

О Т З Ы В
официального оппонента

на диссертацию Немыченкова Григория Игоревича
«Моделирование и синтез субоптимальных переключаемых систем
при наличии дискретных неточных измерений»
на соискание ученой 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)»

Диссертационная работа Г.И. Немыченкова посвящена задаче оптимального управления переключаемой системой в условиях неточных измерений. Переключаемая система — специальный вид динамической системы, в которой процесс непрерывной динамики, описываемый системой дифференциальных уравнений, сопровождается скачкообразными изменениями состояния — переключениями. И непрерывная динамика, и переключения подвержены управляющим воздействиям. Количество переключений и соответствующие моменты времени не фиксированы. Программное управление оценивается некоторым функционалом качества, который является целевой функцией задачи оптимизации.

Рассматриваемая задача усложнена тем, что начальное состояние динамической системы точно не известно, лишь определено некоторое множество, которому начальное состояние принадлежит. В задачу также включены оценки состояния системы (неточные измерения), проводимые в дискретные моменты времени, не связанные с переключениями. Неточные измерения также реализуются как попадание состояния системы в заданное множество. Стохастические свойства измерения в работе не рассматриваются.

Диссертация содержит 4 главы, введение, заключение и список использованных источников. Во введении автор раскрывает актуальность и практическую ценность исследования, дает историческую справку по теме исследования, останавливается на типах гибридных систем.

В главе 1 рассматриваются переключаемые системы. Формулируются задачи оптимального управления отдельной траекторией, пучком траекторий, а также задачи субоптимального управления, в которых управление пучком траекторий сводится к задаче управления отдельной траекторией. Задача оптимального управления отдельной траекторией в целом известна и является основой для решения задачи управления пучком траекторий. Для оценки качества управления в условиях неточного характера начального состояния системы возможны два подхода. При первом подходе оценивается наилуч-

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. №

02 12 2019

шая из возможных траекторий, это приводит к минимаксной постановке оптимизационной задачи. При повторном подходе качество управления для всей совокупности возможных траекторий оценивается в среднем. В предлагаемой работе используется второй подход. В этом случае при некоторых дополнительных условиях оценку в среднем можно заменить оценкой для отдельной траекторией, что и используется в данной работе. Если же такая подмена оценки в среднем оценкой одной траектории теоретически не подтверждена, мы имеем дело с задачей субоптимального управления. Хотя субоптимальное управление может не быть оптимальным, оно может быть важно с практической точки зрения.

В описанную схему встраиваются дискретные неточные измерения, которые позволяют сузить пучок траекторий, определяемый неточным начальным состоянием. Решение всех оптимизационных задач строится на применении методов динамического программирования. Решение доведено до конкретного алгоритма построения оптимального (или субоптимального) управления.

В главе 2 рассматриваются стационарные системы автоматного типа. Такие системы отличаются от переключаемых тем, что между переключениями система не изменяет своего состояния. Для указанных систем вводятся задачи оптимального и субоптимального управления, аналогичные задачам, поставленным для переключаемых систем, для них разработаны алгоритмы их решения. Основным методом, как и в общем случае переключаемых систем — метод динамического программирования.

В главе 3 на основе теории переключаемых систем решена прикладная задача стабилизации спутника с использованием дискретных неточных измерений. Переключения в этой задаче интерпретируют импульсный характер работы двигателя космического аппарата, его работа реализуется кусочно-постоянной функцией. Включение-выключение двигателя рассматривается как мгновенное, но с дополнительным расходом топлива, который отражен в функции штрафа за такое включение-выключение. Представлено несколько вариантов решения такой задачи.

В главе 4 описана реализация предложенных алгоритмов в рамках программного комплекса. Описаны применяемые численные методы для реализации множеств возможных состояний, пучков траекторий, неточных дискретных измерений. Также используются стандартные методы интегрирования систем дифференциальных уравнений, вычисления кратных интегралов, конечномерной оптимизации.

В заключении автор подводит итоги выполненного исследования и фиксирует полученные научные результаты.

Актуальность темы диссертации. Целью научного исследования являлось построение оптимального (в смысле некоторого функционала качества) управления переключаемой системой. Управление строится в условиях неопределенностей, связанных с неточностью измерений начального состояния, а также с учетом неточных измерений в дискретные моменты времени. Переключаемые системы (и их частный случай системы автоматного типа) — удобная модель для представления процессов, в которых непрерывная динамика сочетается с дискретной. Такое сочетание с математической точки зрения может быть формализовано по-разному, например, в виде систем переменной структуры. Удобство переключаемых систем состоит в том, что они более просты для анализа и, следовательно, могут дать более эффективные алгоритмы управления. Структура переключаемых систем позволяет применять к ним методы динамического программирования, которые в настоящее время хорошо разработаны. Таким образом, тема диссертационного исследования, несомненно, актуальна.

