

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.107.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22.11.2021 № 3

О присуждении Антипову Алексею Семеновичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Блочный метод синтеза сигмоидальных обратных связей для мехатронных систем при действии возмущений» по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации» принята к защите 18 августа 2021 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.107.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, 117997, ГСП-7, В-342, г. Москва, Профсоюзная, 65, приказ Минобрнауки России от 11 апреля 2012 г. № 105/нк.

Соискатель Антипов Алексей Семенович, 04.11.1992 года рождения, в 2016 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», в 2020 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, работает в должности научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории № 37 «Системы с разрывными управлениями» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Краснова Светлана Анатольевна, главный научный сотрудник лаборатории № 37 «Системы с разрывными управлениями» Федерального бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Темкин Игорь Олегович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы управления» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»;

Макаров Дмитрий Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), г. Москва в своем положительном отзыве, подписанном Костиным Георгием Викторовичем, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории механики управляемых систем ИПМех РАН, Голубевым Алексеем Евгеньевичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории механики систем ИПМех РАН, указала, что диссертация Антипова А.С. на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, которая выполнена на высоком уровне. Она отвечает всем предъявляемым требованиям к кандидатским диссертациям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Антипов Алексей Семенович заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации».

Заключение ведущей организации имеет следующие замечания:

1. В разделе 2.3 в базовой теореме 2.1 строго доказаны принципы настройки параметров сигмоидальной обратной связи для системы общего вида (2.33), правые части дифференциальных уравнений которой описываются всюду ограниченными функциями. Однако модели всех рассматриваемых в работе мехатронных систем имеют в правых частях линейные неограниченные члены, но теоретические обобщения в виде теоремы для таких систем в работе не представлены.

2. В разделе 2.4 для объекта (2.67) – перевернутого маятника, желательно было бы дать схему с пояснением, как отсчитывается угол. Иначе не понятно, отслеживаются траектории в окрестности неустойчивого или устойчивого положения равновесия.

3. В разделе 4.1 при описании двухроторной электромеханической системы (4.1) используется упрощенная модель сил сухого трения.

4. В разделе 4.2 синтез базового закона управления выполнен с учетом ограничений на переменные состояния, но оценка времени регулирования отсутствует.

5. В разделе 5.1 при описании объекта управления – однобалочного мостового крана, используется упрощенная модель (5.1), в которой не учитываются движение рельс вместе с ходовой тележкой, а также изменение высоты при подъеме и опускании груза (полагается только одномерное движение тележки вдоль рельс).

6. Синтез редуцированных наблюдателей состояния в разделах 3.4, 4.3 и 5.2 рассматривается в детерминированной постановке. Практическая проблема наличия шумов в измерениях в работе не исследована.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки работы и являются скорее пожеланиями для дальнейших исследований.

Соискатель имеет 33 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 работ, из них 11 работ – в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, 3 работы – в научных

изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных Russian Science Citation Index (RSCI). Все статьи опубликованы соискателем в соавторстве с научным руководителем, Красновой С.А. В статьях в рамках решения фундаментальной проблемы теории и практики автоматического управления – подавления воздействия на регулируемые переменные несогласованных возмущений – в рамках блочного подхода разработаны декомпозиционные процедуры синтеза нелинейных сигмоидальных обратных связей применительно к мехатронным объектам управления с учетом их особенностей. Получены робастные и универсальные алгоритмы управления, обеспечивающие заданные характеристики процесса слежения при различных режимах работы и не требующие перенастройки при изменении условий эксплуатации и внешних факторов в допустимых пределах. Его личный вклад состоит в формализации математических моделей объектов управления, обосновании и разработке методов решения задач управления и наблюдения, результатах численного моделирования. Наиболее значительными являются следующие работы:

Krasnova S.A., Antipov A.S. Hierarchical Design of Sigmoidal Generalized Moments of Manipulator under Uncertainty // Automation and Remote Control. 2018. Vol. 79. No. 3. P. 554–570.

Антипов А.С., Краснова С.А. Блочный синтез системы слежения для двухроторной электромеханической системы при ограничениях на переменные состояния // Прикладная математика и механика. 2021. Т. 85. № 1. С. 3–20.

Антипов А.С., Краснова С.А. Система стабилизации положения тележки крана с использованием сигмоидальной функции // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20. № 10. С. 609–614.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов, все положительные:

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА — Российский технологический университет» (МИРЭА), Арзамасский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (АПИ НГТУ), Федеральное государственное бюджетное учреждение наук «Институт проблем машиноведения Российской академии наук» (ИПМаш РАН), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ТГУ), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).

Во всех отзывах отмечается актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, соответствие ее специальности 2.3.1 и требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, на основании пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 11.09.2021).

