

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНОГО РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМАССОВЫМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

**Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами.** К многомассовым электромеханическим системам управления предъявляются разнообразные, обычно противоречивые, требования при работе в различных режимах [1-3]. В частности, задается время переходных процессов при подаче определенных входных сигналов. Кроме того, часто задается точность отработки заданного минимального значения скорости – неравномерность движения рабочего органа на минимальной скорости. При этом также требуется минимальное значение дисперсии стабилизации заданного случайного изменения задающего воздействия при действии случайных возмущающих воздействий.

**Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме.** Задача многокритериального синтеза нелинейного робастного управления [4-7] решается с помощью нелинейной схемы компромиссов [8], в которой локальные критерии качества формулируются в виде дифференциальной игры и сводятся к решению уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана-Айзекса. Нелинейное робастное управление в форме обратных связей представляет собой нелинейные обратные связи по переменным состояния нелинейного робастного наблюдателя. Однако, синтезированные таким образом регуляторы обладают достаточно высокой сложностью.

**Цель статьи.** Целью данной работы является разработка методики многокритериального параметрического синтеза нелинейных робастных регуляторов многомассовых систем, обладающих более простой технической реализацией и малой чувствительностью к изменению параметров и структуры моделей каналов и внешних воздействий.

**Изложение материала исследования, полученных научных результатов.** С инженерной точки зрения практический смысл имеет задача многокритериальной параметрической оптимизации регуляторов, когда основная структура системы управления остается постоянной, а часть параметров, а возможно и структуры, регулятора изменяется и тем самым парирует изменение параметров внешних воздействий и объекта управления. При таком подходе можно синтезировать регуляторы, незначительно отличающиеся от оптимальных. Однако при этом их техническую реализацию можно упростить. Такие регуляторы обладают другими полезными свойствами, например, менее чувствительны (робастны) при изменении параметров и структуры объекта управления и входных сигналов.

При таком подходе не «умалывается» значение теории робастного управления, позволяющей синтезировать «полностью» робастные регуляторы, так как, во-первых, такие регуляторы позволяют оценить предельные возможности системы по принятому показателю качества, и, во-вторых, «подсказать» проектировщику структуру системы для параметрического синтеза. Введем вектор параметров регулятора и наблюдателя  $\bar{R}$  и вектор параметров объекта управления  $\bar{p}$  и сформулируем задачу поиска таких векторов значений параметров  $\bar{R}$  и  $\bar{p}$ , при которых

$$J^* = \min_{\bar{R}} \max_{\bar{p}} J(\bar{R}, \bar{p}).$$

Естественно, что при параметрической оптимизации необходимо учитывать ограничения на переменные состояния объекта управления и на само управление в виде

$$\bar{G}(\bar{R}, \bar{p}) \leq \bar{G}_{\max},$$

а возможно и на сами значения параметров  $\bar{R} \in \mathbf{R}$ ,  $\bar{p} \in \mathbf{p}$ .

При синтезе систем робастного управления получил широкое распространение игровой подход, позволяющий свести задачу синтеза системы к игре. При этом область варьируемых параметров разбивается на два множества своих  $\bar{R}$  и противника  $\bar{p}$ . Цель своих игроков заключается в выборе таких значений  $\bar{R}$ , при которых минимизируется значение оптимизируемого критерия качества  $J$ , а задача противника заключается в выборе таких значений параметров  $\bar{p}$ , при которых максимизируется значение критерия качества. Эта задача также может быть сформулирована как задача минимакса

Для синтеза робастной системы по вектору варьируемых параметров  $\bar{R}$  исходной системы необходимо решить задачу определения параметров матриц регулятора  $F$  и наблюдателя  $G$ , минимизирующих критерий качества, а противник выбирает такой вектор параметров объекта управления  $\bar{p}$ , при котором критерий качества максимальный. Эта задача разбивается на две подзадачи – нахождения матрицы коэффициентов усиления нелинейного регулятора  $F$  и нелинейного наблюдателя  $K$ .

