

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Тасболатулы Нурболата на тему «Глобальное практическое слежение для неопределенных нелинейных систем высокого порядка и создание для них программного комплекса», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D070400-Вычислительная техника и программное обеспечение»

Актуальность темы исследования. В настоящее время одной из актуальных проблем теории управления является автоматическое управление системами слежения. Системы слежения широко используются в автоматическом управлении автопилотами, управлении ракетами или беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) по заданной траектории, автоматическом регулировании температуры в химической промышленности, автоматической регулировке положения поглощающих стержней в ядерных реакторах, управлении роботизированными манипуляторами на производстве и т. д. В связи с этим она играет важную роль в теории управления. В настоящее время актуально изучить вопрос об эффективном использовании БПЛА, таких как квадрокоптеры или гексакоптеры, в сельском хозяйстве или при доставке предметов медицинского назначения людям, находящимся в зоне бедствия. Полное владение знаниями в области систем управления позволяет моделировать множество сложных систем.

Нелинейные системы являются важной отраслью теории управления. Все физические системы, встречающиеся в природе, нелинейны. Линеаризованные системы используются для описания и управления системой при условии, что система не отклоняется от номинального набора текущих состояний. В противном случае линейная модель не считается эффективной и мы не получим желаемых результатов. В этом случае используются нелинейные системы. Это связано с тем, что нелинейные элементы управления могут напрямую управлять большими нелинейными системами. Даже если ранг системы достаточно мал, линеаризация не всегда возможна, поскольку существуют системы, линейное состояние которых не контролируется ни в одной точке равновесия. Для таких систем должна быть использована теория управления. Существует много видов математических инструментов анализа в теории нелинейного управления. Из-за отсутствия универсального математического метода или инструмента для нелинейного анализа тема исследования является актуальной.

В диссертации были изучены p -нормальные нелинейные системы, принадлежащие к одному классу нелинейных систем, изучены их устойчивость, асимптотическая устойчивость, стабилизация состояний системы, задачи управления и слежения. В результате проведенного исследования на компьютере были смоделированы задачи стабилизации состояний p -нормальных нелинейных систем с динамической обратной связью по выходу, задача управления выходом p -нормальной нелинейной

системы, а также задача управления p -нормальной нелинейной системы с задержкой времени.

Исследование устойчивости линейных или нелинейных систем и их управление, а также, теоретические результаты математического моделирования управления базируются на классических работах видных советских ученых, таких как, А.М. Ляпунов, Л.С. Понтрягин, Я.Н. Ройтенберг, Е.А. Барбашин Н.Н. Красовский, Н.Г. Четаев, И.Г. Малкин и др. Выдающийся казахстанский ученый доктор технических наук, профессор Т.Н. Бияров в свое время провел много исследований в этой области и основал школу теории управления. В настоящее время существует ряд отечественных ученых, занимающихся проблемами управления: М.Т. Дженалиев, С.А. Айсагалиев З.Н. Мурзабеков Ш.А. Айпанов, М.Н. Калимолдаев, Т.Ж. Мазакоев и др. Представляют интерес и работы ученых ближнего и дальнего зарубежья в трудах которых впервые была изучена проблема стабилизации систем с помощью обратной связи: С.И. Byrness и А. Isidori (1989, 1991), J. Tsiniias (1989), R. Marino и P. Tomei (1995), M. Krstic (1995) и др. Ученые которые занимаются изучением проблемы слежения с помощью динамической обратной связи Q. Gong, C. Qian (2005), K. Alimhan, H. Inaba (2003, 2006, 2008), N. Otsuka (2011, 2012-2019) и др.

