
МЕТОД РАВНОВЕСНО-АРБИТРАЖНОЙ БАЛАНСИРОВКИ ДЛЯ РАСЧЕТА МНОГОСВЯЗНОЙ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ

Е.М. Воронов

Московский государственный технический
университет им. И.Э. Баумана
Ул. 2-я Бауманская, 5, Москва, Россия, 105005

А.В. Ваганян

Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассматривается многосвязная мехатронная система привода радиотелескопа, состоящая из трех подсистем — механической, скоростной и системы позиционного контура управления в условиях структурной несогласованности и неопределенности. В расчете используется двухэтапный алгоритм оптимизации мехатронной системы на основе равновесно-арбитражной балансировки, базирующийся на методах оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами (ММС) на основе стабильно-эффективных игровых решений и компромиссов (СТЭК).

Ключевые слова: управляющие силы, векторный целевой показатель, двухэтапный алгоритм оптимизации, равновесно-арбитражная балансировка.

В настоящее время вопросы проектирования, модификации и управления в технических системах в соответствии с основными результатами относительно нового научно-технического направления — мехатроники — базируются на универсальной структуре мехатронной системы в виде трех в общем случае равнозначных сильно связанных подсистем: механической (конструкция), электротехнической (привод) и компьютерной подсистемы управления. К подобным системам могут быть отнесены: летательные аппараты, робототехнические системы, следящие приводы радиотелескопов, а также множество других систем.

В процессе проектирования и модификации управляемых мехатронных систем формулируются векторные требования к каждой подсистеме в виде показателей эффективности и потерь, типы и допустимые множества изменяемых параметров и управляющих сил, варьируемые схемы и модели подсистем. В большинстве случаев разработчики подобных систем идут по пути последовательного создания и оптимизации каждой из подсистем. Например, вначале создается механическая часть, затем под нее разрабатывается электротехническая часть и, наконец, выбираются алгоритмы и носители алгоритмов управления.

В данной статье обсуждается подход к проблеме оптимизации мехатронной системы как многообъектной многокритериальной системы (ММС) на основе стабильно-эффективных игровых компромиссов, позволяющий одновременно учесть требования к каждой из подсистем в условиях исходной структурной несогласованности и к системе в целом и найти компромиссную комбинацию параметров. Работа системы оценивается показателями качества, которые позволяют оптимизировать не только каждую подсистему, но и всю мехатронную систему в целом.

В исследовании применяются методы оптимизации ММС в условиях исходной структурной несогласованности, конфликта и неопределенности [1].

Постановка задачи. В качестве объекта исследования многосвязной мехатронной системы выбран привод угла места радиотелескопа РТ-7.5, работающего в следящем режиме локатора, структурная схема позиционного контура управления которого, состоящая из трех подсистем — механической, приводной и компьютерной, представлена на рис. 1 [2].

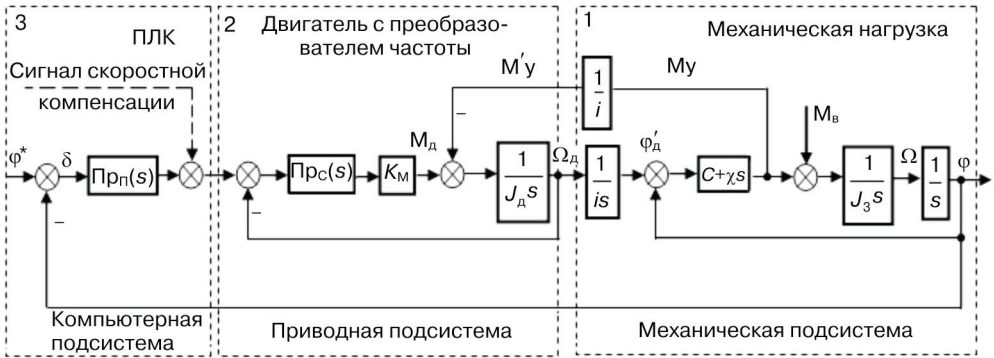


Рис. 1. Структурная схема мехатронной модели привода

Управляющие силы. В математической модели вводятся управляющие силы для компьютерной и приводной подсистем и для механической подсистемы в виде векторов параметров $q_{ПК} \in Q_{ПК}$, $q_M \in Q_M$, и $q_{ПЛК} \in Q_{ПЛК}$ соответственно.

