



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института программных систем  
им. А.К. Айламазяна РАН, чл. корр. РАН

С.М. Абрамов

« 14 »

11

2019 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации Немыченкова Григория Игоревича «**Моделирование и синтез субоптимальных переключаемых систем при наличии дискретных неточных измерений**», представленной на соискание ученой 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).

В диссертации исследуется проблема оптимального управления переключаемыми системами (ПС) в условиях параметрической неопределенности. ПС предназначены для описания многоэтапных процессов с переключениями режимов функционирования. Эта тематика является важной для авиационно-космической техники (проектирование многорежимных систем управления летательными аппаратами, бортовых оперативно-советующих систем и т.п.). Наряду с авиационной и ракетно-космической техникой важные приложения имеются в области робототехники и в экономике.

ПС обобщают системы автоматного типа (САТ), дискретные, непрерывно-дискретные системы и входят в состав гибридных систем, которые находят широкое практическое применение. Разработанные в диссертации теорию и алгоритмы синтеза оптимальных ПС можно применить для оптимизации широкого круга гибридных и переключаемых систем. Таким образом, актуальность диссертационного исследования определяется современными задачами проектирования и оптимизации гибридных авиационных и ракетно-космических систем.

Непрерывное изменение состояния ПС описывается дифференциальными уравнениями, а дискретные изменения состояния (переключения) – рекуррентными уравнениями, при этом не исключаются мгновенные многократные переключения. Рассматриваемые в диссертации задачи отличаются от классических задач оптимального управления дискретными и непрерывно-дискретными системами. В классической постановке задачи время дискретное, т.е. тактовые моменты, в которые происходит изменение состояния системы (переключе-

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 03 / 12 2019



чение), заданы. ПС и САТ функционируют в непрерывном времени и совершают переключения в некоторые, заранее не заданные, моменты времени. Количество и сами моменты переключений находятся в процессе оптимизации функционала, в котором учитываются "затраты" на каждое переключение. Как правило, учет этих затрат оказывает регуляризирующее влияние, делая процессы с бесконечными переключениями неоптимальными, а решение задачи – более практичным.

В диссертационной работе исследуются задачи оптимального в среднем управления пучками траекторий детерминированных ПС. Для решения применяется принцип разделения, на основе которого для управления пучком траекторий применяется оптимальное управление одной, специальным образом выбранной траекторией пучка. В общем случае это управление субоптимальное. Однако оно может оказаться удовлетворительным для практики.

Важной особенностью рассматриваемых задач управления пучком траекторий ПС является наличие дискретных неточных измерений. Предполагается, что в результате каждого измерения определяется множество возможных в этот момент состояний системы. Накопление поступающей информации осуществляется естественным образом – путем пересечения всех известных ("измеренных") к настоящему времени множеств, а управление пучком траекторий, исходящих из найденного пересечения, выбирается оптимальным. В работе сочетаются применение двух подходов – принципа разделения и учета дискретных измерений.

Целью диссертационного исследования является разработка методов и алгоритмов решения задач поиска оптимального управления ПС в условия параметрической неопределенности.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов основной части, заключения, списка использованных источников. Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, формулируются цели и задачи исследования, приводится обзор работ в области оптимизации гибридных и переключаемых систем, а также задач управления в условиях неопределенности, раскрывается место данной работы среди работ других авторов. Дана краткая характеристика применяемых в диссертации методов исследования и полученных результатов.

В первом разделе рассматривается задача оптимального в среднем управления ПС. С применением метод динамического программирования доказаны достаточные условия субоптимальности в среднем управления пучком траекторий при наличии дискретных неточных измерений. На основе этих условий разработаны алгоритмы синтеза оптимального позиционного управления, субоптимального управления пучками траекторий и условного субоптимального управления пучками траекторий при наличии дискретных неточных измерений. Решены два академических примера оптимального управления пучками траекторий



линейных ПС с квадратичным критерием качества. Первая линейно-квадратичная (ЛК) задача с обменом каналов управления служит контрпримером, в котором принцип разделения не выполняется. Оптимальное в среднем управление не совпадает с субоптимальным, и оба этих управления отличаются от оптимального управления для геометрического центра тяжести пучка траекторий. Во второй задаче принцип разделения выполняется и применяется для получения оптимального в среднем управления при наличии дискретных неточных измерений.