Проблема управления нелинейными системами представляла большой интерес для научного сообщества в последние десятилетия. За последние два десятилетия произошли существенные положительные изменения в развитии различных методов теории нелинейного управления и их результатов в компьютерном моделировании. Во-первых, этот успех обусловлен бурным развитием компьютерных технологий и повышением требований к контролю качества, что позволяет полностью и быстро изучать нелинейные процессы. Во-вторых, теория синтеза и анализа систем развивается из года в год. Актуальность темы глобального практического слежения неопределенными нелинейными системами и задача создания для них программного комплекса напрямую связана с тем, что мы используем в основном зарубежные программные и аппаратные средства для решения прикладных задач управления и слежения технических систем в Казахстане. Для нашей страны, которая выбрала путь индустриально-инновационного развития, играет большую роль актуальность и практическая ценность исследования проблем управления/слежения для обеспечения стабильности и безопасности технического оборудования в отраслях.

Цель диссертационной работы. Разработать алгоритм нахождения управления p -нормальных нелинейных систем высокого порядка, с помощью найденного управления отслеживать выходной сигнал нелинейных систем за предполагаемым опорным сигналом и создать программный комплекс для задач отслеживания.

Задачи исследования:

- решить задачу глобальной асимптотической стабилизации неопределенных нелинейных систем с помощью выходной обратной связи;

- разработка алгоритма для нахождения управления отслеживания заданного опорного сигнала нелинейных систем и нелинейных систем с задержкой по времени;

- по разработанному алгоритму найти управление, которое будет отслеживать выходной сигнал нелинейной системы за заданным опорным сигналом;

- в зависимости от параметров управления анализировать ошибки слежения и стабилизации нелинейных систем и нелинейных систем с задержкой времени, создать программный комплекс для численных экспериментов выполненных в соответствии с алгоритмами управления.

Объект исследования. Неопределенные нелинейные системы высокого порядка и неопределенные нелинейные системы высокого порядка с задержкой времени.

Предмет исследования. Алгоритмы управления p -нормальными нелинейными системами и p -нормальными нелинейными системами с параметром временной задержки.

Методы исследования. Метод обратной связи, методы управления системами Ляпунова, рекурсивный метод, численный метод, метод однородного доминирования, метод индукции, метод двойного компенсатора-регулятора, метод Ляпунова-Красовского, метод Эйлера, метод Рунге-Кутты.

Научная новизна исследования.

- в диссертационной работе был разработан алгоритм обнаружения управления, который следит за заданным опорным сигналом p -нормальных нелинейных реальных систем, где $p > 1$;

- с помощью разработанного алгоритма создана компьютерная модель для задач стабилизации, слежения нелинейной системы высокого порядка;

- был разработан алгоритм и компьютерная модель нахождения управления реальными нелинейными системами, который отслеживает заданный опорный сигнал;

- создан программный комплекс для задач стабилизации, управления и слежения нелинейных систем.

Теоретическое и практическое значение полученных результатов. Результаты, полученные в диссертационном исследовании, могут быть использованы в управлении электромеханическими системами, встречающимися в области промышленных технологий, науки и образования, а также разработанное программное обеспечение может быть использовано в системах дистанционного обучения. Многие технические устройства могут быть описаны математическими моделями и алгоритмами их решения, разработанными в результате диссертационного исследования. Например, радиоэлектронные системы и оборудование, электромеханические системы, беспилотные летательные аппараты, космическая техника, роботизированные системы и др.

Основные положения выносимые на защиту. Предложен алгоритм решения задачи глобальной асимптотической стабилизации выходных

сигналов нелинейных систем простой формы и проведен эксперимент по стабилизации движения однозвенного робота-манипулятора, математическая модель которого задается простой нелинейной системой. Кроме того, была разработана математическая модель для нахождения управляющего уравнения для отслеживания выходного сигнала неопределенных нелинейных систем высокого порядка в p -нормальной форме и создан алгоритм компьютерного моделирования, структурная схема, проведены численные эксперименты. Примеры задач, разработанные в отдельных приложениях, были сгруппированы в программный комплекс и изучены аппаратно-программные возможности.

