

ОТЗЫВ

официального оппонента

Макарова Дмитрия Александровича

на диссертационную работу Антипова Алексея Семеновича
«Блочный метод синтеза сигмоидальных обратных связей для
мехатронных систем при действии возмущений», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации»

Актуальность избранной темы. В диссертационной работе Антипова А.С. исследована проблема обеспечения инвариантности выходных (регулируемых) переменных объекта управления по отношению к параметрическим и внешним несогласованным возмущениям. В настоящее время некоторые важные аспекты этой проблемы до сих пор остаются недостаточно изученными. Так, например, отсутствуют аналитические решения для объектов с ограничениями на переменные состояния и управления. Кроме того, исследователи обычно ограничиваются рассмотрением частного случая согласованных возмущений, которые действуют по одним каналам с управлениями. При этом их действие либо подавляется с помощью разрывных управлений и принудительной организации скользящего режима, либо компенсируется с помощью комбинированного управления с использованием оценок, получаемых с помощью наблюдателя возмущений. В диссертационной работе рассмотрен общий случай, актуальный для практических приложений, когда возмущения не являются обязательно гладкими и не могут быть непосредственно компенсированы, так как каналы их воздействия на объект управления не совпадают с входными каналами управляющих воздействий. Проблема рассматривается без расширения пространства состояний: динамические модели возмущений в построения не вводятся, задача их идентификации не ставится. Предлагаемые решения упрощают структуру регулятора и не требуют его перенастройки при изменении характера внешних воздействий.

Оценка содержания работы и научная новизна. В работе Антипова А.С. задача обеспечения инвариантности регулируемых переменных исследуется применительно к мехатронным системам, математическое описание которых отличается существенной нелинейностью и наличием перекрестных связей. Работа опирается на современные методы теории автоматического управления, такие как теория скользящих режимов и блочный принцип управления. Основная идея и научная новизна работы связаны с развитием блочного принципа управления и применением нелинейных сигма-функций в локальных связях, что особо актуально для мехатронных систем при наличии ограничений на переменные состояния и

управления. Цель диссертационного исследования состоит в разработке метода блочного синтеза ограниченных сигмоидальных обратных связей для различных мехатронных объектов, обеспечивающих подавление с заданной точностью воздействия на выходные переменные несогласованных возмущений и не требующих восстановления внешних сигналов.

Для достижения указанной цели диссертантом получены следующие **новые научные результаты.**

1. Формализован новый тип гладких ограниченных сигмоидальных обратных связей и выбор их параметров. При выделенных условиях данные обратные связи подавляют действие аддитивных несогласованных возмущений и сочетают преимущества линейных управлений с большими коэффициентами и разрывных управлений, но, в отличие от них, реализуемы в практических приложениях.

2. Разработана декомпозиционная процедура синтеза сигмоидальных обратных связей, обеспечивающая в нелинейных одноканальных объектах заданную точность стабилизации ошибки слежения за заданное время при действии внешних несогласованных возмущений.

3. Разработан метод синтеза редуцированного наблюдателя с сигмоидальными корректирующими воздействиями для оценивания обобщенных скоростей по измерениям обобщенных координат неопределенно заданных мехатронных систем.

4. Разработана иерархическая процедура настройки амплитуд сигмоидальных управлений с неопределенной матрицей. Решена задача отслеживания траекторий, заданных в системе координат конечной точки робота-манипулятора с неопределенными массо-инерционными характеристиками.

5. Разработана процедура синтеза следящей системы с сигмоидальными обратными связями с учетом ограничений на переменные состояния и управления для двухроторной электромеханической системы с перекрестными связями, при наличии сухого трения и других несогласованных возмущений. Показано, что по сравнению с линейными фиктивными управлениями сигмоидальные локальные связи позволяют уменьшить величину перерегулирования переменных состояния.

6. Построен закон с линейной и сигмоидальной частью, решающий задачу стабилизации заданного положения ходовой тележки однобалочного мостового крана. Показано, что при действии внешних возмущений предложенный подход позволяет снизить амплитуду колебаний груза по

сравнению с ПД-регулятором, что повышает надежность и безопасность процесса транспортировки.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 149 страницах. Список цитируемой литературы включает 142 наименования.

Во введении дано обоснование актуальности, теоретической и практической ценности диссертационной работы.

В первой главе представлен класс рассматриваемых мехатронных систем. Обозначены проблемы, возникающие при управлении ими, приведен краткий обзор существующих методов управления мехатронными системами, функционирующими в условиях неопределенности.

Во второй главе обосновывается целесообразность использования сигма-функции в качестве инвариантной обратной связи. Для нелинейных одноканальных объектов управления, математическая модель которых представима в треугольной форме вход–выход, в рамках блочного подхода разработана декомпозиционная процедура синтеза сигмоидальных обратных связей. Разработанная процедура применена для синтеза системы управления перевернутым маятником, функционирующим в условиях неопределенности. Приведены результаты численного моделирования, подтверждающие эффективность разработанного подхода.

