ показано, что использование прецессионных уравнений как основы для уравнений ошибки фильтрации может привести к недопустимой погрешности.

Ниже изучается возможность перехода к прецессионным уравнениям для гироскопической системы в задаче оптимального управления с квадратичным функционалом качества.

Пусть дана система вида /2/

$$\varepsilon\dot{x} = A(t,\varepsilon)x + B_0(t,\varepsilon)u , \quad x(0)=x. \tag{1}$$

Здесь x - n-мерный вектор состояния, u - r-мерный вектор управляющих параметров, ε - малый положительный параметр, $t \in [0,T]$. Управление требуется выбрать так, чтобы минимизировать функционал