

**ОТЗЫВ научного руководителя
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Чистякова Ивана Александровича
на тему «Методы приближённого решения задач управления
нелинейными системами за счёт их кусочной линеаризации»
по специальности 1.1.2. Дифференциальные уравнения и
математическая физика**

В диссертационной работе И.А. Чистякова рассматриваются задачи целевого управления на фиксированном, конечном интервале времени для некоторых классов нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Требуется найти позиционную управляющую стратегию, при замыкании которой траектория заданной нелинейной системы в конечный момент времени окажется в как можно меньшей окрестности компактного целевого множества. Задачи такого рода являются классическими в математической теории управления, а результаты их решения могут быть использованы при рассмотрении многих важных задач управления, верификации, идентификации. Теория приближённых методов управления для нелинейных систем в настоящее время активно развивается. Данная диссертационная работа является существенным вкладом в эту теорию.

Изложенные в работе результаты объединены общим подходом к решению, который основан на методах динамического программирования и, в частности, на принципе сравнения, ранее разработанном академиком А.Б. Куржанским. Важным отличием текущей работы, однако, является переход к вспомогательной задаче управления для кусочно-линейной системы с ограниченной помехой линеаризации. Для такой задачи необходимо определить функцию цены, множество нулевого уровня которой совпадает со множеством разрешимости минимаксного типа. Эта функция может быть найдена как решение задачи Коши для уравнения Гамильтона–Якоби–Беллмана. Точное решение этой задачи крайне затруднительно, а потому в работе предложены различные подходы к построению приближённых решений в определённых кусочно-заданных классах функций. Данный метод позволяет построить внутреннюю оценку множества разрешимости исходной нелинейной системы и вместе с тем задаёт решение задачи синтеза управлений.

Перед И.А. Чистяковым была поставлена задача рассмотреть разные классы кусочно-заданных функций, которые могут быть использованы для аппроксимации неизвестной функции цены в задаче разрешимости для нелинейной системы. В каждом случае необходимо сформулировать и доказать теорему о внутренних гарантированных оценках множеств разрешимости, а также о свойствах позиционного управления, которое может быть построено параллельно с вычислением оценок функции цены.

Основные результаты диссертации следующие:

1) Для систем обыкновенных дифференциальных уравнений с управляющими параметрами, нелинейных по одной из фазовых переменных, предложен алгоритм для построения внутренних кусочно-кубических оценок функции цены для задачи разрешимости. Получен закон управления в позиционной форме, решающий задачу целевого управления.

2) Рассмотрена задача целевого управления для системы достаточно общего вида, нелинейной по фазовым переменным, линейной по управляющим параметрам. В предположении гладкости правой части системы дифференциальных уравнений предложен алгоритм построения кусочно-квадратичных оценок функции цены для задачи разрешимости. Указанные оценки построены на совокупности симплексов, на которые разделена рассматриваемая область фазового пространства. Также предложен соответствующий закон управления в позиционной форме. Рассмотрены два случая: с непрерывными функциями цены и управлениями и с возможными разрывами этих функций на границах симплексов.

3) Рассмотрены примеры решения конкретных задач управления при помощи разработанных методов. Построены непрерывные и разрывные оценки функции цены и управления. Произведено сравнение методов.

4) Разработан метод, позволяющий для любой заданной стратегии управления получать гарантированные внутренние оценки соответствующего множества разрешимости, а также оценивать априорно точность попадания траектории замкнутой системы в целевое множество.

Диссертационная работа И.А. Чистякова посвящена сложной и актуальной теме из области математической теории управления нелинейными системами. Полученные в работе новые результаты могут быть применены для решения конкретных проблем, связанных с управлением нелинейной динамикой, возникающих в робототехнике, биоматематике, при управлении автономными транспортными средствами.

Все результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми, носят теоретический характер и вносят существенный вклад в математическую теорию управления для нелинейных систем. Наиболее важные результаты оформлены в виде теорем, которые корректно и подробно доказаны. Все основные утверждения в работе доказаны автором самостоятельно.

Результаты диссертации опубликованы в научных изданиях, индексируемых Web of Science, Scopus, RSCI, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ. Автореферат соответствует требованиям и правильно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа прошла многократную апробацию. Результаты работы обсуждались и докладывались на международных и всероссийских научных конференциях, а также на научных семинарах.

Диссертация И.А. Чистякова отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Работа оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что диссертационная работа Чистякова Ивана Александровича удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова» и рекомендую её к защите в диссертационном совете МГУ.011.8 на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика.

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры системного анализа
факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова

Точилин Павел Александрович

«18» октября 2025 г.

Контактные данные:

тел. e-mail: tochilin@cs.msu.ru

Специальность, по которой научным руководителем была защищена диссертация: 01.01.02. Дифференциальные уравнения

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, с. 52,

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», факультет вычислительной математики и кибернетики, кафедра системного анализа

тел.: +7 (495) 939-51-35, e-mail: sa@cs.msu.ru

Подпись сотрудника кафедры системного анализа факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова удостоверяю: