

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Немыченкова Григория Игоревича на тему «Моделирование и синтез субоптимальных переключаемых систем при наличии дискретных неточных измерений», представленную 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)»

Диссертация посвящена исследованию задач оптимального в среднем управления пучками траекторий для двух классов динамических систем с переключениями при наличии дискретных неточных измерений. Рассматриваемые задачи представляют как теоретический, так и практический интерес, поскольку предложенные математические модели позволяют учесть ряд особенностей прикладных проблем, возникающих, в том числе, в областях авиационной и ракетно-космической техники. К ним относятся параметрическая неопределенность, переменная структура управляемой системы, наличие дополнительной информации о текущем состоянии системы, которую можно использовать в целях корректировки управляющих воздействий. Поэтому **актуальность** темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

С теоретической точки зрения выбор темы исследования можно считать удачным благодаря двум аспектам. Во-первых, постановки задач, предложенные в работе, существенно отличаются от хорошо известных классических проблем оптимального управления детерминированными системами как в непрерывном времени, так и в дискретном, что позволяет рассчитывать на получение новых научных результатов. Во-вторых, несмотря на наличие усредненного критерия качества и неточных поступающих измерений, задачи остаются детерминированными, что позволяет использовать для работы с ними модификации классических детерминированных подходов и не привлекать более громоздкую стохастическую теорию оптимального управления.

В работе рассмотрены следующие классы управляемых систем: переключаемые системы (ПС) и системы автоматного типа (САТ). Интересной особенностью ПС является то, что моменты переключений являются дополнительным ресурсом управления, и их выбор необходимо осуществлять с целью оптимизации заданного функционала качества. Последнее не является в полной мере актуальным для САТ, так как оптимальные процессы управления не могут иметь переключений

Общественный  
Вх. № 28 11 2019



в промежуточные моменты времени. Однако для обоих классов систем допускается ситуация, при которой переключения происходят многократно, в один и тот же момент.

Основная часть новых результатов работы в соответствии с наименованием темы исследований связана с построением субоптимальных управлений. Таким образом в работе именуется функции управления, построенные путем подстановки в оптимальную стратегию позиционного управления значений состояния системы, соответствующих траектории, которая стартует из наилучшего по критерию качества начального состояния, вместо самих значений вектора состояния («принцип разделения» в терминологии автора). Как итог, синтезируется некоторая функция управления, которая может оказаться приемлемой, но вовсе не обязательно будет оптимальной. Последнее наглядно демонстрируется на модельном примере.

Составной частью оптимальной стратегии позиционного управления является количество переключений в виде функции начального состояния. В работе показано, что еще одним способом улучшения качества полученного субоптимального управления является фиксация количества переключений, в результате чего оказывается возможным осуществить дополнительную минимизацию по моментам переключений и улучшить значение функционала качества, а в некоторых случаях – получить искомое оптимальное в среднем управление. В общем случае указанную функцию предлагается называть условным субоптимальным управлением.

Наконец, финальное приближение к оптимальному процессу предлагается осуществить за счет привлечения дополнительной информации. А именно, рассмотрена ситуация, при которой в заранее заданные моменты времени на управляющее устройство поступает информация о текущем реальном состоянии системы. Предполагается, однако, что полученные значения неточны, и, следовательно, эту информацию возможно применить лишь для корректировки имеющегося на данный момент среза траекторий пучка. В результате отбрасываются заведомо недействительные траектории и корректируется опорная. Как следствие, уменьшается степень неопределенности и улучшается значение функционала качества управления.

**Структура и содержание работы.** Диссертация изложена на 119 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающем 149 источников.

Во введении дана классификация управляемых динамических систем с переключениями, обозначены классы таких систем, на изучение которых направлена работа. Приведена характеристика текущего состояния исследований и обзор основных существующих в литературе подходов к решению задач оптимизации систем



с переключениями. Сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, дано краткое описание предлагаемых методов и процедур.

Первая глава посвящена субоптимальному в среднем управлению пучками траекторий ПС. Приводятся формулировки задач синтеза оптимального управления одной траекторией, пучком траекторий, а также задач синтеза субоптимального управления пучком при отсутствии и при наличии дискретных неточных измерений. Формулируются известные результаты по первой задаче. Вторая задача обсуждается в контексте «принципа разделения». Для первой и третьей задачи в качестве новых научных результатов разрабатываются алгоритмы синтеза субоптимального и условного субоптимального управления. Для четвертой задачи формулируется основной теоретический результат – достаточные условия субоптимальности при наличии неточных измерений, который также снабжается численным алгоритмом. В последних разделах главы обсуждаются модельные примеры и формулируются результаты.