Личный вклад исследователя. Задача стабилизации, управления и слежения реальных нелинейных систем, которая не вписывается в исследуемую линеаризацию, требует значительной работы. В основном, работа выполнялась совместно с научным консультантом и зарубежным научным консультантом. В диссертации соискатель внес существенный вклад в разработку алгоритмов управления, которые обеспечивают слежение выходных сигналов нелинейных систем за опорным сигналом и в создании программного комплекса.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и трех приложений. Общий объем исследования составляет 98 страниц, в том числе 36 рисунков, 5 таблиц.

В первом разделе анализируются работы ученых по теме исследования и исследуются проблемы устойчивости нелинейных систем, управления нелинейными системами с помощью обратной связи по состоянию или обратной связи по выходу, которые являются основой диссертации.

Во втором разделе даны понятия однородных систем, необходимые для исследовательской работы, и приведены основные математические леммы. Далее была исследована проблема широкого спектра практического управления нелинейными системами высокого порядка. В частности, определена математическая модель управления выходным сигналом нелинейных систем p -нормальной формы с использованием прямого метода Ляпунова. Компьютерное моделирование осуществлялось с помощью программы MatLab. Рассмотрен пример решения управления выходным сигналом, когда все или некоторые состояния системы не могут быть измерены. Кроме того, рассматривалась проблема отслеживания заданного опорного сигнала с использованием сигнала состояния, в котором может быть измерено состояние системы. Разработана математическая модель задачи управления сигналом состояния с помощью обратной связи и с помощью численного эксперимента была доказана эффективность алгоритма. Также изучена проблема управления нелинейными системами p -нормального типа с задержкой времени. Управление и слежение нелинейной системой с задержкой по времени осуществлялось с использованием метода Ляпунова-Красовского для устранения негативных последствий задержек в системе. Численные эксперименты на компьютере были выполнены в приложении

MatLab. Получена математическая модель аппаратной структуры уравнения движения однозвенного промышленного робота-манипулятора, введены подстановки координат и найден алгоритм нахождения управления стабилизацией результирующих состояний системы. Численные расчеты проводились в приложении MatLab с использованием управления движением однозвенного робота-манипулятора.

В третьем разделе описана работа по созданию программного комплекса для задач, рассматриваемых в диссертации.

В заключение сформулированы основные выводы и результаты работы.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследования были представлены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах:

- XVI Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы современной науки» (2017, Москва, Россия);

- Научная конференция «Современные проблемы информатики и компьютерных технологий» института информационных и вычислительных технологий (29-30 июня 2017 г., Алматы, Казахстан);

- II Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика» (27-30 сентября 2017 г., Алматы, Казахстан);

- SIBERCON 2017 и XIII Международная азиатская школа-семинар «Проблемы оптимизации сложных систем» (18-22 сентября 2017 г., Новосибирск, Россия);

- III Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика» (26-29 сентября 2018 г., Алматы, Казахстан);

- IV Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика» (25-29 сентября 2019 г., Алматы, Казахстан);

- МАТЕС веб-конференции (25-27 мая 2018 г., Пекин, Китай);

- Научно-практические семинары на тему «Актуальные проблемы информатики, математики и управления» института информационных и вычислительных технологий (2017-2020 гг., Алматы, Казахстан);

- Научные семинары Токио Денки университета (июль-август 2018 г., Токио, Япония);

- Научные семинары факультета «Информационные технологии» Казахского национального университета им. аль-Фараби (2017-2020 гг., Алматы, Казахстан).

По теме диссертации опубликованы 13 статей и получено 1 авторское свидетельство:

1. Алимхан К., Калимолдаев М.Н., Тасболатулы Н. Глобальное практическое слежение для неопределенных нелинейных систем // Вестник Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева. – Алматы, 2017. – №2 (120). – С.447-452.

2. Алимхан К., Тасболатулы Н. Жоғары дәрежелі анықталмаған сызықты емес жүйелерді күшті практикалық бақылау // Вестник Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева. – Алматы, 2018. – №1 (125). – С. 362-368.

