

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.075.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
МАШИНОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 26.05.2022 г., протокол № 19

О присуждении **Кучмину Андрею Юрьевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Идентификация и синтез систем управления динамическими объектами с ограничениями» по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)» принята к защите 24 февраля 2022 года (протокол заседания № 18) диссертационным советом Д 002.075.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 199178, Санкт-Петербург, Большой пр. В.О., д. 61, в соответствии с приказом о создании диссертационного совета № 930/нк от 14 июля 2016 года Министерства образования и науки Российской Федерации.

Соискатель Кучмин Андрей Юрьевич, 1981 года рождения. Диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук «Управление зеркальной системой радиотелескопа миллиметрового диапазона» защитил в 2007 диссертационном совете Д002.075.01, созданном на базе Института проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН), окончил аспирантуру при Институте проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) в 2008 году, работает ведущим научным сотрудником в лаборатории интеллектуальных электромеханических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства образования и науки Российской

Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории интеллектуальных электромеханических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный консультант отсутствует.

Официальные оппоненты:

– Яковис Леонид Моисеевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор Высшей школы механики и процессов управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

– Карпенко Анатолий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой РК-6 «Системы автоматизированного проектирования» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени И.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,

– Мисюрин Сергей Юрьевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Лаборатории механики и систем управления приводах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им А.А. Благоднарова Российской академии наук (ИМАШ РАН)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Борисовым Олегом Игоревичем, кандидатом технических наук, заместителем декана по учебной работе факультета систем управления и робототехники, и утвержденном Никифоровым Владимиром Олеговичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе, указала, что

создание управляющих систем сложными объектами остаётся важной проблемой в современной теории и практики автоматического управления. Большой интерес в этой области представляют разработки систем реального времени для управления сложными физико-техническими системами, которые в основном являются динамическими объектами, действующими в условиях неопределённости и всевозможных ограничений, в том числе

интервальных. Данная проблема имеет много аспектов, к которым следует отнести сложность описания, моделирования и прогнозирования поведения подобных объектов и системы управления в целом. Современный подход в построении таких систем основан на применении технологий проактивного управления, заключающегося в возможности прогнозировать варианты поведения объекта управления и внешней среды, влияющей на объект управления, планировать и реализовывать управление в соответствии с выбранными критериями и ограничениями. Построение таких прогнозирующих моделей и их уточнение должно выполняться в контуре управления. Эти тенденции нашли отражение в диссертационной работе А.Ю. Кучмина, посвященной разработке методов идентификации и синтеза систем управления динамическими объектами, функционирующими в условиях различных ограничений. Таким образом, развитие данного подхода находится в соответствии с основными перспективными направлениями в создании высокоточных систем управления сложными физико-техническими объектами, и тема диссертационного исследования А.Ю. Кучмина представляется актуальной.

В качестве теоретической значимости диссертации следует отметить разработку методов синтеза и идентификации систем управления динамическими объектами, функционирующих в условиях ограничений. Предлагаемые методы объединены одной идеей, которая заключается в сведении задач идентификации и синтеза к последовательности задач математического программирования, что позволяет эффективно учитывать различные ограничения.

Полученные результаты имеют большую практическую значимость и могут быть использованы при создании высокоточных систем управления сложными физико-техническими объектами. Предложены методы и алгоритмы управления интеллектуальными электромеханическими системами с исполнительными механизмами параллельной структуры, которые могут использоваться при создании высокоточных станков, транспортных средств, манипуляторов и т.д. Разработанная система управления адаптивной зеркальной системой может быть использована при создании перспективных радиотелескопов миллиметрового диапазона. Предложенные методы идентификации позволят повысить эффективность обработки экспериментальных данных по динамической прочности материалов для установки с разрезным стержнем Гопкинсона-Кольского и стенда с газовой пушкой.