Вторая глава посвящена субоптимальному в среднем управлению пучками траекторий САТ. Приводятся формулировки задач синтеза оптимального управления одной траекторией, пучком траекторий, а также задач синтеза субоптимального управления пучком при отсутствии и при наличии дискретных неточных измерений. Формулируются известные результаты по первой задаче. Вторая задача обсуждается в контексте «принципа разделения». Для первой и третьей задачи в качестве новых научных результатов разрабатываются алгоритмы синтеза субоптимального и условного субоптимального управления. Для четвертой задачи формулируется основной теоретический результат – достаточные условия субоптимальности при наличии неточных измерений, который также снабжается численным алгоритмом. Дополнительно расшифровываются алгоритмы решения указанных задач в случае линейно-квадратической постановки вопроса. В последних разделах главы обсуждается модельный пример и формулируются результаты.

В третьей главе рассматривается задача стабилизации колебаний искусственного спутника Земли на круговой орбите. Качество управления характеризуется средним значением интеграла энергии. Задача решается с заданной погрешностью моментов включения и выключения двигателя. Начальное состояние системы точно не известно. В процессе стабилизации производятся дискретные неточные измерения угловой скорости с постоянной погрешностью. Результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, в какие моменты времени имеет смысл осуществлять измерения.



В четвертой главе приводится набор методов и приемов, использованных для моделирования пучков траекторий систем с переключениями. Дано описание разработанных на их основе программных комплексов, обеспечивающих моделирование пучков траекторий, учет дискретных неточных измерений, а также визуализацию численных расчетов.

**Основными результатами работы** можно считать разработку математических моделей функционирования управляемых систем переменной структуры в условиях параметрической неопределенности с учетом поступления дискретных неточных измерений, алгоритмов синтеза оптимального позиционного управления, субоптимального и условного субоптимального управления пучками траекторий таких систем, а также формулировку и доказательство достаточных условий субоптимальности при наличии неточных измерений.

**Достоверность** вынесенных на защиту результатов имеет теоретическое обоснование. Эффективность предлагаемых методов и алгоритмов вполне продемонстрирована на примерах. Полученное на их основе приближенное решение **прикладной задачи** полностью отвечает физическим представлениям.

Результаты являются **новыми** и прошли апробацию на международных конференциях и научных семинарах. Результаты диссертации отражены в 5 публикациях из перечня ВАК, три из которых входят в международные системы цитирования (Web of Science, Scopus). Разработанные в процессе исследований программные комплексы снабжены свидетельствами о государственной регистрации.

#### **Замечания по работе.**

1. Во введении, на страницах 7 и 11, присутствует несколько нестрогих утверждений, связанных с геометрическими ограничениями в задачах оптимального управления, которые могут быть трактованы как ошибочные.

2. Приведенные в работе классификация управляемых систем с переключениями и связи между ними вызывают вопросы, так как утверждения на этот счет в разных частях диссертации противоречат друг другу. Ничего не сказано о том, что ПС и САТ можно представить в виде частных случаев более общего класса логико-динамических систем.

3. Название «принцип разделения» для сформулированного в диссертационной работе утверждения подобрано неудачно, так как оно не имеет ничего общего с известным принципом разделения для задач совместного оценивания и управления. Сама формулировка приводится со ссылкой на работу В. М. Вонэма, в которой данный термин отсутствует вовсе.



4. В примере 1.6.2 предполагается без обоснования, что оптимальный процесс может иметь переключения только в начальный и конечный моменты времени, в то время как выбор моментов переключений заявлен в постановке задачи как дополнительный ресурс управления.

5. При формулировке алгоритмов синтеза субоптимальных управлений не приводится эффективных правил останова. Вместо этого предлагается либо осуществлять на каждой итерации громоздкое сравнение образующих функции цены, либо останавливаться после заранее заданного числа шагов.

Тем не менее, считаю, что изложенные в работе новые научные результаты компенсируют приведенные выше недостатки.

**Заключение.** Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на хорошем уровне. Работа удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, то есть удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Немыченков Григорий Игоревич, заслуживает присуждения ему 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**

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории  
«Математических методов исследования  
оптимальных управляемых систем им.

В.Ф. Кротова» ИПУ РАН

**Царьков Кирилл Александрович**

117997, Россия, г. Москва ул. Профсоюзная, д. 65,

тел.: +7 (495) 334-91-59,

E-Mail: k6472@mail.ru.



Подпись Царькова К.А.  
**ЗАВЕРЯЮ**  
ЗАВ. ОТДЕЛОМ КАДРОВ  
И.А. ГАВРИЛОВА  
*Гаврилова*