3. Алимхан К., Тасболатұлы Н. Уақыт кешігуі бар анықталмаған сызықтық емес жүйелердің шығыс шамасын күй кері байланысы арқылы бақылау // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – Алматы, 2019. – №1 (108). – С. 166-174.

4. Alimhan K., Otsuka N., Kalimoldayev M.N., Tasbolat N. Practical output tracking for a class of uncertain nonlinear time-delay systems via state feedback // MATEC Web of Conferences, Volume 189, 10027 (2018), 2nd International Conference on Material Engineering and Advanced Manufacturing Technology (MEAMT 2018). – Beijing, China, 2018. – 8 p.

5. Alimhan K., Otsuka N., Kalimoldayev M.N., Tasbolatuly N. Output Tracking by State Feedback for High-Order Nonlinear Systems with Time-Delay // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 1 February 2019. – Vol. 97, Issue 3. – P. 942-956. (*CiteScore – 0,67; 33rd percentile*)

6. Alimhan K., Kalimoldayev M.N., Adamov A.A., Mamyrbayev O., Tasbolatuly N., Smolarz A. Further Results on Output Tracking for a Class of Uncertain High-Order Nonlinear Time-Delay Systems // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, V. 95 NR 5/2019. – P. 88-91. (*CiteScore – 0,38; 19th percentile*)

7. Алимхан К., Калимолдаев М.Н., Тасболатұлы Н. Робастное практическое отслеживание выхода неопределенных нелинейных систем с помощью компенсатора выхода // XVI межд. научно-практическая конф. «Проблемы и перспективы современной науки». – Москва, 2017. – №16. – С.161-165.

8. Алимхан К., Калимолдаев М.Н., Мамырбаев О.Ж., Тасболатұлы Н. Қатаң емес шарт жағдайында анықталмаған сызықтық емес жүйелерді шығыс кері байланысы арқылы кең ауқымды практикалық бақылау // II Международная научная конференция "Информатика и прикладная математика". – Алматы, 2017. – С. 114-129.

9. Алимхан К., Калимолдаев М.Н., Тасболатұлы Н. Робастное практическое управление выходных данных неопределенных нелинейных систем с помощью динамической обратной связи // Межд. мультikonференция IEEE SIBIRCON 2017. – Новосибирск, Россия, 2017. – С.18-25.

10. Алимхан К., Калимолдаев М.Н., Тасболатұлы Н. Жоғары ретті анықталмаған сызықтық емес жүйелерді шығыс компенсаторы жәрдемінде күшті практикалық бақылау // Научная конференция Института информационных и вычислительных технологий МОН РК. – Алматы, 2017. – С. 14-20.

11. Алимхан К., Мамырбаев О.Ж., Тасболатұлы Н., Аманжолова А.А., Боромбаева А.Б. Анықталмаған сызықтық емес жүйелердің шығыс мәліметтерін кері байланыс күйі арқылы бақылау // III Международная научная конференция "Информатика и прикладная математика". – Алматы, 2018. – С. 95-106.

12. Алимхан К., Тасболатұлы Н. Анықталмаған сызықтық емес жүйелерге кең ауқымды практикалық бақылау және олар үшін бағдарламалық

кешен құру // IV Международная научная конференция "Информатика и прикладная математика". – Алматы – 2019. – 1. – С. 108-117.

13. Алимхан К., Тасболатұлы Н., Ерденова А.К., Ахметкалиева А.С. Айнымалы уақыт кешігуі бар шын мәнінде сызықтық емес жүйелердің шығысын күй кері байланыс арқылы ізге түсіру // IV Международная научная конференция "Информатика и прикладная математика". – Алматы – 2019. – 1. – С. 117-131.

14. Авторское свидетельство «*Program Complex Robust Tracking of Non-linear Systems by Output Compensator*» от 03.05.2019 г. №3144.