Отмечается, что диссертационная работа А.Ю. Кучмина на тему: «Идентификация и синтез систем управления динамическими объектами с

ограничениями» вносит значительный вклад в решение крупной научной проблемы создания высокоточных систем управления динамическими объектами с учётом влияния различного рода ограничений и внешних воздействий. Диссертационная работа является завершённым научным исследованием, выполненным на высоком научном уровне, соответствует паспорту специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)» и имеет важное научное значение и практические приложения. Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук в соответствии с Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, 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)».

В отзыве ведущей организации, рассмотренном и одобренном на научном семинаре факультета систем управления и робототехники 05 мая 2022 года, имеются следующие замечания:

1. В первой главе используется оператор сдвига. Он имеет некоторую специфику и сложную структуру. Как он появился?

2. «Для восстановления внешнего воздействия используются идентификаторы вида... где M_1, M_2, M_3, M_4 - матрицы параметров модели». Как выбирать данные матрицы? Какова размерность идентификатора? И т.д.

3. В качестве некоторого единого подхода автор использует сведение к задачам математического программирования. В теории оптимального управления используются и другие подходы, например, динамическое программирование Р. Беллмана, принцип максимума Л.С. Понтрягина. Хотелось бы видеть сравнение с альтернативными подходами.

Соискатель имеет 65 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 43 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 24 работы (14 работ входят в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора наук, 10 работ входят в международную реферативную базу данных Scopus). Соискатель по теме диссертации имеет главы в двух совместных монографиях и 4 патента Российской Федерации.

Основные результаты автором апробированы в полной мере и соответствуют содержанию диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, вида,

авторского вклада и объема научных изданий.

Наиболее значительными работами Кучмина А.Ю. являются:

Scopus

1. Кучмин А.Ю. Проблемы идентификации нестационарных динамических объектов // Информационно-управляющие системы. 2018. № 2. С. 18–25.

2. Индейцев Д.А., Мещеряков Ю.И., Кучмин А.Ю., Вавилов Д.С. Многомасштабная модель распространения стационарных упругопластических волн. Доклады Академии наук. 2014. Т. 458. № 2. С. 165.

3. Indeitsev D.A., Meshcheryakov Y.I., Kuchmin A.Y., Vavilov D.S. Multi-scale model of steady-wave shock in medium with relaxation. Acta Mechanica. 2015. Т. 226. № 3. pp. 917-930.

4. Kuchmin A.Yu., V.V. Dubarenko Linearized Model of the Mechanism with Parallel Structure. Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System. Gorodetskiy A.E., Kurbanov V.G. (Eds.) Springer International Publishing AG, DOI 10.1007/978-3-319-53327-8_13, 2017. pp. 169-200.

5. Kuchmin A.Yu. Dubarenko V.V. Definition of a Rigidity of a Hexapod. Smart Electromechanical Systems. Gorodetskiy A.E. (Ed.) Springer International Publishing Switzerland, 2016. pp. 159-163.

6. Кучмин А.Ю., Абрамян А.К., Петров Ю.В., Смирнов И.В., Брагов А.М. Структурно-временные и импульсные характеристики динамического разрушения некоторых строительных материалов. Доклады Академии наук. 2017. Т. 472. № 1. С. 36-39.

7. Kuchmin, Andrey Yu. Group Interaction of SEMS Modules at Control of an Adaptive Surface of the Main Dish, Smart Electromechanical Systems. Group Interaction. Editors: Gorodetskiy, Andrey E., Tarasova, Irina L. (Eds.) Springer Nature Switzerland AG, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-99759-9_15, 2018. — 183-192 pp.

8. Kuchmin, Andrey Yu. Identification of Dynamics of Modules SEMS, Smart Electromechanical Systems. Group Interaction. Editors: Gorodetskiy, Andrey E., Tarasova, Irina L. (Eds.) Springer Nature Switzerland AG, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-99759-9_16, 2018. — 193-202 pp.

