

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Кучмина Андрея Юрьевича на тему: «Идентификация и синтез систем управления динамическими объектами с ограничениями», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности, 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)»

Актуальность темы диссертационной работы. Одной из актуальных проблем в создании высокоточных систем управления нестационарными динамическими объектами (объектами с изменяемыми параметрами) является разработка методов их идентификации и синтеза с учетом различного рода ограничений, обусловленных режимами функционирования таких объектов. В настоящее время основным подходом к синтезу систем управления объектами указанного класса является кибернетический подход, который порождает киберфизические системы, в том числе, интеллектуальные электромеханические системы (ИЭМС), обладающие модульной структурой и способностью адаптироваться к нестационарности объектов управления, влиянию внешних воздействий и ограничений. Большой теоретический и практический интерес представляют ИЭМС с исполнительными механизмами параллельной структуры и интегрированными информационно-измерительными и управляющими подсистемами, что особенно эффективно при создании сложных распределённых систем. При управлении подобными системами необходимо использовать адаптивные прогнозирующие модели объекта управления, получаемые на основе измерительной информации с помощью методов идентификации в реальном времени. Ограничения существенным образом влияют на качество идентификации динамических объектов, поэтому разработка эффективных методов, учитывающих ограничения, является актуальной. Важным направлением в развитии методов синтеза и идентификации систем управления рассматриваемого класса является использование методов оптимизации, в том числе, в реальном времени, что требует создания быстрых и надёжных алгоритмов решения данных задач.

Диссертационная работа А.Ю. Кучмина направлена на развитие методов идентификации и синтеза систем управления динамическими нестационарными объектами при наличии ограничений. Основная идея предложенных методов заключается

в сведении указанных задач идентификации и синтеза к последовательности задач математического программирования.

Структура и объём диссертации. Диссертация А.Ю. Кучмина состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, из 185 источников. Общий объём диссертации составляет 323 страницы, она содержит 40 рисунков и 22 таблицы.

Во введении обоснована актуальность работы, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту. Определены основные направления исследования. Сформулирована цель диссертационной работы, заключающаяся в разработке методов идентификации и синтеза систем управления динамическими объектами, функционирующими в условиях ограничений, с использованием ИЭМС. Поставлены следующие основные задачи исследования.

1) Разработать общий подход к формализации задач идентификации и синтеза сложных систем управления динамическими объектами с ограничениями как задач математического программирования.

2) Разработать новые методы и быстрые алгоритмы решения задач идентификации и синтеза систем управления динамическими объектами, формализованных в виде задачи математического программирования.

3) Исследовать эффективность разработанного в диссертации математического и программного обеспечения на примере двух сложных практических задач идентификации и синтеза систем управления динамическими объектами: а) задача управления элементами зеркальной системой большого полноповоротного радиотелескопа; задача синтеза информационно-измерительной системы для исследования динамической прочности материалов с помощью газовой пушкой с разрезным стержнем Гопкинсона-Кольского.

В первой главе рассмотрены актуальные вопросы синтеза и идентификации ИЭМС, функционирующих в условиях всевозможных ограничений. Предлагается четырёхуровневая система управления ИЭМС. Рассмотрены общие проблемы идентификации подобных систем, когда важным является сохранение физической адекватности прогнозирующих моделей и реализуемости законов управления. Представлены методы синтеза статистических идентификаторов на основе метода наименьших квадратов для квазистационарных и нестационарных динамических объектов с применением матричного оператора сдвига во временной области. Синтез идентификаторов формализован в виде задачи математического программирования. Представлен метод идентификации нелинейной нестационарной системы с использованием множественно-функционального подхода, основанного на решении

задачи математического программирования. Рассмотрены примеры идентификации различных динамических систем.

Во второй главе рассматриваются вопросы разработки нового метода оптимизации «Метод многомерных оболочек (ММО)», ориентированного на решение современных задач математического моделирования и идентификации нелинейных и нестационарных систем управления, а также на анализ и фильтрацию экспериментальных данных. Основой ММО является построение области допустимых решений, путём анализа ограничений произвольного вида и их аппроксимации кусочно-полиномиальными функциями или рациональными дробями, что позволяет свести исходную задачу к набору взаимосвязанных подзадач математического программирования, ограничения которых формируют выпуклые многомерные оболочки. Показано применение ММО к синтезу программных движений модулей ИЭМС.

