

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной
и инновационной деятельности
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева.
Доктор технических наук,
профессор

С.А. Михайлов

« 28 » ноября 2019 г.



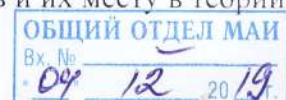
УЧЕНОМУ СЕКРЕТАРИЮ
диссертационного совета
Д 212.125.04
Московского авиационного
института. Кандидату
физико-математических наук
Рассказовой В.А.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе дом 4

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Онегина Евгения Евгеньевича на тему «Математическое моделирование и оптимальная стабилизация в классе квазилинейных стохастических систем с управляемыми параметрами», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 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 диссертационный совет Д 212.125.04.

Актуальность темы диссертации. Диссертация Е.Е. Онегина посвящена решению задач математического моделирования и оптимального устойчивого управления, квазилинейных стохастических систем на бесконечном интервале времени. Как показано в работе это весьма важное научное направление, которое характеризуется известными методами, результатами и приложениями. В отличие от ретроспективы исследований в диссертации Онегина Е.Е. на основе методологии, предложенной В.Ф.Кротовым и развития М.М. Хрустальевым этой методологии на стохастические задачи управления, исследуются не только необходимые и достаточные условия оптимального управления квазилинейных стохастических систем, но и построены аналитические соотношения для построения численных методов нахождения оптимального решения. Полученные автором теоретические результаты моделирования и управления стохастических систем, продемонстрированы на примере исследования динамики задач оптимальной стабилизации спутника с упругой штангой, оптимальной стабилизации движения спутника на круговой орбите и задач оптимального сближения двух спутников на круговой орбите. Поэтому круг исследований диссертации представляется весьма актуальным как благодаря научной ценности полученных результатов и их месту в теории



устойчивости и оптимального управления квазилинейных стохастических систем, так и благодаря достаточно широким возможностям их практических приложений.

Научная новизна. Автором выполнено законченное научное исследование, в ходе которого получены следующие основные научные результаты.

1. Сформулирована и решена нелинейная задача оптимального управления квазилинейной стохастической системы, для которой получены условия оптимальности в форме связанных между собой алгебраических соотношений и уравнения для определения стабилизирующего оптимального управления стационарной системы на бесконечном интервале времени.

2. Исследованы необходимые условия оптимальности в задачах оптимальной стабилизации квазилинейных стохастических систем с управляемыми параметрами, линейного стационарного регулятора по выходу в линейных стохастических системах с мультипликативными шумами при наличии информационных ограничений, а также необходимые и достаточные условия оптимальности линейных стохастических систем при наличии полной информации.

3. На основе компьютерных технологий в программной среде «Maple» разработан комплекс программ реализующих численные методы градиентного типа, которые реализуют алгоритмы последовательного приближения к оптимальному управлению с выбором шага градиентной процедуры из условия гарантированного уменьшения критерия качества. Интерес представляет алгоритм построения нестационарного субоптимального управления посредством последовательного конструирования стационарных оптимальных управлений на различных интервалах времени. Такая методология позволяет улучшить качество управления, что демонстрируется на модельных примерах.

4. Прикладной раздел диссертации посвящен решению задач из области ракетно-космической техники, таких как задача стабилизации спутника с упругой штангой, оптимальной стабилизации движения спутника на круговой орбите и задача одновременного управления сближения двух спутников на круговой орбите.

Тот факт, что в работе найдены решения задач сложной научной проблемы не вызывает сомнения. Автор развивает важное научное направление, связанное с математическим моделированием стохастических процессов и систем на основе теории устойчивости, оптимального управления и численных методов.

Содержание работы. Диссертация изложена на 102 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня условных обозначений и списка используемой литературы, включающем 137 источников. Диссертация построена логично и хорошо организована.

Во введении приведена общая характеристика работы, поставлены цели и задачи исследования, обоснована актуальность и научная новизна исследования, приведены методы исследования и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выделяется класс нелинейных стохастических систем, которые в работе названы квазилинейными стохастическими системами с управляемыми параметрами. Для выделенного класса систем ставится и решается задача оптимальной стабилизации. Первый параграф содержит описание квазилинейных стохастических систем с управляемыми параметрами и постановку задачи оптимальной стабилизации. Второй параграф содержит построение вспомогательного функционала Лагранжа–Кротова для поставленной задачи. В третьем параграфе вводится понятие стабилизирующего вектора параметров, и исследуются его свойства. В четвертом параграфе доказаны необходимые условия оптимальности стабилизирующего вектора параметров. Пятый и шестой параграфы посвящены построению численных методов синтеза оптимального стабилизирующего вектора параметров и субоптимального программного управления. В седьмом параграфе решен демонстрационный пример.