9. Kuchmin A.Yu. Test Model of a Warehouse Loader Robot for Situational Control Analysis System. Smart Electromechanical Systems. Situational Control. Editors: Gorodetskiy, Andrey E., Tarasova, Irina L. (Eds.) Springer Nature Switzerland AG, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-32710-1_19, 2019. - 245-258 pp.

10. Kuchmin A.Yu. Synthesis of Optimal Program Control for Synchronizing the Movements of a Group of SEMS Modules Smart Electromechanical Systems. Behavioral Decision Making. Editors: Gorodetskiy, Andrey E., Tarasova, Irina L. (Eds.) Springer Nature Switzerland AG, 2021, pp. 81-94.

Список ВАК Минобрнауки РФ

11. Кучмин А.Ю. Моделирование эквивалентной жесткости адаптивных

платформ с исполнительными механизмами параллельной структуры // Информационно-управляющие системы. 2014. № 3(70). С. 30–39.

12. Абрамян А.К., Миранцев Л.В., Кучмин А.Ю. Моделирование течения куэтта простой жидкости в плоском канале наноразмерной высоты. Математическое моделирование. 2012. Т. 24. № 4. С. 3-21.

13. Кучмин А.Ю. Об одном методе нелинейного программирования с произвольными ограничениями. Информационно-управляющие системы. 2016. Т. 81. № 2. С. 2-10.

14. Кучмин А.Ю. Анализ полиномиальных ограничений методом дерева решений // Информационно-управляющие системы. 2017. № 6(91). С. 9–14.

15. Артеменко Ю. Н., Агапов В. А., Дубаренко В. В., Кучмин А. Ю. Групповое управление актуаторами контррефлектора радиотелескопа // Информационно-управляющие системы. 2012. № 4. С. 2–9.

16. Городецкий А. Е., Курбанов В. Г., Тарасова И. Л., Кучмин А. Ю. Электроприводы системы логического управления положением контррефлектора космического радиотелескопа // Антенны. 2011. №4. С. 52-55.

17. Городецкий А. Е., Курбанов В. Г., Тарасова И. Л., Кучмин А. Ю. Структура системы логического управления положением контррефлектора космического радиотелескопа // Антенны. 2011. № 4. С. 56-59.

18. Артеменко Ю. Н., Городецкий А. Е., Дубаренко В. В., Кучмин А. Ю., Тарасова И. Л. Проблемы создания систем адаптации космических радиотелескопов // Информационно-управляющие системы. 2010. № 3. С. 2-8.

19. Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Метод повышения качества наведения большого радиотелескопа миллиметрового диапазона с адаптивной зеркальной системой / Информационно-управляющие системы - 2007. -№5 с. 14-19.

20. Артеменко Ю.Н., Городецкий А.Е., Дубаренко В.В., Дорошенко М.С., Кучмин А.Ю. Проблемы обработки и передачи информации в локальной вычислительной сети системы управления радиотелескопа. Информационно-управляющие системы. 2009. № 4. С. 2-8.

21. Артеменко Ю.Н., Городецкий А.Е., Дорошенко М.С., Коновалов А.С., Кучмин А.Ю., Тарасова И.Л. Особенности выбора электроприводов зеркальной системы космических радиотелескопов. Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 1. С. 26-31.

22. Артеменко Ю.Н., Городецкий А.Е., Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Агапов В.А. Анализ динамики систем автоматического управления актуаторами контррефлектора космического радиотелескопа. Информационно-управляющие системы. 2011. № 6. С. 2-6.

23. Городецкий А.Е., Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю. Гироскопический гид системы наведения радиотелескопа. Гироскопия и навигация. 2006. № 4 (55). С. 99.

24. Кучмин А.Ю., Абрамян А.К. Применение математического программирования для анализа экспериментальных данных.

Информационно-управляющие системы. 2014. № 6 (73). С. 20-28.

