

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам.директора ФГБУН

Института проблем управления

им. В. А. Трапезникова

Российской академии наук

д.т.н.

Е.Я. Рубинович

« 23 »

2015г.



Отзыв

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук»
на диссертационную работу Минаевой Юлии Юрьевны
«Синтез быстрых управлений в линейных системах»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.01.02 «Дифференциальные уравнения, динамические системы и
оптимальное управление»

Диссертация Ю. Ю. Минаевой «Синтез быстрых управлений в линейных системах» посвящена задаче поиска оптимальных позиционных импульсных и обобщенных управлений для линейных управляемых систем при неопределенности. Неопределенность представлена помехой, которая входит в уравнение движения и на которую наложено геометрическое ограничение. Также в работе рассматриваются быстрые управления, являющиеся физически реализуемыми ограниченными аппроксимациями импульсных и обобщенных управлений.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении дается обзор существующих результатов в области задач с импульсными и обобщенными управлениями. Отмечается, что такие задачи мотивированы приложениями в различных областях: в механике, медицине, финансовой и экономической областях и др.

В Главе 1 вводятся основные понятия, используемые в работе, приведены постановки задач с импульсными и обобщенными управлениями, как без неопределенности, так и при наличии ограниченной помехи. Поставлены задачи поиска ограниченных аппроксимаций обобщенных управлений, отличных от нуля на фиксированном малом интервале времени, и обладающих некоторыми заданными свойствами. Найденны разрывные аппроксимации обобщенных управлений с минимальным модулем аппроксимации. Также найдены непрерывные аппроксимации с минимальным модулем производной и гладкие аппроксимации с минимальным модулем производной соответствующего порядка. В конце главы рассмотрены примеры применения импульсных, обобщенных и быстрых управлений в задаче без неопределенности.

В Главе 2 рассматривается задача синтеза импульсных управлений при неопределенности, выраженной неизвестной ограниченной помехой. Задано линейное уравнение движения, в которое входят управление и помеха, также задано начальное положение системы, отрезок времени фиксирован. Задан функционал, который требуется минимизировать, несмотря на влияние помехи. Используется подход динамического программирования. Введены минимаксная и максиминная функции цены, рассмотрена задача с коррекциями движения. Показано, что существуют точная нижняя грань минимаксных функций цены с коррекциями, а также точная

верхняя грань максиминных функций цены с коррекциями, взятые по всем возможным разбиениям рассматриваемого отрезка времени. Тогда определена функция цены в задаче синтеза, которая равна этим точным граням. Доказано, что функция цены синтеза в задаче импульсного управления при неопределенности удовлетворяет неравенству типа Гамильтона-Якоби-Беллмана-Айзекса. Указанное неравенство позволяет построить оптимальный синтез управления.

В конце главы приведен пример построения синтеза управления, иллюстрирующий метод, предложенный в Главе 2. Отмечено, что сложность задач синтеза импульсных управлений при неопределенности состоит в необходимости предварительного вычисления функции цены, что не всегда возможно сделать аналитически.

В Главе 3 предложен численный алгоритм построения синтеза импульсных управлений в задачах с неизвестной ограниченной помехой, который основан на аппроксимации функции цены. Используется аппроксимация сопряженной функции к функции цены, которая строится в классе кусочно-аффинных выпуклых функций. В работе обоснован метод нахождения аппроксимации, показано его применение в задаче синтеза импульсного управления, а также дана оценка погрешности данного метода. В конце главы приведены примеры построения синтеза управления предложенным численным методом: рассмотрена задача управления колебательной системой с одной степенью свободы при наличии неизвестной ограниченной помехи. Построен синтез импульсных и быстрых управлений.

Основными результатами диссертации Ю. Ю. Минаевой являются:

1. Получены аппроксимации обобщенных и импульсных управлений при помощи ограниченных управлений, действующих на малом интервале времени, обладающие требуемыми свойствами: разрывные аппроксимации с минимальным модулем, а также непрерывные и гладкие аппроксимации с минимальным модулем соответствующей производной.
2. Доказательство принципа оптимальности для функции цены в задаче синтеза импульсных управлений при неопределенности, а также доказательство того, что функция цены удовлетворяет уравнению типа Гамильтона-Якоби-Беллмана-Айзекса (ГЯБА).
3. Численный алгоритм построения синтеза импульсных и быстрых управлений при неопределенности.

Основные результаты диссертации опубликованы с достаточной полнотой в трех статьях. Все статьи опубликованы в журналах из списка ВАК. Доказательства всех результатов получены лично автором, являются новыми и математически обоснованы. Результаты других авторов, приводимые в диссертации, отмечены соответствующими ссылками.

Следует отметить научную новизну и актуальность результатов, полученных в диссертационной работе Ю.Ю. Минаевой:

- построены физически реализуемые быстрые управления, аппроксимирующие обобщённые управления и обладающие заданными свойствами;
- для задачи синтеза импульсных управлений при неопределенности доказан принцип оптимальности;
- доказано, что функция цены удовлетворяет уравнению типа ГЯБА;
- предложен численный алгоритм синтеза управления, который может быть использован в задачах, где функцию цены не удастся найти аналитически.

Результаты диссертации прошли апробацию на научных семинарах и конференциях, в том числе международных.

Диссертация Ю.Ю. Минаевой вносит серьезный вклад в развитие задач импульсного управления. Результаты диссертации могут быть использованы и развиты исследователями Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, факультета ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова, Института математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, Санкт-Петербургского

государственного университета. Также они могут использоваться как дополнительный материал для учебных курсов по задачам управления в Московском государственном университете, Санкт-Петербургском государственном университете, Московском физико-техническом институте.

Диссертационная работа Ю. Ю. Минаевой хорошо структурирована, содержит четкие формулировки лемм и теорем, а их доказательства математически корректны. В доказательствах использованы методы дифференциальных уравнений, оптимального управления, функционального и выпуклого анализа, многозначных отображений.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В Главе 2, в конце доказательства теоремы 2.14 вместо оценки нормы разности как величины порядка $O(1/N)$, где N – количество точек в разбиении по времени, следовало указать, что это величина порядка $O(\sigma)$, где σ – величина шага сетки по времени.
2. В Главе 3, на рис. 3.18 изображены траектории вспомогательной системы $y_1(t)$, $y_2(t)$, а не исходной системы, как это указано в подписи к рисунку.
3. Примеры, на которых демонстрируется применение результатов работы, ограничиваются одномерными и двумерными механическими системами. Хотелось бы видеть реализацию результатов на более сложных системах, например, для колебательных систем с двумя и более степенями свободы и т.д.

Эти замечания носят частный характер и не влияют на положительную в целом оценку диссертационной работы.

Работа была доложена на расширенном семинаре в ИПУ РАН под руководством Б.Т. Поляка, где получила положительную оценку.

Считаю, что диссертационная работа Минаевой Юлии Юрьевны «Синтез быстрых управлений в линейных системах» полностью соответствует специальности 01.01.02 «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление» и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, выдвигаемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Зав. лабораторией динамических
информационно-управляющих систем
ИПУ РАН, доктор технических наук

А.П. Курдюков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова
Российской академии наук (ИПУ РАН)
1179997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
Телефон: 8(495)334-89-10 Факс: 8(495)334-93-40