Третья глава посвящена разработке математических моделей распределённых динамических систем управления на основе модулей ИЭМС. Предложена следующая схема решения задачи: расчёт оптимальной траектории движения базового блока ИЭМС с учётом всех ограничений; линеаризация математической модели динамики относительно найденной траектории путем разложения в ряд Тейлора в стационарной точке. Представлены предлагаемые методы идентификации указанных математических моделей. Даны примеры решения подобных задач.

Четвёртая глава посвящена задаче управления зеркальными системами полноповоротных радиотелескопов с адаптивными отражающими поверхностями на основе ИЭМС. Предложена многоконтурная система управления зеркальной системой радиотелескопа. Описан алгоритм построения аппроксимирующего параболоида главного зеркала с учётом особенностей исполнительных механизмов модулей ИЭМС, таких как ограничение на перемещения штоков актуаторов и линии их действия. Предложен алгоритм определения удлинений актуаторов, как задающих воздействий для системы управления адаптивной поверхностью главного зеркала. Представлена методика аппроксимации оптимального управления приводами элементов зеркальной системы с помощью прямого метода Ляпунова, позволяющая учитывать линейные ограничения на перемещения этих элементов путем добавления в классическую функцию Ляпунова штрафных функций от расстояний до ограничений.

В пятой главе рассмотрены методы идентификации и анализа сигналов для информационно-измерительной системы испытательного стенда с разрезными стержнями Гопкинсона-Кольского, предназначенного для проведения динамических испытаний образцов различных материалов на прочность. Показано, что анализ данных

экспериментов динамического разрушения строительных материалов с помощью разработанного в диссертации математического и программного обеспечения, учитывающего влияние экспериментальной установки и информационно-измерительной системы, позволил обнаружить новый эффект.

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования.

Научную новизну диссертационной работы А.Ю. Кучмина «Идентификация и синтез систем управления динамическими объектами с ограничениями» представляют следующие результаты, выносимые на защиту.

1) Метод синтеза статистических идентификаторов на основе метода наименьших квадратов для систем управления квазистационарными и нестационарными динамическими объектами с применением матричного оператора сдвига во временной области, что позволяет в аналитической, а не в алгоритмической форме описать разностные фильтры с различной скважностью отсчетов, а также произвести выбор параметров серии отсчётов для обеспечения оптимальной информационной насыщенности данных. Отличительной особенностью метода является то, что для случая низкого отношения сигнал/шум синтез идентификатора выполняется как решение системы неравенств на основе множественно-функционального подхода, позволяющего при использовании интервальной невязки между выходом идентификатора и реальным динамическим объектом проводить редукцию модели.

2) Метод идентификации с использованием множественно-функционального подхода для нелинейной нестационарной динамической системы, основанный на анализе типов асимптотических решений при учете физических закономерностей и соответствующих ограничений на параметры и фазовые координаты при сохранении физической адекватности математической модели протекающим в объекте процессам и реализуемости законов управления.

3) Метод сведения задач синтеза и идентификации систем управления динамическими объектами, формализованных в виде задачи математического программирования, к эквивалентному по заданной точности множеству задач оптимизации с линейными ограничениями путём аппроксимации произвольных ограничений кусочно-полиномиальными функциями или рациональными дробями. Показано, что метод эффективен при расчёте оптимальных траекторий движения базовых модулей ИЭМС, так как сводится к интервальным задачам одной переменной, а именно времени переходного процесса.

4) Метод синтеза и идентификации сложных распределённых систем управления, на основе модели базового блока ИЭМС как динамического объекта с параллельной

кинематической схемой для управления элементами зеркальных систем больших полноповоротных радиотелескопов.

5) Метод анализа экспериментальных данных по исследованию динамической прочности материалов, полученных на установке с разрезным стержнем Гопкинсона-Кольского и на стенде на основе газовой пушки, с учетом влияния информационно-измерительной системы и сохранением адекватности физики процессов в материале при удалении влияния сторонних факторов.