Патенты:

25. Система автоматического наведения радиотелескопа / Городецкий А. Е., Дубаренко В. В., Артеменко Ю. Н., Парщиков А. А. Гиммельман В. Г., Кучинский Г. С., Мозгов А. П., Кучмин А. Ю., патент на изобретение (заявка №2006125897) ФИПС от 03 июля 2007.

26. Агапов В.А., Городецкий А.Е., Кучмин А.Ю., Селиванова Е.Н. Медицинский микроробот. Патент на изобретение RUS 2469752 20.05.2011

27. Артеменко Ю.Н., Баду Е.И., Городецкий А.Е., Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Тарасова И.Л. Антенна радиотелескопа. Патент на изобретение RUS 2421765 09.02.2010.

28. Способ адаптации отражающих поверхностей антенны. Артеменко Ю.Н., Городецкий А.Е., Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Тарасова И.Л., Галушкин А.И., Агапов В.А. Патент на изобретение RU 2518398 C1, 10.06.2014. Заявка № 2012149627/07 от 20.11.2012

Монографии:

29. Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Артеменко Ю.Н. Радиотелескопы; Ин-т проблем машиноведения Рос. акад. наук (ИПМаш РАН). — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. — 546 с.

30. В.В. Дубаренко, А.Ю. Кучмин, Ю.Н. Артёменко, В.Ф. Шишлаков. Радиотелескопы миллиметрового диапазона с регулируемыми поверхностями зеркал: монография - СПб.: ГУАП, 2019. - 239 с. ISBN 978-5-8088-1378-6, DOI 10.17513/np.368

На диссертацию и автореферат поступило **8 положительных отзывов** от следующих специалистов и организаций:

1. Отзыв старшего научного сотрудника Астрокосмического центра Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук", к.т.н. Архипова Михаила Юрьевича с замечанием:

– Стоит отметить, что предлагаемый в главе 4 подход к адаптации панелей ГЗ, использующий в качестве критерия не только минимизацию СКО поверхности, но и сумму ходов штоков актюаторов снижает эффективность адаптации панелей. Кроме того, упоминаемые пьезоактюаторы для окончательной корректировки формы отражающей поверхности не учитываются в предлагаемой математической модели.

2. Отзыв организации АО "Научный центр прикладной электродинамики" (НЦ ПЭ). Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании научно-технического семинара от 25 апреля 2022, протокол №2. Подписан: генеральный директор АО НЦ ПЭ, д.т.н., профессор Щесняк Сергей Степанович. Отзыв содержит следующие замечания:

– Практическая значимость работы не подтверждена актами использования полученных результатов.

– Не выделена теоретическая значимость работы.

– Отсутствует раздел подтверждения соответствия диссертационных исследований паспорту специальности.

– При рассмотрении задач управления зеркальными системами радиотелескопов с адаптивной поверхностью главного зеркала не указаны требуемые (расчётные) и достигнутые точности позиционирования щитов главного зеркала.

– На рисунке 3 автореферата не читаются обозначения осей координат.

3. Отзыв директора Высшей школы киберфизических систем и управления Института компьютерных наук и технологий, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, д.т.н., профессора Шкодырева Вячеслава Петровича. Отзыв содержит следующие замечания:

– Из автореферата не понятно, как при синтезе и идентификации сложных плохо формализуемых объектов управления решается одна из ключевых задач идентификации – выбора размерности модели объекта, обоснования размерности и выбранных диапазонов её значений и критерия эффективности подобной модели.

– Применение генетического алгоритма, используемого автором в задаче обучения и оптимизации управления, требует более чёткого определения критерия его эффективности.

4. Отзыв заведующей кафедрой "Инноватики и интегрированных систем качества" Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», д.т.н., доцента Фроловой Елены Александровны. Отзыв содержит следующие замечания:

– В автореферате не указано, каким образом формируются системы ограничений, почему вводятся ограничения в виде неравенств?

