

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 работы. Управление движением динамических объектов является важной задачей, с которой можно столкнуться при создании систем управления в транспорте, робототехнике, авиации, различного рода симуляторах, например, авиатренажерах, и т.д. В сложных системах разрешены не все траектории движений, что обусловлено режимами их функционирования, которые связаны с различного рода ограничениями, существенным образом влияющими на динамику объекта управления. Поэтому разработка эффективных методов синтеза систем управления с учетом ограничений является важной и актуальной задачей. Развитие вычислительных средств и аппаратного обеспечения компьютерных систем (ИТ – технологий) позволяют реализовывать поисковые процедуры при принятии решений, что позволило использовать методы управления, основанные на оптимизационных подходах. Это является мировой тенденцией в развитии современных систем управления, которые строятся по принципам проактивного управления, подразумевающего предсказание поведения динамических объектов с помощью адаптивных моделей, уточняемых в процессе управления с помощью методов идентификации. При построении подобных моделей учет ограничений тоже является важной проблемой. Поэтому тема диссертации А.Ю. Кучмина соответствует современным тенденциям в создании систем управления и является актуальной.

Структура и объём диссертации. Диссертация А.Ю. Кучмина состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 185 источников. Объём диссертации составляет 323 страницы.

Во введении обсуждается актуальность темы диссертации, цель исследований, задачи и положения, выносимые на защиту, приводятся необходимые сведения и комментарии, а также описана структура диссертации. Цель исследования заключается в разработке методов идентификации и синтеза систем управления динамическими объектами, функционирующими в условиях ограничений, с использованием

интеллектуальных электромеханических систем (ИЭМС). Дается анализ публикаций автора по теме диссертации.

Первая глава посвящена проблемам синтеза и идентификации систем управления динамическими объектами с ограничениями на примере ИЭМС. Отмечается, что при создании высокоточных систем управления сложными физико-техническими объектами необходимо использование кибернетического подхода. Это привело к появлению нового класса кибер-физических систем, частью которых являются ИЭМС. В диссертации рассматриваются ИЭМС с исполнительными механизмами параллельной структуры и информационно-измерительные системы испытательных стендов материалов на динамическую прочность. Современные тенденции в создании систем управления предусматривают для прогнозирования поведения сложных динамических объектов использование «нежестких» моделей, строящихся методами идентификации и оптимизации в реальном времени, в контурах управления. Проведён анализ методов идентификации систем управления динамическими объектами. Предложены методы синтеза статистических идентификаторов систем управления квазистационарными и нестационарными динамическими объектами с учётом ограничений, основанные на описании поставленных задач как задач математического программирования (МП). Исходя из идей множественно-функционального подхода, разработан метод идентификации нелинейной нестационарной динамической системы, основанный на решении задачи МП. Описаны методы идентификации внешних воздействий, действующих на ИЭМС. Даны примеры решения задач идентификации.

Вторая глава посвящена разработке метода нелинейного программирования с произвольными ограничениями для решения задач управления и идентификации ИЭМС. Основная идея предложенного метода многомерных оболочек (ММО) заключается в построении области допустимых решений путём анализа ограничений произвольного вида, которые аппроксимируются кусочно-полиномиальными ограничениями или рациональными дробями, и исследовании целевой функции внутри этой области. В результате этой процедуры исходная задача оптимизации сводится к набору взаимосвязанных подзадач МП, ограничения которых формируют выпуклые многомерные оболочки. В этой главе описано применение ММО при нахождении траекторий движения модуля ИЭМС при наличии ограничений, даны численные примеры расчётов траекторий.

В третьей главе разрабатываются модели базовых блоков ИЭМС с исполнительными механизмами параллельной структуры. Предлагаются нелинейные модели кинематики и динамики этих систем. Модели построены для ИЭМС, исполнительные механизмы которых представляют собой адаптивные платформы с приводами. Рассматриваются платформы с изменяемой и неизменяемой геометрией оснований, которые перемещаются в следящем режиме. Проведена линеаризация этих моделей, в результате которой получены формулы расчёта матрицы эквивалентной жёсткости адаптивных платформ, перемещаемых несколькими приводами с учётом линии действия приводов. Дан пример расчёта эквивалентной матрицы жесткости для гексапода. Разработан метод идентификации парциальных жесткостей приводов адаптивных платформ, с помощью которого найдена парциальная жёсткость привода гексапода PI H-810. Проведена идентификация параметров модели гексапода PI H-810.

В четвёртой главе описаны методы управления зеркальными системами (ЗС) радиотелескопов миллиметрового диапазона посредством применения ИЭМС. Проведён анализ существующих зеркальных систем радиотелескопов, методов и средств управления ими. Сделан вывод, что использование модулей ИЭМС в качестве исполнительных механизмов элементов ЗС и опорно-поворотных устройств – это перспективное направление в создании систем управления современных радиотелескопов миллиметрового диапазона. Разработана пятиконтурная система управления ЗС радиотелескопа на основе метода автофокусировки с использованием модулей ИЭМС. Основная идея управления заключается в прогнозировании желаемых положений элементов ЗС на основе моделей динамики металлоконструкции радиотелескопа и модели прохождения радиоизлучения в ЗС радиотелескопа. Предложен алгоритм расчета аппроксимирующего параболоида главного зеркала с учётом особенностей исполнительных механизмов, с помощью которого определяются удлинения приводов адаптивной поверхности. Разработана методика нахождения управления приводами элементов зеркальной системы на основе прямого метода Ляпунова с учетом ограничений на фазовые координаты.

