

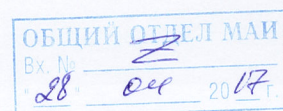
# ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Кирилла Александровича Царькова  
на тему «Математическое моделирование и оптимизация  
квазилинейных динамических стохастических систем диффузионного  
типа, нелинейных по управлению»,  
представленной 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)»

## Актуальность темы диссертации.

В настоящее время в различных областях техники, и навигации возникает необходимость одновременного управления большим количеством разнородных относительно простых объектов. К задачам подобного рода относятся, в частности, управление группировками атмосферных малых беспилотных летательных аппаратов (квадрокоптеров, дронов, ракет), а также спутников, морских судов и пр. Действия группировки подчинены достижению некоторой единой цели. При этом каждый объект группировки снабжен индивидуальной системой управления, основанной на принципе обратной связи. В силу конструктивных ограничений по быстродействию и памяти отдельные системы не могут использовать для синтеза управления информацию о всех объектах группировки, а только об их части (например, о состоянии соседних объектов). Решение данного класса задач в настоящее время весьма востребовано. Представленная диссертационная работа предлагает один из способов этого решения, и поэтому ее актуальность не вызывает сомнений.

Достоверность положений диссертации подтверждается достаточной строгостью приведенных математических доказательств, корректным применением математических методов и методов компьютерного моделирования.



**Основные научные результаты работы** состоят в следующем.

1. Получены необходимые условия оптимальности линейных по состоянию управляемых стохастических дифференциальных систем, нелинейно зависящих от управления (оптимальное управление в терминах работы).
2. Получены необходимые условия оптимальности управления, выбираемого из линейного подпространства, порожденного набором известных функций состояния и времени (субоптимальное управление в терминах работы).
3. На основе процедуры градиентного спуска разработан численный метод поиска стационарных решений, удовлетворяющих полученным необходимым условиям как для случая оптимального, так и субоптимального управлений.
4. Разработано программное обеспечение, реализующее предложенный численный метод, и пригодное к решению модельных задач управления в рамках рассматриваемых моделей.
5. Теоретические результаты, численный метод и разработанное программное обеспечение протестированы на модельных примерах синтеза управления с неполной обратной связью в задачах стабилизации двухзвенного механического манипулятора и спутника с упругой штангой (антенной).

**Теоретическая и практическая значимость результатов исследования.**

Теоретическое значение работы определяется возможностью последующего применения результатов диссертации при решении задач системного анализа соответствующего класса управляемых стохастических систем. Помимо этого, представленные результаты имеют определенные перспективы применения при решении задач математического моделирования разнообразных реальных процессов.

Кроме того полученные результаты имеют и самостоятельное значение для развития численных методов решения задач оптимального управления с полной и неполной обратной связью.

Практическая ценность работы состоит в том, что её теоретические результаты могут служить основой для разработки «промышленного» программно-алгоритмического обеспечения решения ряда прикладных задач управления авиационной и ракетно-космической техники. В частности, полученные результаты после небольших доработок применять при решении задач стабилизации спутников со штангами: достаточно лишь учесть в моделях возможность наличия нескольких штанг и солнечных батарей. Другой областью приложения результатов является уже упомянутое управление группировками летательных аппаратов.

**Публикации и апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, 4 из которых размещены в журналах из перечня ВАК. Полученные автором результаты были представлены на международных конференциях и научных семинарах.

**Структура и содержание диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка литературы.

С точки зрения порядка изложения и представления результатов работы материал диссертации разбит на разделы достаточно эффективно и представлен удобно для читателя. Каждый раздел снабжен общими сведениями, необходимыми для понимания основных результатов, а также заключающим разделом, аккумулирующим выводы.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

К сожалению, работа не лишена недостатков.

1. Начало введения содержит ряд терминов («*пико- и наноспутники*», «*гидродинамическое управление*», «*агрегаты струйной техники*», «*струйные технологии*» и пр.), не являющихся общеупотребительными и требующими дополнительных определений или разъяснений. Тем не

менее, в этой части текста их нет, равно как и нет ссылок на источники, где с данными терминами можно познакомиться.

2. В подразделе 1.4 «Результаты» в качестве таковых представлено следующее: *«Записана постановка задачи оптимального программного управления стохастическими системами диффузионного типа, определен ряд ключевых понятий и соотношений, а также сформулирована основная идея, используемая для синтеза оптимального управления»*. Перечисленные действия не могут быть квалифицированы именно как результаты.
3. В формулировке Теоремы 4 (подраздел 3.3, стр. 67) функция  $H^*(t)$  не определена.
4. В разделе 4 диссертант не вполне удачно применяет термин «субоптимальный» к части своих результатов – оптимальных стратегий управления квазилинейной системой в форме полиномов. В настоящее время термин «субоптимальный» стал эквивалентом термина «неоптимальный». На самом деле автор получил более сильный результат – решение задачи *«оптимального управления на классе полиномиальных функций состояния»*, или *«условно-оптимального управления»* на том же классе.
5. В подразделе 5.2 рисунок 21 не соответствует своему описанию: диссертант пишет (см. стр. 95), что субоптимальные управления выбираются в классе многочленов нулевой степени, в то время как на графике это многочлен первой степени.

Необходимо отметить, что все вышеперечисленные замечания не снижают научную ценность представленной диссертационной работы.

#### **Заключение по работе в целом.**

**Диссертация является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, выполненной на хорошем математическом уровне. Автореферат правильно отражает содержание диссертационной работы.**