– Следовало бы подробнее описать, как выполнялось численное решение задач математического программирования при анализе экспериментальных данных в главе 5.

5. Отзыв профессора кафедры "Электротехника" Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», д.т.н., профессора Шилина Александра Николаевича. Отзыв содержит следующее замечание:

– Не понятно почему автор на странице 22 пишет, что рассматриваются модели кинематики и механики. Разве кинематические модели не относятся к механическим?

6. Отзыв ведущего научного сотрудника Института информатики и математического моделирования — обособленного подразделения

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИИММ КНЦ РАН), д.т.н., профессора Фридмана Александра Яковлевича. Отзыв содержит следующие замечания:

- При построении идентификаторов в первой главе использован «матричный оператор сдвига во временной области», который имеет довольно сложную структуру. Как он соотносится с классическим оператором запаздывания? Какие он имеет преимущества?

- На с. 8 утверждается, что «На небольших выборках измерительных данных на качество идентификации существенно оказывают влияния значения начальных условий динамического объекта. Для учёта начальных условий предлагается введение матрицы S , составленной из нулей и единиц.» Каким образом проявляется в этой матрице влияние начальных условий?

- В автореферате не указана область применимости предложенных методов по классу динамических объектов.

7. Отзыв организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН). Подписан: научный руководитель ИПА РАН, д.т.н., профессор Ипатов Александр Васильевич. Отзыв содержит следующие замечания:

- Предложенная концепция базовых блоков ИЭМС хорошо соответствует современным возможностям распараллеливания вычислительных алгоритмов, неотъемлемой составляющей систем управления верхнего уровня для сложных объектов, однако предложенный подход не распространён на саму систему управления, аппаратная часть которой также может представлять собой динамический объект со своим набором ограничений, как постоянных, так и быстро меняющихся.

- В качестве практического применения представленная система управления адаптивной поверхности радиотелескопа миллиметрового диапазона. Однако объектом управления является законсервированный проект РТ-70 на плато Суффа. К сожалению, практическое применения не распространено на действующие аналоги этого радиотелескопа.

8. Отзыв заведующего кафедрой "Системы приводов, мехатроника и робототехника" Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, д.т.н., профессора Стажкова Сергея Михайловича. Отзыв содержит следующие замечания:

- В автореферате сказано, что «метод многомерных оболочек был применён для расчёта траекторий движения модулей ИЭМС, где была продемонстрирована его эффективность перед стандартными методами нелинейного программирования». Из автореферата не понятно, с какими методами проводилось сравнение?

- В автореферате не приведены численные примеры расчёта траекторий движения модулей интеллектуальных электромеханических систем.

Во всех отзывах указывается, что автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются компетентными и авторитетными учёными в области управления динамическими объектами, а также проектирования и оптимизации систем управления, а ведущая организация является одним из крупнейших научных центров в области исследований, создания и идентификации систем управления, робототехники, технической кибернетики и мехатроники, в котором работают такие авторитетные в данной области учёные, как д.т.н., профессор В.О. Никифоров, д.т.н., профессор А.А. Бобцов, д.т.н., профессор С.А. Колюбин, д.т.н., профессор А.А. Пыркин, д.т.н., профессор О.А. Степанов и многие другие.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан 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 отсчётов 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.

Предложен 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.

Разработан 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.

Предложены 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.

Разработаны 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.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **разработаны** методы синтеза и идентификации систем управления динамическими объектами, функционирующими в условиях ограничений и влияния внешних воздействий. Предлагаемые методы объединены одной идеей, которая заключается в сведении задач идентификации и синтеза к последовательности задач математического программирования, что позволяет эффективно учитывать различные ограничения.

В диссертации **предложен и реализован** метод сведения и решения задач синтеза и идентификации систем управления динамическими объектами, сформулированных как задачи оптимизации с произвольными ограничениями к множеству задач оптимизации с линейными ограничениями при заданной точности, основанном на **разработанном** в диссертации методе нелинейного программирования (метод многомерных оболочек). Важным достоинством данного метода является его применимость при наличии недифференцируемых функций и для многосвязной области допустимых значений задачи математического программирования, к которой сводится исходная задача идентификации и синтеза системы управления.