Пятая глава посвящена решению задач идентификации характеристик материалов в информационно-измерительной системе (ИИС) испытательного стенда с разрезными стержнями Гопкинсона-Кольского. На основе множественно-функционального подхода, описанного в главе 1, разработаны методы обработки экспериментальных данных по динамической прочности различных материалов. Показано, что задача обработки данных

экспериментов сводится к последовательности задач квадратичного программирования. Предложенные методы позволили значительно повысить точность построения характеристик и выявить новый эффект.

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна диссертации А.Ю. Кучмина сформулирована в положениях, выносимых 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 описывать разностные фильтры с различной скважностью отсчетов, а также проводить выбор параметров серии отсчетов для обеспечения оптимальной информационной насыщенности данных. Отличительной особенностью данного 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 системы, основанный на анализе типов асимптотических решений при учете физических закономерностей и соответствующих ограничений на параметры и фазовые координаты при сохранении физической адекватности модели протекающим в объекте процессам и реализуемости законов управления.

3. Метод сведения задач синтеза и идентификации систем управления динамическими объектами, сформулированных как задачи математического программирования, к эквивалентному при заданной точности множеству задач оптимизации при линейных ограничениях путём аппроксимации произвольных ограничений кусочно-полиномиальными функциями или рациональными дробями. Показано, что данный метод эффективен при расчёте оптимальных траекторий движения базовых модулей интеллектуальных электромеханических систем, так как он сводится к интервальным задачам от одной переменной, а именно времени переходного процесса.

4. Методы синтеза и идентификации сложных распределённых систем управления, на основе модели базового блока интеллектуальных электромеханических систем как

динамического объекта с параллельной кинематической схемой для управления элементами зеркальных систем больших полноповоротных радиотелескопов.

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

Автореферат диссертации полностью отражает её содержание, в нём описаны актуальность темы исследования, её цели и задачи, научная новизна, практическая значимость, обоснованность и достоверность научных положений.

Достоверность результатов диссертации подтверждается тем, что при их получении использовались строгие математические постановки, применялись обоснованные методы при их решении. Результаты подтверждены численными расчётами и сравнением с экспериментальными данными.

Теоретическая и практическая значимость работы. Важным теоретическим результатом является разработка общего подхода для идентификации и синтеза систем управления динамическими объектами с ограничениями, который заключается в сведении исходных задач к последовательности задач математического программирования и разработке методов их решения.

Следует отметить, что полученные результаты имеют практическое значение. Они могут быть использованы при создании современных высокоточных систем управления сложными физико-техническими объектами при различных ограничениях и влиянии внешних воздействий. Разработаны эффективные алгоритмы управления системами, состоящими из модулей ИЭМС, что послужит основой разработки перспективных систем управления адаптивными зеркальными системами радиотелескопов с исполнительными механизмами параллельной структуры. Разработанные методы идентификации были реализованы в виде программного комплекса обработки результатов экспериментов по динамической прочности для стенда Гопкинсона и стенда с газовой пушкой, что в значительной степени повышает их эффективность.

Апробация диссертации Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих российских и международных рецензируемых изданиях по профилю работы. В том числе входящих в базы данных Scopus и Web of Science – 10, входящих в список ВАК Минобрнауки РФ – 14. Автору принадлежат главы в двух совместных монографиях. Результаты работы отражены в 4 патентах РФ и докладывались на 8 международных и 8 российских научных конференциях.

Замечания к работе. Из возникших вопросов и замечаний необходимо упомянуть следующее:

1. В работе используются некоторые сокращения часто встречаемых словосочетаний. Целесообразно в начале работы написать подраздел «Наименование сокращений» ввести все сокращения и придерживаться этого стиля. В работе это не сделано, сокращения вводятся по тексту и не всегда используются. Например: ИИС – информационно-измерительная система, в оглавлении встречается в обоих сочетаниях, а определение вводится на с. 10. Есть и другие примеры некорректного использования или не использования сокращений. Это затрудняет восприятие текста.

2. Некорректное использование терминов из разделов науки «Теории машин и механизмов», например:

- с. 152 «В работах [8, 112-115] подробно рассматривались кинематическая и динамическая модели адаптивной платформы для случая 6 и n актуаторов». Есть устоявшиеся термины – механизм параллельной структуры с 6 -ю степенями свободы.

Заключение

Высказанные выше замечания не снижают общей положительной оценки работы. Основные результаты автора широко опубликованы в изданиях международных баз Web of Science и Scopus, списка ВАК Минобрнауки РФ, а также представлены на международных и российских конференциях. Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, имеет важное научное и практическое значение, соответствует паспорту специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)». Автореферат корректно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Кучмина Андрея Юрьевича на тему: «Идентификация и синтез систем управления динамическими объектами с ограничениями» соответствует требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней», утверждённого

постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. Диссертант, Кучмин Андрей Юрьевич, заслуживает присуждения ему научной степени доктора технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)».

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник Лаборатории
механики и систем управления приво­дов,
ФГБУН Институт машиноведения им
А.А. Благонравова Российской академии
наук (ИМАШ РАН)



Мисюрин Сергей Юрьевич

« 04 » мая 2022 г.

Адрес: 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4

Тел.: +7 (495) 628-87-30

E-mail: ssmmrr@mail.ru

Я, Сергей Юрьевич Мисюрин, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Кучмина Андрея Юрьевича, и их дальнейшую обработку.

Подпись С.Ю. Мисюрина заверяю.

Заместитель директора по научной
работе ИМАШ РАН,

доктор технических наук, профессор



Ерофеев Михаил Николаевич