
МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РАВНОВЕСНО-АРБИТРАЖНОГО КОМПРОМИССА

А.В. Ваганян¹, Е.М. Воронов²

¹Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 117923

²Кафедра систем автоматического управления
МГТУ им. Н.Э. Баумана
ул. 2-я Бауманская, 5, Москва, Россия, 105005

В статье рассматривается многосвязная мехатронная система привода радиотелескопа, состоящая из трех подсистем — механической, исполнительной и компьютерной — в условиях структурной несогласованности и неопределенности. В расчете используется двухэтапный алгоритм многокритериальной оптимизации на основе равновесно-арбитражного компромисса, базирующийся на методах оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами (ММС) на основе стабильно-эффективных решений и компромиссов (СТЭК).

Ключевые слова: трехподсистемная мехатронная система, векторный целевой показатель, двухэтапный алгоритм многокритериальной оптимизации, равновесно-арбитражный компромисс.

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 системе в виде трех, в общем случае равнозначных сильно связанных подсистем: механической (конструкция), электронной и(или) электротехнической и компьютерной подсистемы управления.

К подобным системам могут быть отнесены системы управления летательными аппаратами, робототехнические системы, следящие приводы, 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 значений изменяемых параметров и управляющих сил, варьируемые структурные схемы и математические модели подсистем.

В большинстве случаев разработчики подобных систем идут по пути последовательного создания и оптимизации каждой из подсистем. Например, в следящем приводе вначале проектируется и изготавливается механическая часть, затем под нее разрабатывается электротехническая часть (привод) и наконец выбираются алгоритмы и компьютерные и микропроцессорные носители алгоритмов управления.

В данной статье обсуждается подход к проблеме оптимизации мехатронной системы как многообъектной многокритериальной системы (ММС) на основе стабильно-эффективных компромиссов (СТЭК), позволяющий одновременно

учесть требования к каждой из подсистем в условиях исходной структурной несогласованности и к системе в целом, найти сбалансированную по эффективности комбинацию параметров подсистем и отобразить равновесное решение в такую точку Парето-границы области значений вектора показателей, которая наиболее близка к найденной наиболее эффективной точке равновесия (СТЭК). При этом работа системы оценивается показателями качества, которые позволяют оптимизировать не только каждую подсистему и одновременно уравновесить (сбалансировать) мехатронную систему в целом. В исследовании применяются методы оптимизации ММС в условиях исходной структурной несогласованности, конфликта и неопределенности.

Постановка задачи

При исследовании в качестве математической модели ММС выбирается мехатронная система, описывающая процесс взаимодействия трех подсистем привода радиотелескопа — механической, исполнительской и компьютерной [2]. Структурная схема объекта представлена на рис. 1.

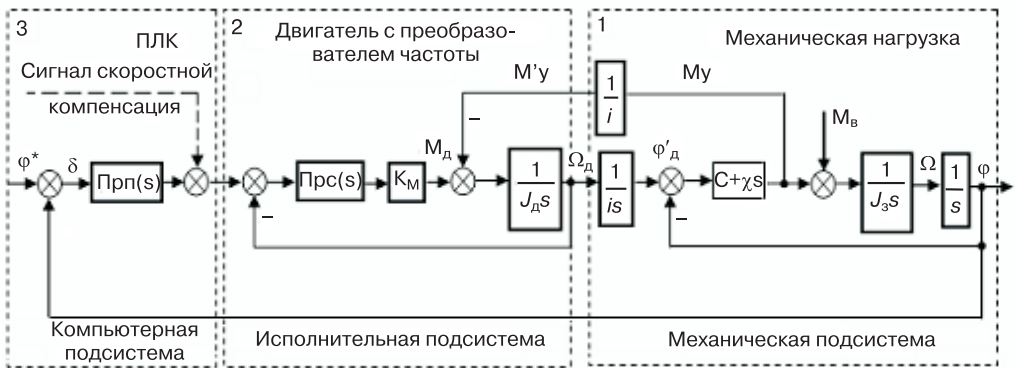


Рис. 1. Структурная схема мехатронной модели привода

Управляющие силы. В математической модели вводятся управляющие силы для компьютерной, исполнительской и для механической подсистем в виде векторов управляемых параметров $q_{\text{ПЛК}} \in Q_{\text{ПЛК}}$, $q_{\text{ИП}} \in Q_{\text{ИП}}$ и $q_{\text{М}} \in Q_{\text{М}}$ соответственно.

При этом вектор параметров для компьютерной подсистемы:

$$q_{\text{ПЛК}} = (K_{\text{И}}, K_{\text{П}}, K_{\text{Д}}), \tag{1}$$

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

Вектор параметров для исполнительской подсистемы:

$$q_{\text{ИП}} = (J_{\text{ДВ}}, K_{\text{М}}), \tag{2}$$

где $J_{\text{ДВ}}$ — момент инерции ротора двигателя, $K_{\text{М}}$ — коэффициент пропорциональности между электромагнитным моментом и сигналом задания тока.