Вектор параметров для приводной подсистемы

$$q_{ПК} = (J_{дв}, K_M), \quad (1)$$

где $J_{дв}$ — момент инерции ротора двигателя, K_M — коэффициент пропорциональности между электромагнитным моментом и сигналом задания тока.

Множество $Q_{ПК}$ имеет вид

$$Q_{ПК} = \{J_{дв} : 0,004 \leq J_{дв} \leq 0,01, K_M : 3 \leq K_M \leq 8\}, \quad (2)$$

Неравенства (2) характеризуют допустимый разброс свойств разных типов двигателей, которые могут быть использованы в приводе угла места радиотелескопа.

Вектор «управляющих» параметров для механической подсистемы:

$$q_M = (C, \chi), \quad (3)$$

где C — коэффициент жесткости механической передачи; χ — коэффициент диссипативных потерь в механической передаче.

Множество Q_M имеет вид

$$Q_M = \{C : 8 \leq C \leq 25, \chi : 0,025 \leq \chi \leq 0,06\}. \quad (4)$$

Для компьютерной подсистемы вектор параметров выглядит следующим образом:

$$q_{\text{ПЛК}} = (K_{\text{И}}, K_{\text{М}}, K_{\text{Д}}), \quad (5)$$

где $K_{\text{И}}, K_{\text{М}}, K_{\text{Д}}$ — коэффициенты ПИД-регулятора контура положения.

Связь между векторами параметров компьютерной подсистемы и приводной и механической подсистем представлена в виде:

$$q_{\text{ПЛК}} = f(q_{\text{М}}, q_{\text{ПК}}). \quad (6)$$

Векторный целевой показатель. Введенный векторный целевой показатель формирует многокритериальное целевое качество управления в условиях структурной несогласованности неопределенности, т.е. позволяет учесть некоторые технические требования при упругих колебаниях зеркала и типичные «целевые» свойства при взаимодействии подсистем привода.

Векторный показатель в рассматриваемой ситуации задан в виде трех показателей для каждого объекта:

$$J_{\text{ПК}} = (J_{\text{ПК1}}, J_{\text{ПК2}}), \quad J_{\text{М}} = (J_{\text{М1}}, J_{\text{М2}}), \quad J_{\text{ПЛК}} = f(J_{\text{М}}, J_{\text{ПК}}). \quad (7)$$

Далее задача сводится к двумерному виду путем объединения показателей для приводной и компьютерной подсистем.

Показатели механической подсистемы и критерии оптимизации имеют следующий вид:

$$J_{\text{М1}} = \int_{t_0}^T \delta^2 dt \rightarrow \min_{q_{\text{М}}} \quad (8)$$

— ошибка слежения в контуре позиционного управления привода угла места радиотелескопа на интервале времени (t_0, T) .

$$J_{\text{М2}} = (\xi - \xi_{\text{зад}})^2 \rightarrow \min_{q_{\text{М}}} \quad (9)$$

— допустимый коэффициент затухания собственных упругих колебаний зеркала радиотелескопа (где $\xi_{\text{зад}}$ — заданная допустимая величина коэффициента собственных упругих колебаний зеркала).

Показатели скоростной (приводной) подсистемы и подсистемы контура положения (компьютерной) и критерии оптимизации имеют следующий вид:

$$J_{\text{ПК1}} = \int_{t_0}^T \delta^2 dt \rightarrow \min_{q_{\text{ПК}}} \quad (10)$$

— ошибка слежения в контуре позиционного управления привода угла места радиотелескопа на интервале времени (t_0, T) .

$$J_{\text{ПК2}} = (T_{\text{ПП}} - T_{\text{ППзад}})^2 \rightarrow \min_{q_{\text{ПК}}} \quad (11)$$

— показатель качества работы подсистем в виде времени переходного процесса (где $T_{\text{ППзад}}$ — заданная допустимая величина времени переходного процесса).

Нормированные векторные показатели скаляризуются в виде:

$$\hat{J}_M = \sum_1^2 \alpha_i \hat{J}_{Mi}, \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1, \quad \sum_1^2 \alpha_i = 1, \quad (12)$$

$$\hat{J}_{ПК} = \sum_1^2 \beta_i \hat{J}_{ПКi}, \quad 0 \leq \beta_i \leq 1, \quad \sum_1^2 \beta_i = 1, \quad (13)$$

где α_i и β_i — нормированные весовые коэффициенты степени значимости показателя в сумме.

Структура алгоритма оптимизации мехатронной системы на основе равновесно-арбитражной балансировки.

1. Параметрическая балансировка подсистем по эффективности на основе уравнивания (получение внутренней целевой точки).

2. Парето-оптимизация по арбитражной схеме Нэша для получения равновесно-арбитражной балансировочной точки.

Применяемые методы оптимизации ММС в данной задаче [1]:

— бескоалиционное взаимодействие (равновесие по Нэшу);

— коалиционное взаимодействие (равновесие на основе угроз-контругроз (УКУ));

— кооперативное взаимодействие (Парето-Шепли комбинации, арбитражная схема Нэша).

Полученные результаты многофакторного анализа показывают, что значения оптимальных параметров ($J_{ДВ} = 0,01$, $K_M = 3,50$, $C = 22$, $\chi = 0,0475$) и значения целевых показателей ($\hat{J}_M = 0,5330$, $\hat{J}_{ПК} = 0,4183$) в равновесно-арбитражной балансировочной точке в целом лучше, чем значения параметров ($\hat{J}_{ПК} = 0,004$, $K_M = 3,35$, $C = 8,5$, $\chi = 0,028$) и целевых показателей ($\hat{J}_M = 0,3983$, $\hat{J}_{ПК} = 1,1353$), полученных при последовательном проектировании.

Таким образом, в результате исследования сформирована коалиционная структура мехатронной системы; предложен альтернативный к последовательному подход к проектированию мехатронной системы на основе исходной структурной несогласованности в форме равновесно-арбитражной балансировки; методы теории оптимизации управления ММС применены для выбора параметров, обеспечивающих балансировку по эффективности структурных подсистем мехатронной системы; на основе многофакторного анализа показана тенденция повышения сбалансированной эффективности мехатронной системы по сравнению с результатами последовательного проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воронов Е.М. Методы оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами на основе стабильно-эффективных игровых решений: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова. — М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2001.
- [2] Ванин А.В., Польский В.А., Ле Ван Тхань. Создание высокоточных следящих приводов на базе двигателей переменного тока // Экстремальная робототехника: Труды XVIII всероссийской научно-практической конференции. — Санкт-Петербург, 2007. — С. 482—488.

**CALCULATION OF COMPLEX
MECHATRONIC SYSTEM WITH THE METHOD
OF EQUILIBRIUM-ARBITRARY BALANCING**

E.M. Voronov

Bauman Moscow State Technical University
2-nd Baumanskaya str., 5, Moscow, Russia, 105005

A.V. Vaganyan

Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The system of a drive of the radio telescope, consisting of three subsystems — mechanical, high-speed and systems of an item contour of management in the conditions of structural inconsistency and uncertainty is considered multicoherent. In calculation (STACK) is used algorithm of optimisation systems on the basis of the equilibrium-arbitration balancing, based on methods of optimisation of management multiobjective multicriterial systems (MMC) on the basis of is stable-effective game decisions and compromises.