В поступивших отзывах содержались следующие основные замечания.

Из отзыва на автореферат д.т.н., доцента, директора Института компьютерных технологий и информационной безопасности ЮФУ Веселова Геннадия Евгеньевича:

1. В качестве одной из улучшаемых характеристик замкнутой системы выступает величина перерегулирования, однако значение данной характеристики не является постоянным в случае нелинейных систем и зависит от начальных условий.

2. Исходя из текста автореферата в главе 4 рассматривается двухроторная электромеханическая система с двумя электроприводами, однако уравнение (23),

описывающее динамику изменения момента сил на валу, не содержит уравнений обратной ЭДС.

3. В разделе 4.3 не содержится допустимого уровня шумов в измерениях, при котором синтезированный наблюдатель сохраняет работоспособность.

В отзыве д.т.н., профессора кафедры проблем управления МИРЭА Карабутова Николая Николаевича отмечается, что в работе не рассматривается вопрос наличия шумов в измерениях, которые всегда имеются на практике.

Из отзыва на автореферат д.т.н., профессора, заведующего кафедрой прикладной математики АПИ НГТУ Пакшина Павла Владимировича:

1. В разделе 5.1 на стр. 17 рассматривается упрощенная математическая модель ходовой тележки однобалочного мостового крана, перемещающей груз, закрепленный на стержне. В частности, не учтена динамика исполнительного устройства. Из текста автореферата непонятно, насколько изменится характер переходных процессов регулируемых переменных при применении разработанных методов синтеза к более полной динамической модели объекта управления.

2. Учитывая прикладной характер работы, в автореферате следовало бы в большей степени представить и обсудить результаты имитационного моделирования, а также особенности практической реализации разработанных алгоритмов управления.

Из отзыва на автореферат д.т.н., профессора, ведущего научного сотрудника ИПМаш РАН Фуртата Игоря Борисовича:

1. Основные результаты работы носят качественный, а не количественный характер. Например, из Леммы 2.1 не понятно, как определять числа \bar{k}, \bar{m} существование которых только предполагается, но конкретные значения которых нужны для формирования закона управления. Как соискатель находил данные значения при решении прикладных задач в диссертации?

2. В разделе 2.2 ставится задача управления с ограничением на фазовые переменные. Однако если учесть, что 1) параметры регулятора не рассчитываются, а предполагается только их существование, 2) цель управления – заданное качество управления в установившемся режиме, но не в переходном, то как обеспечить

заданные ограничения на фазовые переменные и в любой момент времени? В частности, не понятно, каким образом закон управления (11) учитывает ограничения на фазовые переменные.

3. Теоретическая часть работы связана с синтезом сигмоидальных законов управления. Однако в законе управления (30) используется еще и пропорциональный регулятор. Почему нельзя было решить задачу с использованием только сигмоидального закона управления? В чем его недостаток в данной задаче?

Из отзыва на автореферат к.т.н., доцента, нач. НИЛ-17 «Мехатроника и автоматика» НИЧ ТГУ Шаврина Павла Аркадьевича.:

1. В работе повсеместно рассматриваются объекты с максимальной относительной степенью, и к тому же обладающие свойством знакопостоянства функций при фиктивных управлениях в каноническом представлении. Такие благоприятные условия далеко не всегда имеют место на практике, особенно, когда соответствующие датчики не могут быть установлены, например, при эксплуатации в полевых условиях, в агрессивных средах, на микросистемном уровне и т.д. Как следствие, возникающая при этом нулевая динамика может существенно ограничить возможность применения представленных алгоритмов. Учет этих обстоятельств позволил бы более тщательно очертить круг задач, решаемых в рамках предлагаемых подходов.

2. Вид сигмоидальной обратной связи ориентирован на алгоритмы, эквивалентные в своей аналогии покомпонентным методам синтеза скользящих режимов. В этой связи было бы уместным рассмотреть и другие виды сигмоидальных функций с возможностью применения векторных принципов организации движений, аналогичных, например, унитарному управлению, симплексным алгоритмам и др.

3. Имеют место отдельные опечатки, например, в формулах (3), (22).

Из отзыва на автореферат д.т.н., профессора кафедры автоматки НГТУ Юркевича Валерия Дмитриевича:

1. Из текста автореферата остается неясным вопрос: Каким образом осуществляется выбор параметров сигмоидальных обратных связей исходя из требований на величину ошибки слежения, а также ограничений на переменные состояния и управление?
2. В автореферате на 8-й странице допущена опечатка в выражении (3), что с формальной точки зрения влечет некорректность формулировок лемм 2.1 и 2.2, где имеет место ссылка на формулы (2), (3).
3. В первом абзаце на стр. 11 автореферата приведено утверждение – «При этом устраняется проблема всплесков в начале переходных процессов, характерных для систем с линейными управлениями с большими коэффициентами». Из текста автореферата неясно, всплесков чего? Каких переменных? Отсутствует математическое обоснование данного утверждения.
4. На стр. 12 автореферата во второй строке снизу в выражении для $\phi(t)$ присутствует g_2 , что противоречит введенному обозначению для функции $g(t)$ в 5-й строке сверху на стр. 12. В выражении для $\phi(t)$ вместо g_2 должна быть 2-я производная функции $g(t)$.