В третьей главе представлена реализация метода иерархии управлений и алгоритмизирована процедура настройки параметров сигмоидальных локальных связей в условиях неопределенной матрицы перед фиктивными управлениями. Разработанные алгоритмы конкретизированы для задачи управления движением конечной точкой трехзвенного манипулятора типа UMS-2 в цилиндрической системе координат.

В четвертой главе решена задача слежения для двухроторной электромеханической системы, математическая модель которой существенно нелинейна и параметрически неопределена, включает перекрестные связи между винтами и силы сухого трения. Показано, что с помощью блочного синтеза сигмоидальных локальных связей имеется возможность выполнить заданные ограничения на переменные состояния и управления.

В пятой главе на основе свойства пассивности системы разработан закон управления, обеспечивающий стабилизацию заданного положения ходовой тележки однобалочного мостового крана с неопределенными массо-инерционными характеристиками при действии кусочно-гладких ограниченных внешних возмущений в условиях измерений только положения тележки.

В заключении описываются основные результаты работы.

Текст автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации. Результаты работы представлены в многочисленных публикациях в рецензируемых журналах и прошли апробацию на российских и международных научно-практических конференциях.

Обоснованность и достоверность результатов. Материал диссертационной работы сопровождается строгими аналитическими выкладками и имитационным моделированием. Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью применяемого математического аппарата и подтверждается результатами моделирования.

Соответствие работы паспорту специальности. Работа соответствует специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации» в части системного анализа, управления и обработки информации по пунктам паспорта специальности 1–5.

Теоретическая значимость работы состоит в детальной формализации новых типов нелинейных сигмоидальных обратных связей и разработке аналитических процедур для настройки их параметров для функционирования в условиях существенной неопределенности.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что разработанные нелинейные законы управления сочетают в себе преимущества глубоких обратных связей и разрывных управлений, но, в отличие от них, реализуемы в практических приложениях в качестве локальных обратных связей. Применение для мехатронных систем разработанных алгоритмов наблюдения, не требующих точного знания параметров объекта и внешних воздействий, позволит отказаться от установки датчиков скоростей или организовать систему аналитического резервирования измерительных приборов. Практическая значимость также подтверждается внедрением разработанных методов в системе управления однобалочным мостовым краном.

Замечания по диссертационной работе. По тексту диссертационной работы имеются следующие замечания.

1. Нет ссылок на работы автора, в которых опубликован материал второй главы.

2. В разделах 3.4, 4.3 и 5.2 вводятся наблюдатель скоростей и динамическая обратная связь. Однако строгий анализ поведения замкнутой системы с наблюдателем состояния в работе не представлен.

3. Эффективность предложенного подхода к построению следящего управления и наблюдателя для трехзвенного манипулятора стала бы нагляднее при проведении большего количества численных экспериментов, отличающихся начальными условиями и желаемыми траекториями.

4. На странице 50 диссертации утверждается, что реализация скользящих режимов с изменяемой амплитудой требует специальных дополнительных алгоритмов и наличия возможности соответствующей аппаратной реализации, что является минусом такого подхода, тогда как предложенный закон управления на основе сигма-функций уже обладает свойствами самонастройки. Однако, остается не ясным, насколько выделенные недостатки первого подхода являются критичными для практических задач и насколько законы управления, полученные с помощью предложенных в диссертации методов, лучше в плане экономичности, робастности и т.д.

5. Несмотря на явное преимущество предложенного в диссертации сигмоидального типа обратных связей в плане гладкости по сравнению с управлениями, обеспечивающими реализацию скользящих режимов высших порядков, вопрос о возможности использования последних в задачах управления для рассматриваемого класса мехатронных систем остался без подробного исследования.

6. Имеются также опечатки и неточности:

- на стр. 17 диссертации перепутан знак и вместо положительного времени рассматривается отрицательное;
- на стр. 19 под формулой (1.8) у переменной N_3 пропущен нижний индекс;
- на стр. 21 в формуле (1.10) пропущен нижний индекс у переменной Δ_1 ;
- на стр. 45 в формуле (2.12) используется символ m^* , смысл которого не поясняется;
- на стр. 68 пропущена расшифровка аббревиатуры ЭДС.

Сделанные замечания не снижают научную ценность диссертационной работы и ее положительного восприятия.

Заключение. Диссертационная работа Антипова А.С. «Блочный метод синтеза сигмоидальных обратных связей для мехатронных систем при действии возмущений» посвящена решению актуальных научно-технических проблем, выполнена на высоком научно-методическом уровне, является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемых

к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Считаю, что Антипов Алексей Семенович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Официальный оппонент:
старший научный сотрудник
Федерального исследовательского центра
«Информатика и управление»
Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук

 Д.А. Макаров
«27» октября 2021 г.

Контактная информация

Адрес: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д.44, кор.2, ФИЦ ИУ РАН

Телефон: +7-499-135-14-42

E-mail: makarov@isa.ru

Подпись Макаров Д.А. заверяю:
Начальник отдела кадров Петрова
«27» 10 2021 г.

