

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Ибрагимова Даниса Наилевича «Математическое моделирование и оптимизация по быстродействию линейных дискретных систем с ограничениями», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)»

В диссертационной работе рассматривается задача быстродействия для линейных дискретных систем с ограниченным управлением. Специфика данной проблемы заключается в сложности применения общепринятых методов таких, как принцип максимума и метод динамического программирования Беллмана. Дискретный характер критерия качества системы приводит к трудности использования методов нелинейного программирования для решения поставленной задачи и обуславливает в общем случае неединственность оптимального процесса. Эти причины делают актуальным поиск альтернативных подходов к решению задачи быстродействия.

Метод, построенный в работе, базируется на использовании свойств семейства множеств 0-управляемости – множеств тех начальных состояний, из которых система может быть переведена в начало координат за фиксированное конечное число шагов. Оптимальное управление ищется из условия, что каждое последующее состояние системы должно принадлежать множеству 0-управляемости за число шагов на единицу меньшее. Таким образом критерий оптимальности управления и траектории сводится к проверке принадлежности точки выпуклому компактному множеству.

На основе предложенного подхода удается определить необходимые и достаточные условия, при которых принцип максимума позволяет вычислить оптимальное управление. Данные условия сформулированы для автономных и неавтономных систем с произвольной размерностью вектора состояния (в том числе и бесконечной) и строго выпуклыми ограничениями на управление. Отдельно в работе рассматриваются конечномерные системы с линейными ограничениями на управление. В этом случае удается свести задачу вычисления оптимального управления к задаче линейного программирования, что позволяет реализовать разработанные методы и алгоритмы в виде программного комплекса.

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

Во введении обоснована актуальность темы исследования и произведен обзор существующих результатов по теме. В последующих главах приводятся основные полученные результаты.

В первой главе разработаны методы построения математических моделей линейных автономных дискретных систем с бесконечномерным вектором состояния и ограниченным управлением. Для случая, когда множество допустимых значений управлений представляет собой строго выпуклое и слабо компактное множество, в каждой граничной точке которого нормальный конус является одномерным множеством, сформулированы условия оптимальности управления в задаче быстродействия в виде принципа максимума. В случае, когда начальное состояние является граничной точкой множества 0-управляемости, доказана единственность оптимальной траектории. Для внутренней точки продемонстрирован вырожденный характер принципа максимума и разработан метод сведения к уже разрешенному случаю.

Во второй главе производится обобщение результатов первой главы на случай неавтономных систем. В качестве класса множеств допустимых значений управлений

рассматривается более широкий класс строго выпуклых компактов. Для случая, когда начальное состояние системы принадлежит границе множества 0-управляемости, критерий оптимальности сформулирован в виде принципа максимума. Отдельно рассмотрен класс систем у которых, множество допустимых значений управлений на каждом шаге является эллипсоидом. В этом случае составлена система уравнений для определения начального состояния сопряженной системы и в явном виде построено оптимальное управление. Эффективность разработанных методов продемонстрирована на примере решения задачи оптимальной по быстродействию коррекции орбиты спутника.

В третьей главе представлен метод решения задачи быстродействия для класса систем с линейными ограничениями на управление, который может быть реализован посредством численных процедур. Рассмотрение систем с линейными ограничениями позволяет при решении задачи быстродействия ограничиться исключительно средствами линейного программирования такими, как симплекс-метод. Данный факт позволяет разработать алгоритм решения поставленной задачи, который может быть реализован в виде программного комплекса. Также представлена модификация алгоритма на случаи скалярного управления и множества допустимых значений управлений в форме выпуклого компакта. В последнем случае перед решением задачи быстродействия производится предварительная полиэдральная аппроксимация множества допустимых значений управлений. Эффективность разработанных алгоритмов продемонстрирована на примере решения задачи демпфирования высотного сооружения, расположенного в зоне сейсмической активности.

В четвертой главе представлено описание комплекса программ, реализующего алгоритм, разработанный в третьей главе. Произведены численные эксперименты. Решена задача наискорейшей ликвидации углового отклонения тела, подвешенного на струне и способного совершать вращательные движения.

Диссертация Ибрагимов Д.Н. представляет законченную научно-квалификационную работу. Полученные новые результаты имеют определённую научную и практическую значимость в области математического моделирования прикладных задач и разработки программно-аппаратного обеспечения систем управления производственными и технологическими процессами. Диссертация соответствует требованиям ВАК, автор свободно владеет темой исследования, оперирует методами математического моделирования, теории управления и методов оптимизации. Считаю, что диссертанту Ибрагимову Данису Наилевичу может быть присуждена учёная степень кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Научный руководитель:
д.ф.-м.н., проф., проф. каф. «Теория вероятностей и компьютерное моделирование» МАИ

А.Н. Сиротин

Подпись Сиротина А.Н. заверяю.
Декан факультета «Информационные технологии и прикладная математика» МАИ



С.С. Крылов

13.10.2017