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н., доцента МГТУ им. Н. Э. Баумана Фетисова Дмитрия Анатольевича отмечается, что в нем недостаточно представлены результаты моделирования.

Из отзыва на автореферат д.т.н., проф. кафедры «Системы автоматического и интеллектуального управления» МАИ Бусурина Владимира Игоревича:

1. Некоторые преобразования и математические выводы изложены в автореферате крайне сжато, что затрудняет их восприятие и понимание.
2. Автором в комментариях в ходе доказательства теоремы 2.1 отмечается использование принципа разделения движений; однако, в автореферате отсутствует описание метода, реализующего данный принцип.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием

публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложен новый тип нелинейных обратных связей в виде S-образных сигма-функций, которые обеспечивают в замкнутой системе подавление несогласованных возмущений с заданной точностью и позволяют учитывать имеющиеся ограничения на переменные состояния и управления;

разработана процедура блочного синтеза сигмоидальных локальных связей с заданной точностью и временем стабилизации ошибки слежения для одноканальных систем слежения при действии несогласованных возмущений;

разработан метод синтеза редуцированного наблюдателя с сигмоидальной коррекцией для оценивания обобщенных скоростей по измерениям обобщенных координат, не требующий точного знания массо-инерционных характеристик механической подсистемы;

предложены решения задач управления конкретными мехатронными объектами с учетом их особенностей на основе разработанных подходов: полноприводным роботом-манипулятором, двухроторной электромеханической системой, ходовой тележкой однобалочного мостового крана;

показана перспективность использования на практике полученных методов и алгоритмов при синтезе систем управления электромеханическими объектами, функционирующих при действии внешних несогласованных возмущений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны леммы о существовании и выборе параметров сигмоидальной обратной связи, приводящем к стабилизации переменной состояния и ее производной с заданной точностью и за заданное время, для элементарной возмущенной нелинейной системы первого порядка;

доказана теорема о существовании и выборе параметров сигмоидальных обратных связей, обеспечивающем стабилизацию ошибки слежения с заданной

точностью и за заданное время, для нелинейной системы в треугольном виде с внешними и параметрическими несогласованными возмущениями;

формализованы процедуры настройки параметров обратных связей;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы современной теории управления: разделения движений в классах систем с большими коэффициентами и разрывными управлениями, функционирующими в скользящем режиме, блочный подход, теория наблюдателей состояния и возмущений;

изложены современные методы синтеза управления мехатронными системами;

раскрыта необходимость разработки новых эффективных методов обеспечения инвариантности регулируемых переменных по отношению к негладким возмущениям, несогласованным с истинными управлениями.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что **определены** перспективы практического использования разработанных алгоритмов управления мехатронными системами в условиях действия внешних неконтролируемых возмущений; разработаны и приняты к испытаниям алгоритмы управления для однобалочных мостовых кранов типа СХТС10-TON ООО «Меридиан», используемых для транспортировки груза на складском логистическом комплексе в Астраханской области (Черноярский район, с. Солодники), что подтверждается актом о внедрении результатов диссертационной работы.

Оценка достоверности результатов выявила: для экспериментальных работ – воспроизводимость результатов при многократном применении на различных электромеханических объектах; **теория** построена на известных, проверяемых данных и согласуется с опубликованными результатами по теме диссертации и по смежным направлениям; **идеи** базируются на анализе и обобщении современных методов теории и практики автоматического управления.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии соискателя в получении теоретических результатов и проведении экспериментов.

Соискатель Антипов А.С. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, согласился с замечаниями из отзывов на автореферат и диссертацию.

На заседании 22 ноября 2021 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи – подавления воздействия на регулируемые переменные несогласованных возмущений, имеющей значение для развития теории и практики автоматического управления мехатронными системами, присудить Антипову А.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 10 докторов наук по специальности 2.3.1. из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 22, против – 1, недействительных бюллетеней – 0.

Зам. директора
по научной работе К.Ф.-М.Н.



И.Н. Барабанов

Председатель диссертационного
совета 24.1.107.01 Д.Т.Н.

Б.В. Павлов

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.107.01 К.Т.Н.

Е.Ф. Жарко

22.11.2021г.