Разработана четырехуровневая система управления сложными объектами на основе интеллектуальных электромеханических систем с исполнительными механизмами параллельной структуры, учитывающая нестационарность параметров таких систем, влияние внешних воздействий и ограничений, определяющих режимы функционирования подобных объектов.

Разработаны модели кинематики и динамики интеллектуальных электромеханических систем с исполнительными механизмами параллельной структуры как объектов управления, предложены методы их идентификации. На основе этих моделей для n -пода получены формулы расчёта нестационарной эквивалентной матрицы жесткости, а также предложена методика идентификации парциальной жесткости линейного привода n -пода. **Доказано**, что эквивалентная матрица жесткости существенным образом зависит от перемещений n -пода и ориентации его линейных приводов. Если данное влияние не учтено, то это снижает эффективность управления подобными объектами.

На основе прямого метода Ляпунова **разработан** оригинальный метод для решения задач управления динамическими объектами в условиях ограничений на управляющие и фазовые переменные. Идея предложенного метода заключается в дополнении функции Ляпунова штрафными слагаемыми от ограничений, что позволяет получить алгоритм релейного управления, удобный для реализации средствами вычислительной техники.

Предложена пятиконтурная система управления полноповоротным радиотелескопом с адаптивными отражающими поверхностями на основе интеллектуальных электромеханических систем с учётом особенностей их исполнительных механизмов, таких как ограничение на перемещения штоков актуаторов и линии их действия, с использованием прогнозирующих моделей перемещений и деформации пространственной металлоконструкции, приводов наведения и электродинамики зеркальной системы радиотелескопа. Эти модели используются для расчёта желаемых положений элементов зеркальной системы для организации проативного управления. Нахождение управляющих воздействий адаптивными поверхностями формируются как задачи математического программирования.

Для информационно-измерительных систем стенов с газовой пушкой и с разрезным стержнем Гопкинсона-Кольского, используемых для анализа материалов на ударную прочность, **разработаны** методы обработки экспериментальных данных и идентификации параметров моделей поведения материалов при ударном нагружении. Показано, что анализ данных экспериментов динамического разрушения материалов с помощью разработанных методов, учитывающих влияние экспериментальной установки и информационно-измерительной системы, позволил в 2 раза повысить точность определения характеристик материалов и обнаружить новые эффекты.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что результаты диссертации могут быть использованы 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. В диссертации предложена система управления большим полноповоротным радиотелескопом миллиметрового диапазона с адаптивными отражающими поверхностями, перемещаемыми с помощью исполнительных механизмов параллельной структуры на основе интеллектуальных электромеханических систем. Предложенные в диссертации методы идентификации реализованы в пакете программ для фильтрации и анализа экспериментальных данных по динамической прочности материалов для различных типов стенов в том числе установки с разрезным стержнем Гопкинсона-Кольского и стенов с газовой пушкой. Разработаны алгоритмы, учитывающие влияние экспериментальной установки, которые позволили значительно повысить точность определения характеристик материалов, что подтверждается

результатами экспериментов. Методы и модели, полученные в диссертации, стали основой 4 патентов Российской Федерации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в ходе исследования использовались:

- общепризнанные фундаментальные положения и методы общей теории управления, теории оптимального управления, теории идентификации систем, теории математического программирования, математической статистики, теоретической и аналитической механики, динамики и кинематики машин;
- общепринятые современные средства и методы проведения имитационного компьютерного и экспериментальных исследований;
- модели систем управления и их элементов, эффективность которых подтверждается аналитическими и экспериментальными исследованиями.