Во второй главе, полученные в первой главе результаты, использованы для построения условий оптимальности в задаче стабилизации линейных стохастических систем с мультипликативными возмущениями при наличии информационных ограничений. Первый параграф содержит постановку задачи. Во втором параграфе получены необходимые условия оптимальности стабилизирующего линейного стационарного регулятора. Третий и четвертый параграфы посвящены построению численных методов синтеза оптимального стабилизирующего стационарного линейного регулятора и субоптимального стабилизирующего линейного нестационарного регулятора. В пятом параграфе решен демонстрационный пример. Автором отмечен следующий факт: при наличии информационных ограничений даже в стационарной задаче оптимальной стабилизации линейный стационарный регулятор не будет оптимальным.

Третья глава посвящена задаче оптимальной стабилизации линейных стохастических систем с мультипликативными шумами при наличии полной информации о состоянии. Первый параграф содержит постановку задачи. Во втором параграфе

производится построение вспомогательного функционала качества для поставленной задачи. В третьем параграфе получены необходимые и одновременно достаточные условия оптимальности стабилизирующего линейного регулятора в широком классе допустимых управлений.

Четвертая глава содержит описание разработанного комплекса программ, а также применение полученных результатов к моделированию и решению ряда прикладных задач авиационной и ракетно-космической техники. Первый параграф содержит описание комплекса программ. Во втором параграфе рассматривается задача оптимальной стабилизации колебаний спутника с гибким стержнем при наличии мультипликативных ошибок управления. В третьем параграфе решена задача оптимальной стабилизации движения спутника вдоль круговой орбиты при наличии случайных возмущений. В четвертом параграфе решена задача оптимального сближения двух спутников на круговой орбите при наличии случайных возмущений и информационных ограничений на управление.

В заключении приведены основные результаты выполненной диссертационной работы.

Научная значимость результатов подтверждается 10 публикациями по результатам исследований, из которых 4 опубликованы в журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК и индексируемых в международных наукометрических базах данных. :Получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2018616557. Федеральная служба по интеллектуальной собственности – 04.06.2018. Онегин Е.Е. «Программный комплекс для решения задач оптимальной стабилизации и моделирования квазилинейных стохастических систем.».

Практическая значимость работы. Уровень практической значимости полученных результатов достаточно высок. Практическое приложение полученных теоретических результатов продемонстрировано на примере математических моделей, описывающих динамику космических аппаратов. На языке высокого уровня в среде «Maple» создан комплекс программ для проведения исследований численными методами с использованием современных компьютерных технологий. Разработанные алгоритмы и комплекс программ позволяют получить качественные характеристики решений стохастических уравнений, описывающих движение и функционирование различных космических спутников.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается с одной стороны, аккуратным и обоснованным введением и анализом допущений и предположений, а с другой стороны строгим доказательством сформулированных теорем и численными методами исследования устойчивости решений динамических систем, которые описываются квазилинейными стохастическими уравнениями.

Замечания по работе.

1. В работе практически отсутствует сравнение предлагаемых вычислительных методов с уже существующими.

2. Не учитываются возможные ограничения на значения управляющих параметров и характеристик систем.

3. Структурные ограничения на управление возможно учесть только в предположении линейной формы регулятора по выходу.

4. Все примеры в диссертационной работе решены численно. Однако в вопросах сходимости численных методов Автор ограничился не теоремами сходимости, а визуализацией графиков решений стохастических дифференциальных уравнений численного интегрирования по методу Эйлера – Маруямы. При этом из графиков наблюдается не только сходимость процессов, но и значительные выбросы переходных процессов.

Сделанные замечания не снижают общее положительное впечатление о работе.

В целом работа написана на высоком физико – математическом уровне, содержит обоснованные выводы и результаты. Диссертация оформлена в соответствии с предъявляемыми требованиями. Основные результаты диссертации опубликованы в центральных и других научных изданиях, многократно докладывались на международных, всероссийских, отраслевых и других научных конференциях и семинарах. Опубликованные работы адекватно отражают содержание диссертации. Автореферат полностью соответствует основным идеям и выводам диссертации и достаточно полно отражает ее содержание.

В диссертации проведены исследования по пунктам 1 – 4 паспорта специальности 05.13.18. и пунктам 2,4,5 паспорта специальности 05.13.01.

Заключение. Несмотря на отмеченные недостатки по актуальности и новизне полученных результатов, выводов и рекомендаций, по их значимости для науки решения практических задач, диссертация является законченной научно-квалификационной работой. Она содержит решение задач математического моделирования и оптимальной стабилизации в классе квазилинейных стохастических систем с управляемыми параметрами. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к

диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, ОНЕГИН ЕВГЕНИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, заслуживает присуждения ему 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)».

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А. Н. Туполева – КАИ», доктор технических наук, профессор,

e-mail: nrodnishev@yandex.ru,

тел.: +7-903-314-61-26,


Роднищев Николай Егорович



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ».

420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

Тел.: +7 (843) 231-01-09.

E-mail: kai@kai.ru.