Научная новизна результатов исследования. Переключаемые системы в течение ряда лет исследовались А.С. Бортаковским. Им для таких систем решен ряд задач оптимального управления с использованием методов динамического программирования. Новым в диссертационной работе является учет двух факторов, усложняющих задачу: учет неточных измерений, касающихся исходного состояния объекта, и включение в модель процесса некоторого числа измерений по ходу динамики, которые также являются неточными. Неточность измерений трактуется как управление пучком траекторий (без учета каких-либо стохастических эффектов), оптимальное в целом для всего пучка (в работе такая оптимальность рассматривается в среднем по пучку). Полученные результаты для переключаемых систем (в частности, для систем автоматного типа) с неточными дискретными измерениями являются новыми. В работе получены достаточные условия субоптимальности в среднем для пучка траекторий при наличии дискретных неточных измерений, предложены алгоритмы решения задач оптимального управления с использованием методов динамического программирования.

Практическая значимость диссертационной работы. В диссертационной работе впервые рассмотрена задача оптимального управления переключаемой системой в условиях дискретных неточных измерений. Полученные результаты носят фундаментальный характер. На основе полученных теоретических результатов в диссертационной работе предложены конкретные алгоритмы решения задач оптимального управления для переключаемых систем (и, в частности, систем автоматного типа), которые реализованы в виде программного комплекса. Эти алгоритмы могут быть полезны для разработки управляющих систем различного назначения, в частности для систем

управления летательными и космическими аппаратами, в робототехнике, экономике и других отраслях науки и техники. Таким образом, практическая значимость диссертационной работы сомнений не вызывает.

Достоверность результатов исследования. Работа написана ясным и понятным языком, терминология соответствующих областей используется корректно, все математические результаты сформулированы четко и строго доказаны. Результаты работы опубликованы в научной печати в 5 статьях в ведущих российских журналах и докладывались на ряде международных научных конференций.

Замечания по диссертационной работе. Относительно постановок математических задач, формулировок утверждений и их доказательств, описания алгоритмов в целом замечаний нет. В замечаниях я бы отметил неточности в представлении результатов и некоторые ошибки в тексте литературного характера.

1. На данный момент тема гибридных систем не является устоявшейся как по терминологии, так и по подходам к решению задач. Похвальна попытка автора разобраться в этом вопросе, сделанная во введении, но она оказывается явно недостаточной, да и, наверное, не должна быть целью этой работы. Тем не менее, следует отметить определенные неточности. Так, под переключаемой системой на с. 8 понимается многорежимная система, в которой есть несколько динамических систем и механизм переключения между ними. В то же время в главе 1 под переключаемой системой понимается нечто другое: динамическая система одна, но в ее динамике происходят скачкообразные изменения.

2. Не совсем корректно использование термина «параметрическая неопределенность». В литературе под этим понимается неизвестное значение постоянного параметра, входящего в модель (т.е. в правую часть). В данном же случае речь идет о неопределенности, связанной с состоянием объекта.

3. Есть путаница с понятием «фиктивные переключения». Сначала в работе постулируется, что фиктивных переключений нет. Однако затем оказывается, что их можно рассматривать. На мой взгляд, рассматривать переключаемые системы без фиктивных переключений — все равно, что рассматривать действительные числа без нуля.

4. Есть некоторый повтор в формулировках. Так, формула (1.15) — это на самом деле формула (1.6) с заменой некоторых символов. Различие лишь в контексте: в первом случае стартовый момент времени и стартовое состояние предполагаются фиксированными (т.е. зависимость от них не считается существенной), а во втором случае они изменяются свободно.

5. Есть опечатки в тексте диссертации и автореферата (например, знаки препинания на с. 11 и 14, нумерация на с. 61 диссертации, стилистические

ошибки на с. 3 и 18, ошибка в формуле (1.6) на с. 7 автореферата). Впрочем, их довольно мало.

В заключение отмечу, что диссертация Г.И. Немыченкова представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, содержащую новые научные результаты. Основные результаты диссертации опубликованы в научной печати и апробированы на научных конференциях и научных семинарах. Автореферат и научные публикации автора полностью отражают содержание диссертации. Диссертация соответствует паспортам специальностей 05.13.18 и 05.13.01.

По актуальности, научному уровню и содержанию диссертационная работа Г.И. Немыченкова удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой 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)», а ее автор Григорий Игоревич Немыченков заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанным специальностям.

Официальный оппонент
 профессор кафедры математического моделирования
 Федерального государственного бюджетного
 образовательного учреждения высшего
 профессионального образования
 «Московский государственный технический
 университет имени Н.Э. Баумана»,
 доктор физико-математических наук, доцент
 Тел. (499) 263 63 91,
 E-mail: bauman@bmstu.ru

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

А.Н. Канатников



В Е Р Н О

ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

А.Г. МАТВЕЕВ