Во втором разделе рассматривается задача оптимального управления детерминированными стационарными САТ, изменение состояний которых происходит только в начальный и конечный моменты времени. Доказаны достаточные условия субоптимальности управления пучком траекторий стационарных САТ при наличии дискретных неточных измерений. На основе достаточных условий разработаны алгоритмы синтеза оптимального позиционного управления, субоптимального управления пучками траекторий и условного субоптимального управления пучками траекторий при наличии дискретных неточных измерений. Для ЛК задач управления стационарными САТ разработанные алгоритмы приводят к оптимальному в среднем управлению, так как принцип разделения выполняется. Решены ЛК задачи синтеза оптимального и субоптимального в среднем управлений пучками траекторий стационарной САТ второго порядка. Оказалось, что одно измерение позволяет снизить значение функционала на 12.35%.

В третьем разделе решена задача активной стабилизации колебаний искусственного спутника при помощи реактивных двигателей малой тяги. Погрешность стабилизации характеризуется средним значением интеграла энергии. Точность исполнения команд включения и выключения двигателей равна одной секунде. При этих условиях «эффект Гурмана», заключающийся в минимизации суммарного расхода топлива при импульсных включениях двигателя, не проявляется. Дискретные неточные измерения позволяют снизить среднее значение функционала качества. Наиболее эффективными оказываются измерения, проведенные до активной фазы стабилизации. Первое измерение уменьшает среднее значение функционала на 88.5%, второе – на 19.3%. Остальные измерения менее эффективные.

В четвертом разделе описываются программный комплекс, реализующий алгоритмы синтеза оптимального управления пучком траекторий стационарной дискретной САТ при наличии дискретных неточных измерений, а также программный комплекс для решения задачи оптимальной в среднем стабилизации спутника при наличии дискретных неточных измерений. Получены свидетельства о государственной регистрации (№ 2017618981, № 2018616558).



В заключении сформулирован итог диссертации – разработка численно-аналитических методов синтеза оптимального и субоптимального управлений ПС, а также их применения в актуальных приложениях в области авиационной и ракетно-космической техники, перечислены основные научные результаты.

Оценивая диссертацию Немыченкова Г.И. в целом, отметим наиболее важные результаты. Доказаны достаточные условия субоптимальности в среднем управления пучком траекторий ПС и стационарных САТ при наличии дискретных неточных измерений. На основе этих условий разработаны численно-аналитические методы синтеза оптимального и субоптимального в среднем управлений пучками траекторий ПС и стационарных САТ. Разработаны методы моделирования движения ПС и стационарных САТ при разных способах описания множеств возможных состояний. Для ЛК задач управления стационарными САТ разработаны алгоритм синтеза оптимального в среднем управления, а также реализующий его проблемно-ориентированный программный комплекс. Решена задача активной стабилизации колебаний искусственного спутника при помощи реактивных двигателей малой тяги в условиях параметрической неопределенности при наличии дискретных неточных измерений. Разработан проблемно-ориентированный программный комплекс.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. При моделировании пучков траекторий динамических систем представляется естественным использование распараллеливания вычислений. В разработанных алгоритмах и программах вопрос распараллеливания не рассматривается.

2. В работе нет оценок алгоритмической сложности разработанных методов и требуемых вычислительных ресурсов. Эффективность применяемых численных методов не обоснована.

3. Рассматриваются задачи с фиксированным временем функционирования без фазовых и терминальных ограничений. Имеющиеся в задаче стабилизации спутника терминальные ограничения учитываются при численном решении программным образом без теоретического обоснования.

Диссертация Немыченкова Г.И. представляет собой законченное научное исследование, выполненное на современном математическом уровне и внесшее значительный вклад в теорию оптимального управления переключаемыми системами. Основные результаты являются новыми и строго обоснованными. Они полностью опубликованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Результаты диссертации могут быть использованы в учебном процессе и в научно-исследовательских институтах, специализирующихся в области авиационно-космической техники, механики, управления, например, МГТУ им. Н.Э.Баумана, МАИ, ФГУП "ГосНИ-



ИАС", Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институт космических исследований РАН, Институт динамики систем и теории управления СО РАН.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой 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), а ее автор, Немыченков Г.И., заслуживает присуждения этой ученой степени.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании семинара Исследовательского центра процессов управления ИПС им. А.К. Айламазяна (руководитель семинара – д.ф.-м.н., профессор Сачков Ю.Л.) 14.11.2019, протокол №. 8.

Руководитель исследовательского центра

процессов управления ИПС им. А.К. Айламазяна РАН

Главный научный сотрудник ИПС им. А.К. Айламазяна РАН

Доктор физико-математических наук

*Сачков*

Ю.Л. Сачков

Подпись Ю.Л. Сачкова заверяю

Начальник отдела кадров

ИПС им. А.К. Айламазяна РАН



Игнатьева Е.П.