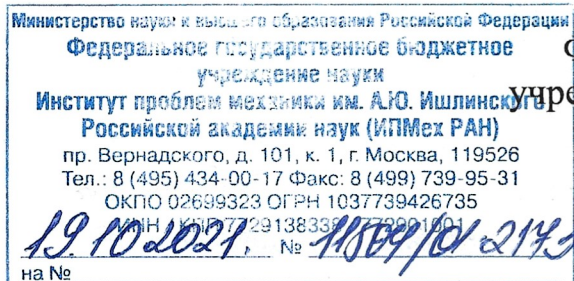


«УТВЕРЖДАЮ»

Директор



Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского

Российской академии наук

д.ф.м.н. Якуш С.Е.

октября 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук
(ИПМех РАН)

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 темы диссертационной работы

Диссертационная работа посвящена разработке эффективных методов управления электромеханическими системами, функционирующими в условиях неопределенности. Механическая подсистема описывается нелинейными дифференциальными уравнениями в лагранжевой форме, зависит от неопределенных параметров, неконтролируемых сил и моментов, которые не предполагаются гладкими и не могут быть непосредственно подавлены, так как управляющие сигналы воздействуют не на механическую, а на электрическую подсистему. Рассматриваются не только полноприводные системы, но и системы с недостатком управлений; допускается наличие неполного комплекта датчиков; принимаются во внимание ограничения, накладываемые на фазовые координаты и управляющие воздействия. Решение каждой из перечисленных проблем в существенно нелинейных и многосвязных мехатронных системах автоматического управления требует применения специальных подходов, таких как принцип декомпозиции, методы систем с переменной структурой, игровой подход, линеаризация по обратной связи и др. Но комплексное решение указанных проблем, востребованное в практических приложениях, вызывает определенные трудности. В связи с этим тема диссертационной

работы является актуальной.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (142 наименования), приложения, подтверждающего внедрение полученных результатов. Работа изложена на 149 страницах.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи, научная новизна, а также основные положения, выносимые на защиту. Изложены структура работы и краткое содержание глав.

В первой главе обосновывается необходимость в разработке новых эффективных методов обеспечения инвариантности регулируемых переменных по отношению к негладким возмущениям, несогласованным с истинными управлениями. Дается описание рассматриваемых в работе механических и электромеханических объектов управления и учитываемых неопределенностей. Приведен краткий обзор современных методов управления мехатронными системами.

Во второй главе проведен анализ особенностей сигма-функции, обосновывается целесообразность ее использования в качестве инвариантной обратной связи. Для нелинейных объектов со скалярным управлением, математическая модель которых представима в треугольной форме вход–выход, в рамках блочного подхода разработана декомпозиционная процедура синтеза сигмоидальных обратных связей. Получены нижние оценки для выбора параметров регулятора, при которых обеспечиваются заданные время и точность регулирования выходной переменной. Разработанная процедура применена для построения системы управления перевернутым маятником, функционирующим в условиях неопределенности. Представлены результаты численного моделирования в системе MATLAB-Simulink.

В третьей главе представлено решение задачи управления движением конечной точкой манипулятора с электрическими исполнительными устройствами. В рамках блочного принципа управления разработан прямой метод синтеза на основе перехода к системе дифференциальных уравнений, записанной непосредственно относительно регулируемых переменных и их производных, не требующий решения обратных задач кинематики и динамики. Реализован метод иерархии управлений и алгоритмизирована процедура настройки параметров сигмоидальных локальных связей в условиях неопределенной матрицы перед обобщенными моментами. Разработанные алгоритмы конкретизированы для задачи управления движением конечной точкой трехзвенного манипулятора типа UMS-2 в цилиндрическом рабочем пространстве.

В четвертой главе в рамках блочного подхода с сигмоидальными локальными связями получено решение задачи отслеживания заданных

сигналов угловыми положениями двухроторной электромеханической системы с неполным комплектом датчиков, функционирующей при действии внешних неконтролируемых возмущений. Показано, что использование сигма-функций в обратных связях обеспечивает: аperiodические переходные процессы регулируемых переменных; отслеживание заданных сигналов ε -инвариантно по отношению к имеющимся неопределенностям без расширения пространства состояний за счет внешних моделей; возможность учитывать проектные ограничения по скорости и управлению на стадии синтеза.

