

## 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)»**

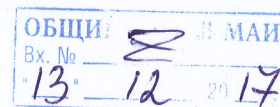
Особенность задачи быстродействия для дискретных систем заключается в том, что если рассматривать её в качестве задачи математического программирования, то в общем случае оптимальная траектория может соответствовать нерегулярному экстремуму. Данный факт приводит к трудности использования классических методов теории оптимального управления: формальное использование принципа максимума не позволяет определить структуру оптимального управления из-за тождественного равенства нулю гамильтониана, а метод динамического программирования в данном приводит к полному перебору. Поэтому актуальным становится поиск подходов к решению указанной задачи. Разработка методов решения задачи быстродействия и их последующая реализация в виде комплекса программ важны также с практической точки зрения, так как позволяют решить ряд прикладных задач.

Основные научные результаты, полученные в диссертационной работе Ибрагимова Д.Н.:

1. исследован класс математических моделей линейных бесконечномерных дискретных систем со строго выпуклым слабо компактным множеством допустимых значений управлений;

2. сформулированы и доказаны необходимые и достаточные условия оптимальности траектории в задаче быстродействия для линейных дискретных систем со строго выпуклым множеством допустимых значений управлений;

3. разработан и реализован программно алгоритм решения задачи быстродействия для линейной дискретной системы с линейными ограничениями на управление;





4. эффективность построенных методов и алгоритмов продемонстрирована на примере решения ряда прикладных и модельных задач.

Математические задачи имеют строгие формальные постановки, результаты, сформулированные в виде теорем, снабжены корректными доказательствами, также приведены результаты численных экспериментов.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования определяется возможностью их использования для решения прикладных задач в авиационной и ракетно-космической области (например, коррекция орбиты спутника, ориентация аэростата по заданному направлению и др.), для проектирования систем управления различными технологическими процессами (например, создание смесей необходимых концентраций посредством управления режимом работы смесительного бака). Также следует отметить, что сформулированные и доказанные теоремы и утверждения обладают новизной с точки зрения теории оптимального управления и выпуклого анализа.

Полученные автором результаты прошли апробацию на международных конференциях и научных семинарах, отражены в 11 печатных работах, из которых 5 опубликованы в журналах из перечня ВАК. Также получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

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

Во введении представлен обзор результатов по тематике исследования, обоснована её актуальность.

В первой главе разработан метод решения задачи быстродействия для бесконечномерных линейных дискретных систем в случае, когда на управление наложены строго выпуклые ограничения. Критерий оптимальности траектории сформулирован в виде принципа максимума.

Вторая глава посвящена обобщению результатов первой главы для нестационарных систем управления. Эффективность представленных методов демонстрируется на примере решения задачи оптимальной по быстродействию коррекции орбиты спутника.

На основе средств линейного программирования в третьей главе разработан алгоритм решения задачи быстродействия в случае, когда на управление накладываются только линейные ограничения. Предложена



модификации алгоритма для случая выпуклых ограничений, основанная на методе полиэдральной аппроксимации.

Разработанные алгоритмы реализованы программно, описание результатов применения для модельного примера (ликвидация углового отклонения тела, подвешенного на струне) представлено в четвертой главе.

В заключении изложены основные результаты работы, а также положения, выносимые на защиту. Кроме того, приводятся постановки ряда потенциально интересных задач, что свидетельствует о возможности дальнейшего проведения научных исследований в данной области.

Имеются следующие замечания по диссертационной работе:

1. Из текста не ясно, получены ли все рисунки, приведенные в диссертации, с помощью разработанных соискателем программ (например, рис. 1.1 на стр. 52, рис. 3.1 и 3.2 на стр. 98).

2. Алгоритм 3.1 (см. стр.81–82) следовало дополнить представлением в виде блок-схемы.

3. В тексте диссертационной работы структура и функциональные возможности программных реализаций развитых алгоритмов описаны в крайне сжатой форме.

4. Развитые соискателем аналитические инструменты не для любого случая могут быть использованы для построения численных процедур, поэтому требуется развитие других решений, что можно считать в целом недостаточно универсальным подходом.

5. Не рассмотрена процедура построения множеств 0-управляемости системы, которые фактически являются алгебраической суммой выпуклых множеств. В результате остается открытым вопрос о построении нормального конуса, используемого для определения структуры оптимального управления, для произвольного множества допустимых значений управлений.

6. Не оценивается влияние использования полиэдральной аппроксимации на вычислительную сложность предложенного в диссертации алгоритма решения задачи быстрогодействия;

7. Не проведено исследование эффективности предложенных программных решений в случае изменения размерности задачи.

Указанные замечания не снижают достоинств работы, которая является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне. Содержание диссертации в полной мере изложено в статьях,



опубликованных в журналах из перечня ВАК. Автореферат также 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

ведущий научный сотрудник

Федерального государственного учреждения

«Федеральный исследовательский центр

«Информатика и управление»

Российской академии наук»,

кандидат физико-математических наук, доцент

А.К. Горшенин

119333, Москва, Вавилова, д.44, кор.2

+7 (499) 135-14-21

[agorshenin@frccsc.ru](mailto:agorshenin@frccsc.ru)

Подпись, должность, степень, Ф.И.О. заверяю

Ученый секретарь

Федерального государственного учреждения

«Федеральный исследовательский центр

«Информатика и управление»

Российской академии наук»,

доктор технических наук, доцент



В.Н. Захаров

11 декабря 2017 г.

13.12.2017г