Параметры матрицы наблюдателя определяются из решения задачи

$$J_1 = \min_G \max_{\bar{p}} \int \bar{\epsilon}^T(G, \bar{p}) \bar{\epsilon}(G, \bar{p}) dt,$$

а параметры матрицы регулятора определяются из условия

$$J = \min_F \max_{\bar{p}} \int \bar{z}^T(F, \bar{p}) \bar{z}(F, \bar{p}) dt.$$

Естественно, что такая параметризация использует информацию о структуре робастного регулятора и робастного наблюдателя.

При таком подходе находится «осторожный» регулятор, при котором недоиспользуются потенциальные возможности исполнительных устройств. Эта минимаксная задача решается квазиньютоновским методом с использованием алгоритма Левенберга-Маквардта, так что при этом используются компоненты градиента по тем переменным, по которым необходимо максимизировать норму вектора цели и используются компоненты антиградиента по тем переменным, по которым необходимо минимизировать норму вектора цели. В схеме компромиссов синтеза динамических систем целесообразно использовать комбинацию метода штрафных функций с внутренней точкой для одних локальных критериев, и с внешней точкой для других локальных критериев. При наличии прямых ограничений на вектор состояния и управления используется метод последовательного квадратичного программирования для решения задачи нелинейного программирования с ограничениями.

Заметим, что сложность решения задачи параметрического синтеза робастного управления с принятой структурой регулятора, полученной на основе решения уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана-Айзекса, существенно выше, так как при использовании стандартного подхода необходимо решить задачу нелинейного программирования существенно меньшей размерности, определяемой количеством членов весовых матриц, с помощью которых формируется вектор цели робастного управления. Предполагаемый подход целесообразно использовать также при параметрическом синтезе типовых ПИД регуляторов, либо при их расширении обратными связями лишь по некоторым переменным состояния – таким как момент упругости, скорости движения промежуточных масс и т.д.

**Результаты моделирования.** Приводятся примеры применения разработанной методики для многокритериального параметрического синтеза многомассовых электромеханических систем управления.

**Выводы из приведенного исследования, перспективы этого направления.** Разработана методика параметрического синтеза нелинейных робастных регуляторов многомассовых систем. Использование робастных регуляторов позволяет получать стабильные динамические характеристики многомассовой системы при изменении параметров моделей внешних воздействий и объекта управления.

Приводятся примеры параметрического синтеза нелинейного робастного управления различными многомассовыми системами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Никитина Т.Б. Выбор критерия качества цифровой робастной системы наведения и стабилизации вооружения легкобронированной машины // Механiка та машинобудування. Харкiв.: 2007. №1.- С. 155 – 163.
2. Никитина Т.Б. Выбор критерия качества робастного управления электроприводами со сложными кинематическими связями // Технiчна електродинамiка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехнiки. Ч. 2. Киiв 2008.- С. 69 – 74.
3. Никитина Т.Б. Выбор критерия качества робастного управления как задача многокритериальной оптимизации // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. раб.- Харьков: НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Системный анализ - управление и информационные технологии». 2007.- №41. С. 35 – 44.
4. Никитина Т.Б. Многокритериальный синтез системы наведения и стабилизации вооружения легкобронированной машины // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. раб.- Харьков: НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». 2008.- №31. С. 128 – 138.
5. Никитина Т.Б. Многокритериальный синтез робастного управления трехопорной платформой // Електромашинобудування та електрообладнання. Мiжвiдомчий науково-тех. зб.. Одеса.: 2008. –Вип. №70. -С. 24 – 29.
6. Куценко А.С., Никитина Т.Б. Многокритериальный синтез нелинейного робастного управления многоканальными системами // Автоматика-2008: Доклады XV Международной конференции по автоматическому управлению, 23-26 сентября 2008 г. – Одесса: ОНМА. С. 300-303.
7. Никитина Т.Б. Многокритериальная оптимизация системы стабилизации танкового вооружения // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. раб.- Харьков: НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Системный анализ - управление и информационные технологии». 2008.- №26. С. 100 – 109.
8. Никитина Т.Б. Нелинейная схема компромиссов многокритериального синтеза робастного управления электромеханическими системами / Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика» научно-технического журнала «ЭЛЕКТРОИНФОРМ» - Львов: ЕКОинформ, 2009. – С. 173-174.