В пятой главе решается задача стабилизации заданного положения ходовой тележки однобалочного мостового крана с неопределенными массоинерционными характеристиками при действии кусочно-гладких ограниченных внешних возмущений в условиях измерений только положения тележки. На основе свойства пассивности системы построен закон управления, содержащий линейную и сигмоидальную части. Представлены результаты численного моделирования в системе MATLAB-Simulink применительно к промышленному крану CXTS10-TON.

В заключении дается краткий обзор достигнутых в работе результатов.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Соответствие 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) теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- 2) формализация и постановка задач системного анализа, управления, принятия решений и обработки информации;
- 3) разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- 4) разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- 5) разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- 1) 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;

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

3) 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;

4) разработаны иерархическая процедура настройки сигмоидальных управлений с неопределенной матрицей и алгоритм синтеза сигмоидальных обобщенных моментов в задаче управления движением конечной точкой трехзвенного манипулятора с учетом сектора цилиндрического объема, в котором находится конечная точка в текущий момент времени;

5) разработана процедура блочного синтеза сигмоидальных обратных связей с учетом ограничений на переменные состояния и управления на примере двухроторной электромеханической системы с относительным порядком равным трем;

6) разработан комбинированный закон управления с линейной и сигмоидальной составляющими для механической системы с недостатком управлений, обеспечивающий лучшие по сравнению с ПД-регулятором показатели переходных процессов в условиях воздействия внешних неконтролируемых возмущений.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечиваются строгостью применяемого математического аппарата, результатами численного моделирования и внедрением части предложенных алгоритмов.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Диссертация Антипова А.С. вносит значимый вклад в решение задач автоматического управления мехатронными системами. Теоретическая ценность связана с тем, что в ней разработаны эффективные методы управления в форме обратной связи, основанные на блочном принципе управления и использовании сигмоидальных нелинейных локальных связей. Разработанные методы позволяют обеспечить отслеживание выходными переменными объекта заданных сигналов в условиях неполной информации, когда известны только допустимые диапазоны изменения внешних воздействий и параметров системы. Результаты работы имеют практическую значимость, алгоритмы для мехатронных систем с недостатком управлений приняты к испытаниям ООО «Меридиан» для построения системы управления одноблочными мостовыми кранами типа CXTS10-TON.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе: 11 – в изданиях, проиндексированных в Web of Science/Scopus, 3 – в рецензируемых журналах, входящих в RSCI, 6 – в сборниках докладов конференций. Результаты работы прошли апробацию на 11 российских и международных научно-практических конференциях. Все результаты диссертационной работы получены А.С. Антиповым лично.

Рекомендации по использованию результатов и выводов работы

Результаты работы могут использоваться в ИПУ РАН, ИПМех РАН, ФИЦ ИУ РАН и других научных и промышленных предприятиях, а также в учебном процессе вузов, осуществляющих подготовку студентов по инженерно-техническим специальностям.

Замечания по диссертационной работе

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.

Заключение

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».

Отзыв составлен к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником лаборатории механики систем А.Е. Голубевым. Диссертационная работа и отзыв рассмотрены и одобрены на заседании семинара лаборатории механики управляемых систем ИПМех РАН, 14 октября 2021 г., протокол № 6.

Ученый секретарь семинара,
Ведущий научный сотрудник лаборатории
механики управляемых систем ИПМех РАН,
доктор физико-математических наук


Г.В. Костин

Старший научный сотрудник лаборатории
механики систем ИПМех РАН,
кандидат физико-математических наук


А.Е. Голубев

Контактная информация


Адрес: 119526, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, д. 101, корп. 1,
ИПМех РАН

Вебсайт: www.ipmnet.ru

Телефон: +7 (495) 434-00-17

E-mail: ipm@ipmnet.ru

Сведения верны, личные подписи сотрудников заверяю.

Подпись Г.В. Костин и А.Е. Голубев заверяю
Ученый секретарь
ИПМех РАН  М.А. Котов