Личный вклад соискателя состоит в:

- непосредственном участии в формулировке и постановке целей и задач диссертационного исследования;
- разработке предложенных в диссертации методов идентификации и синтеза систем управления динамических объектов, функционирующих в условиях ограничений и внешних воздействий;
- разработке идентификаторов систем управления квазистационарных, нестационарных динамических объектов при наличии ограничений на основе метода наименьших;
- разработке идентификаторов систем управления нестационарных нелинейных динамических объектов при наличии ограничений на основе множественно-функционального подхода с использованием базисных функций;
- разработке алгоритмов и программ, реализующих предложенные в диссертации методы;
- разработке моделей интеллектуальных электромеханических систем с исполнительными механизмами параллельной структуры как объектов управления;
- решении задач: идентификации линейного электропривода исполнительного механизма контррефлектора радиотелескопа миллиметрового диапазона; идентификации параметров профиля скорости свободной поверхности мишени при высокоскоростном ударе для информационно-измерительной системы стенда с газовой пушкой; идентификации и анализе данных модельных расчётов наноразмерных систем методами молекулярной динамики на примере течения жидкости в наноразмерном канале; обработке результатов экспериментов, полученных на стенде Гопкинсона, и идентификации характеристик материалов на ударную прочность;
- разработке программного обеспечения для обработки экспериментальных данных, получаемых в информационно-измерительных

системах стендов с газовой и с разрезным стержнем Гопкинсона-Кольского;

- в непосредственном участии в разработке системы управления полноповоротным радиотелескопом миллиметрового с адаптивными отражающими поверхностями;

- непосредственном участии в подготовке всех публикаций по представленной работе и апробации результатов исследования на основных всероссийских и международных конференциях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- 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 (метода ММО). Не выполнено сравнение эффективности метода ММО с указанными методами.

- Предложенный и разработанный в диссертации метод 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.

- Важным достоинством предложенного и разработанного в диссертации метода 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 метод ММО.

- При идентификации управляемых объектов нередко возникают серьезные проблемы, связанные с необходимостью подачи специальных тестовых воздействий для наблюдения реакции на них идентифицируемого процесса. При этом возникает коллизия между стремлением «раскачать» объект идентификации и противоположным требованием его стабилизации на заданном уровне. В диссертационной работе, однако, вопросы дуального управления не рассматриваются.

Соискатель Кучмин А.Ю. согласился с замечаниями, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию и указал, что задачи идентификации и синтеза систем управления, рассмотренные в диссертации, сформулированные как задачи математического программирования имеют сложную форму областей допустимых значений, а решение подобных задач вызывает серьезные трудности при использовании стандартных методов. Для решения этой проблемы и разрабатывался метод многомерных оболочек, основой которого является построения областей допустимых значений путём разбиения на выпуклые подобласти. Для общего случая сложно дать оценки плотности

покрытия исходной области допустимых решений. Численными экспериментами было установлено, что предлагаемая идея повышает вероятность отыскания многосвязной области допустимых значений. Соискатель отмечает, что проблема дуального управления им рассматривалась, но в диссертацию не вошла, так как была не проработана в должном объёме, это станет предметом дальнейших исследований.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842.

На заседании 26 мая 2022 г. диссертационный совет принял решение за разработку и развитие методов идентификации и синтеза систем управления динамическими объектами с ограничениями, реализованные при разработке системы управления полноповоротным радиотелескопом миллиметрового диапазона с адаптивными отражающими поверхностями с исполнительными механизмами параллельной структуры на основе интеллектуальных электромеханических систем и использованные при разработке программного обеспечения обработки данных экспериментов для информационно-измерительных систем стендов анализа материалов на ударную прочность, присудить Кучмину Андрею Юрьевичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени – 14, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета Д 002.075.02,
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор



Беляев
Александр Константинович

Врио ученого секретаря
диссертационного совета Д 002.075.02,
д.т.н., профессор



Фуртат
Игорь Борисович

26.05.2022 г.