

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Ибрагимова Даниса Наилевича

«Математическое моделирование и оптимизация по быстродействию
линейных дискретных систем с ограничениями»,

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальностям

05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы
программ»,

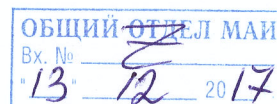
05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации
(авиационная и ракетно-космическая техника)».

Актуальность темы диссертации.

В диссертационной работе проведено исследование задачи оптимального быстродействия для линейных дискретных систем с ограниченным управлением. Существенная особенность рассмотренной задачи состоит в том, что функционал, представляющий собой время, затраченное системой на достижение начала координат, является дискретным. Поэтому вычисление значения функции Беллмана, равного минимальному числу шагов, за которое можно достигнуть нулевых значений фазовых координат из начального состояния, оказывается затруднительным, поскольку сводится к полному перебору всех возможных траекторий. С другой стороны, при использовании дискретных разновидностей принципа максимума Л.С. Понтрягина почти для всех начальных состояний гамильтониан системы оказывается тождественно равным нулю для любого допустимого управления, что делает невозможным выделить оптимальное управление.

Указанные особенности определяют актуальность темы диссертационной работы, которая посвящена разработке новых подходов к решению поставленной задачи, направленных на определение условий, при которых как метод динамического программирования, так дискретный принцип максимума могут быть использованы эффективно.

Достоверность положений диссертации подтверждается строгостью приведенных математических доказательств, корректным применением математических методов и компьютерным моделированием.



Основные научные результаты.

1. Доказаны необходимые и достаточные условия применимости дискретного принципа максимума для вычисления оптимального по быстродействию управления для бесконечномерных линейных стационарных дискретных систем в случае, когда множество допустимых значений управления является строго выпуклым, причём в каждой его граничной точке нормальный конус представляет собой одномерное множество.

2. Доказаны необходимые и достаточные условия применимости дискретного принципа максимума для вычисления оптимального по быстродействию управления для линейных нестационарных дискретных систем в случае, когда множество допустимых значений управления является строго выпуклым.

3. Разработаны численные алгоритмы решения задачи быстродействия для конечномерной линейной дискретной системы с линейными ограничениями на управление, с выпуклыми ограничениями на управление, а также в случае скалярного управления.

4. Написана программа, реализующая предложенный численный алгоритм для случая линейных ограничений.

5. На основе построенных методов и алгоритмов решены следующие задачи оптимального управления: задача оптимальной по быстродействию коррекции орбиты спутника, задача наискорейшей ликвидации углового отклонения тела, подвешенного на струне, задача демпфирования высотного сооружения, расположенного в зоне сейсмической активности.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования.

Полученные результаты являются новыми в рамках теории оптимального управления дискретными системами. Кроме того, для решения поставленной задачи проведены исследования в области построения математических моделей дискретных систем, сформулированы и доказаны свойства множеств управляемости.

Практическая ценность результатов определяется тем, что ряд разработанных методов, реализован в виде программного комплекса, позволяющего решать задачи оптимального управления реальными объектами, в том числе из авиационной и ракетно-космической отрасли.

Публикации и апробация работы.

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, 5 из которых опубликованы в журналах из перечня ВАК. Полученные автором результаты были представлены на международных и всероссийских конференциях. Также был зарегистрирован комплекс программ для ЭВМ.

Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Во введении рассмотрен вопрос актуальности исследования, приведён обзор существующих результатов по данной теме, а также сформулированы основные цели и задачи, рассмотренные в рамках диссертационной работы.

Первая глава содержит постановку задачи и описание понятий и объектов, использованных в ходе исследования. Решение задачи основано на понятии класса множеств 0 -управляемости, то есть множеств тех начальных состояний, из которых систему можно перевести в начало координат за фиксированное время. Далее сформулированы необходимые и достаточные условия применимости дискретного принципа максимума для бесконечномерных линейных дискретных стационарных систем. Также предложен способ использования сформулированных необходимых и достаточных условий в случае произвольного начального состояния. Последний раздел первой главы посвящен вопросу построения моделей бесконечномерных дискретных линейных систем и синтезу для них оптимального по быстродействию управления на основе разработанных методов.

Во второй главе рассмотрено обобщение методов и теорем, разработанных в первой главе, на случай линейных дискретных нестационарных систем. Принципиальное отличие состоит в наличии зависимости множеств 0 -управляемости от текущего момента времени, что существенно влияет на структуру оптимального управления. Эффективность построенных методов продемонстрирована на примере решения задачи оптимальной по быстродействию коррекции орбиты спутника.

В третьей главе изложен подход к решению поставленной задачи в частном случае, когда ограничения на управление линейны. В работе доказано, что тогда задачи вычисления оптимального управления могут быть сведены к задачам линейного программирования. На основе данного факта в

диссертации разработан соответствующий численный алгоритм. Также предложены две модификации этого алгоритма: для случая скалярного управления и для случая выпуклого компактного множества допустимых значений управления, построенного на основе проведения полиэдральной аппроксимации последнего.

В четвертой главе описана структура программного комплекса, реализующего алгоритм, представленный в третьей главе. Также приведены результаты численных расчетов для решения задачи наискорейшей ликвидации углового отклонения тела, подвешенного на струне (гондолы), способного совершать вращательные движения посредством вентиляторных двигателей.

В заключении изложены основные результаты работы, а также положения, выносимые на защиту.

Замечания по работе.

К работе есть следующие замечания:

1. Не проведено сопоставление методов, применяемых к дискретным системам, с аналогичными методами, используемыми для систем с непрерывной зависимостью от фазовых координат.

2. В работе не продемонстрирована связь полученных автором результатов для дискретных систем с гораздо глубже исследованными задачами, относящимися к непрерывным функциональным зависимостям.

3. Отсутствует анализ степени применимости полученных результатов к реальным системам, вытекающей из невырожденности оператора системы.

4. При рассмотрении численных примеров не проведено сравнение полученных результатов с уже известными как для дискретных систем, так и для их непрерывных аналогов.

Указанные замечания, в основном, направлены на формирование приоритетов в дальнейшей работе над интересующим автора кругом проблем и потому не снижают достоинств работы, которая является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на современном научном уровне. Содержание диссертации в полной мере изложено в статьях, опубликованных в журналах из перечня ВАК. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Выполненная работа соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к

кандидатским диссертациям, а её автор – **Ибрагимов Данис Наилевич** – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)

А. М. Шматков

119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 1
тел.: 8 (495) 434-92-63
e-mail: shmatkov@ipmnet.ru

Подпись Шматкова Антона Михайловича заверяю:

подпись <u>А.М. Шматков</u>	ЗАВЕРЯЮ:
Ученый секретарь ИПМех РАН, к.ф.-м.н.	
<u>Е.Я. Сысоева</u>	2017 г.



13.12.2017 г.