Аналогично, вектор параметров для механической подсистемы:

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

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

Векторный целевой показатель. Введенный векторный целевой показатель формирует многокритериальное целевое качество управления в условиях структурной несогласованности и неопределенности, т.е. позволяет учесть некоторые технические требования при упругих колебаниях зеркала и типичные «целевые» свойства при взаимодействии подсистем привода [2—5].

Векторный показатель в рассматриваемой ситуации задан в виде двух показателей для каждой подсистемы:

$$\begin{aligned} J_{\text{ПЛК}} &= (J_{\text{ПЛК1}}, J_{\text{ПЛК2}}), \\ J_{\text{ИП}} &= (J_{\text{ИП1}}, J_{\text{ИП2}}), \\ J_M &= (J_{M1}, J_{M2}). \end{aligned} \quad (4)$$

Показатели механической подсистемы и критерии оптимизации имеют следующий вид:

— показатель точности в виде ошибки слежения в контуре позиционного управления привода радиотелескопа на интервале времени (t_0, T)

$$J_{M1} = \int_{t_0}^T \varepsilon^2 dt \rightarrow \min; \quad q_M \quad (5)$$

— показатель качества и предотвращения потери устойчивости, из-за колебаний, вызванных механической частью, в виде допустимого коэффициента затухания собственных упругих колебаний зеркала радиотелескопа (где $o_{\text{зад}}$ — заданная допустимая величина коэффициента собственных упругих колебаний зеркала)

$$J_{M2} = (o - o_{\text{зад}})^2 \rightarrow \min. \quad q_M \quad (6)$$

Показатели исполнительной подсистемы и критерии оптимизации имеют следующий вид:

— показатель инерционных свойств исполнительной подсистемы в виде допустимого момента инерции ротора двигателя (где $J_{\text{ДВ}}$ — заданная допустимая величина момента инерции ротора двигателя)

$$J_{\text{ИП1}} = (J_{\text{ДВ}} - J_{\text{ДВзад}})^2 \rightarrow \min; \quad q_{\text{ИП}} \quad (7)$$

— показатель быстродействия работы исполнительной подсистемы в виде времени переходного процесса (где $T_{\text{ИПзад}}$ — заданная допустимая величина времени переходного процесса)

$$J_{\text{ИП2}} = (T_{\text{ИП}} - T_{\text{ИПзад}})^2 \rightarrow \min. \quad q_{\text{ИП}} \quad (8)$$

Показатели компьютерной подсистемы и критерии оптимизации имеют следующий вид:

— показатель динамической точности в виде ошибки слежения в контуре позиционного управления привода радиотелескопа на интервале времени (t_0, T)

$$J_{\text{ПЛК1}} = \int_{t_0}^T \varepsilon^2 dt \rightarrow \min_{q_{\text{ПЛК}}} \quad (9)$$

— качество системы в виде показателя колебательности в контуре позиционного управления привода радиотелескопа

$$J_{\text{ПЛК2}} = (M - M_{\text{зад}})^2 \rightarrow \min_{q_{\text{ПЛК}}} \quad (10)$$

Структура 2-этапного алгоритма многокритериальной оптимизации трехподсистемной мехатронной системы на основе равновесно-арбитражного компромисса

В настоящее время существует три подхода к многокритериальной оптимизации:

- первый подход связан с прямыми методами многокритериальной (векторной) оптимизации;
- второй подход связан с методами скаляризации;
- третий подход связан с методами компромиссов.

В рамках первого подхода существуют такие методы, как метод многокритериальной оптимизации на основе конусов доминирования и метод многокритериальной оптимизации на основе генетического алгоритма (сетевой метод).

В рамках второго подхода есть методы прямой скаляризации показателей, лексикографической оптимизации и пороговой оптимизации.

В рамках третьего подхода применяются методы достижения компромисса на основе утопической (идеальной) точки, достижения компромисса на основе точки Шепли и достижения компромисса на основе арбитражных схем.

В оптимизации возникают две проблемы: 1) локальные свойства методов оптимизации в скалярном случае (т.е. при однокритериальной оптимизации); 2) в общем случае оптимизационные показатели являются невыпуклыми и поэтому методы локальной оптимизации не приемлемы.

Поэтому алгоритмы многокритериальной оптимизации строятся на двухэтапной основе:

- 1-й этап: глобальный (сетевой) анализ вектора показателей на множестве управлений (решений) с определением приближенного глобального экстремума.
- 2-й этап: локальная точечная оптимизация в окрестности приближенно найденной точки глобального экстремума.

Алгоритм многокритериальной оптимизации трехподсистемной мехатронной системы на основе равновесно-арбитражного компромисса, применяемого в данной ситуации, включает в себя следующие два этапа:

- 1) параметрическая балансировка подсистем по эффективности на основе уравновешивания по СТЭК (получение внутренней целевой точки);

2) Парето-оптимизация по арбитражной схеме Нэша для получения равно-весно-арбитражной оптимальной точки.

Применяемые методы оптимизации ММС в данной задаче [1]: Парето-Нэш-УКУ-Шепли комбинации (СТЭК), арбитражная схема Нэша (АСН).

В настоящее время был проведен многофакторный анализ и получены результаты многокритериальной оптимизации для двух подсистем привода — механической и объединенной исполнительно-компьютерной подсистемы.

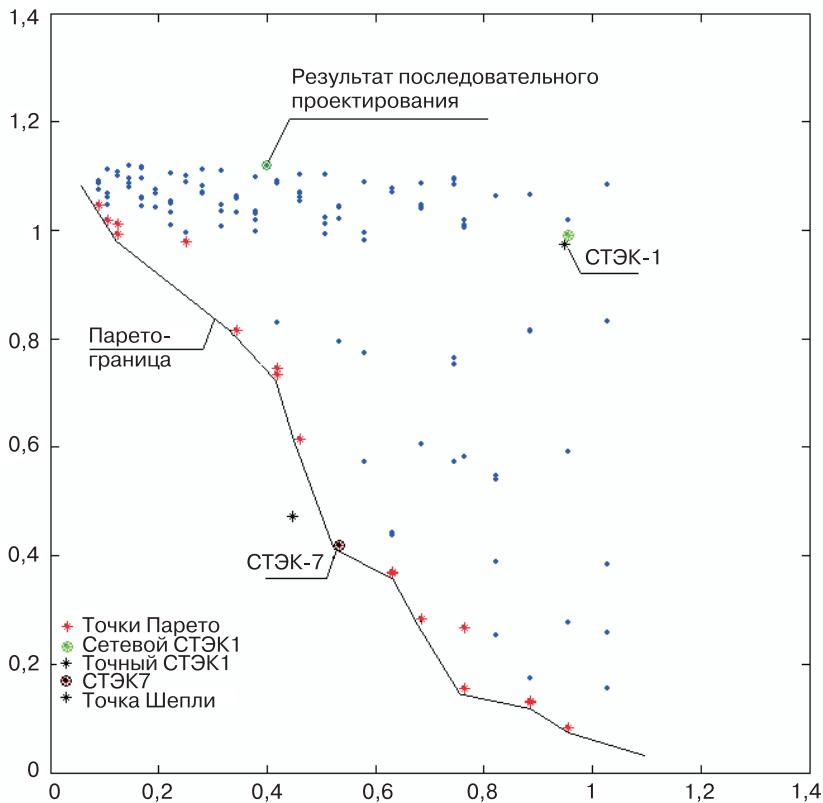


Рис. 2. Результаты многофакторного анализа

Полученные результаты многофакторного анализа, представленные на рис. 2, позволяют сделать выводы о том, 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 оптимальной точке в целом лучше, чем значения параметров $J_{ДВ} = 0,004$, $K_M = 3,35$, $C = 8,5$, $\chi = 0,028$ и целевых показателей $\hat{J}_M = 0,3983$, $\hat{J}_{ПК} = 1,1353$, полученных при последовательном проектировании.

Заключение

В результате проделанной работы получены следующие результаты:

— сформирована коалиционная структура трех подсистем мехатронной системы привода РЛС;

— предложен альтернативный последовательному подход к проектированию мехатронной системы на основе исходной структурной несогласованности в форме метода многокритериальной оптимизации на основе равновесно-арбитражного компромисса;

— 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] *Ваганян А.В., Воронов Е.М.* Метод равновесно-арбитражной балансировки для расчета многосвязной мехатронной системы // «Инженерные системы-2009»: Труды международной научно-практической конференции. — Москва, 6—9 апреля 2009 г.
- [3] *Воронов Е.М., Карпунин А.А., Серов В.А.* Иерархическое равновесие в многоуровневых системах управления // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2008. — № 4. — С. 18—29
- [4] *Воронов Е.М., Карпунин А.А., Репкин А.Л.* Алгоритмизация конфликтно-оптимальных решений в системе локального взаимодействия малых групп ЛА // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2007. — № 4. — С. 28—39.
- [5] *Воронов Е.М., Ваганян А.В.* Метод равновесно-арбитражной балансировки для расчета многосвязной мехатронной системы // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2009. — № 4. — С. 68—72.

MULTI CRITERIA OPTIMIZATION OF MECHATRONIC SYSTEM BASED ON EQUILIBRIUM-ARBITRARY COMPROMISE

A.V. Vaganyan¹, E.M. Voronov²

¹Cybernetic and mechatronics department
Peoples' Friendship University of Russia
Ordjonikidze str., 3, Moscow, Russia, 117923

²Automatic control system department
Moscow State Technical University after N.E. Bauman
2nd Baumanskaya str., 5, Moscow, Russia, 107005

This article considers a multiply connected mechatronic system of the telescope drive that consists of three subsystems — mechanical, executive and computer in conditions of structural inconsistency and uncertainty. 2-step algorithm of multi criteria optimization based on equilibrium-arbitrary compromise is used to calculate parameters of this system. This algorithm is based on optimization control methods of multi object multi criteria systems and stable efficient decisions and compromises.

Key words: three subsystem mechatronic system, vector target, 2 step algorithm of multi criteria optimization, equilibrium-arbitrary compromise.