Теоретическая значимость работы состоит в создании единого подхода к решению задачи идентификации и синтеза системы управления сложными динамическими объектами при наличии ограничений, основанного на сведении задачи к последовательности задач математического программирования.

Практическая значимость состоит в возможности использования результатов диссертации при решении задач управления сложными динамическими системами, функционирующими в условиях различных ограничений и внешних воздействий, с применением адаптивных математических моделей, получаемых методами идентификации в реальном времени. Проведенные исследования стали основой для создания универсального контроллера базового модуля ИЭМС. В диссертации предложена система управления большим полноповоротным радиотелескопом миллиметрового диапазона с адаптивными отражающими поверхностями, перемещаемыми с помощью исполнительных механизмов параллельной структуры на основе ИЭМС. Предложенные в диссертации методы идентификации реализованы в пакете программ для фильтрации и анализа экспериментальных данных по динамической прочности материалов для различных типов стендов в том числе установки с разрезным стержнем Гопкинсона-Кольского и стенда с газовой пушкой. Разработаны алгоритмы, учитывающие влияние экспериментальной установки, которые позволили значительно повысить точность определения характеристик материалов.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих российских и международных рецензируемых изданиях, в том числе: 10 публикаций – в изданиях, входящих в базу данных Scopus; 14 публикаций - в журналах, входящих в список ВАК Минобрауки РФ. Автору принадлежат главы в двух коллективных монографиях. На основе результатов исследования получены четыре патента. Результаты работы докладывались соискателем на 8 международных и 8 российских научных конференциях.

Замечания.

1. В главе 1 диссертации сказано, что поставленные задачи решались автором разными методами оптимизации (метод последовательного квадратичного программирования, комплексный метод Бокса, генетический алгоритм и др.). Однако не указаны недостатки этих методов, которые обусловили разработку метода многомерных оболочек (ММО). Не выполнено сравнение эффективности ММО с указанными методами.

2. Предложенный и разработанный в диссертации ММО, основанный на сведении задачи синтеза и идентификации системы управления динамическим объектом к эквивалентному по заданной точности множеству задач оптимизации, предполагает, что каждая из этих задач имеет монотонную целевую функцию в своей области определения. В диссертации не представлены способы проверки выполнимости этого предположения.

3. Важным достоинством предложенного и разработанного в диссертации ММО является его применимость для многосвязной области допустимых значений задачи математического программирования, к которой сводится исходная задача идентификации и синтеза системы управления. Однако в диссертации не представлены способы оценки плотности покрытия указанной области подобластями, которые порождает ММО.

4. В диссертации в качестве основного подхода предлагается сведение задачи идентификации и синтеза системы управления к задаче математического программирования, для решения которой применяется ММО. Однако в главе 4 для решения задачи управления элементами зеркальной системы радиотелескопа предложен метод на основе штрафных функций и не раскрыто, почему в этом случае не использован ММО.

Сделанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы.

Заключение. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и является завершённым научным исследованием, соответствует паспорту специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)» и имеет важное научное и практическое значение. Все результаты получены с применением математических методов и их достоверность не вызывает сомнения. Результаты работы развивают методы синтеза, математического моделирования и идентификации систем управления сложными динамическими объектами, а также методы их применения для решения актуальных практических задач. Автореферат диссертации соответствует её содержанию, отражает актуальность темы исследования, её цели и задачи, научную новизну, практическую значимость, обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов.

Таким образом, диссертация «Идентификация и синтез систем управления динамическими объектами с ограничениями» соответствует требованиям п. 9 положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Кучмин Андрей Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)».

Официальный оппонент,

д.ф.-м.н., профессор, заведующий
кафедрой РК-6 «Системы
автоматизированного проектирования»

МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Адрес: 105005 Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Телефон: 8-499-263-62-90,

E-mail: apkarpenko@mail.ru

«04» мая 2022 г.

Адрес: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Тел.: +7 (499) 263-63-91

E-mail: apkarpenko@mail.ru

Карпенко Анатолий Павлович



ПОДПИСЬ
ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ
НАЗАРОВА О. В.

ТЕЛ. 8-499-233-60-48

Я, А. П. Карпенко, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Кучмина Андрея Юрьевича, и их дальнейшую обработку.

Подпись А. П. Карпенко заверяю