

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, доцента Бортакковского Александра Сергеевича о диссертации Хаммади Алаа Хуссейна «Свойства характеристик множества достижимости различных управляемых систем», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление в диссертационный совет Д 212.025.08.

Актуальность темы диссертационного исследования. Теория управления является одной из самых востребованных практикой областей математики. В диссертации исследуются важные свойства динамических систем, характеризующие их потенциальные возможности, которые можно достигнуть за счет выбора управления. Оценки множества достижимости, так или иначе, учитываются разработчиками всех систем автоматического управления в любой прикладной области. Особенно актуальны вопросы достижимости в авиационной и космической технике, химической промышленности, робототехнике и энергетике. Например, в задачах терминального управления летательными аппаратами целью управления является попадание в заданное конечное положение или множество. Для безотказной и безопасной работы системы управления необходимо соблюдение ограничений на состояние системы в течении всего периода эксплуатации. Это требование непосредственно связано с инвариантностью множеств относительно управляемой системы.

Исследования инвариантных множеств относительно различных управляемых систем и дифференциальных включений относятся к одному из важных разделов современной теории управляемых процессов. Важные результаты получены в работах Н.Н.Красовского, А.Б.Куржанского, Ж.П.Обена, А.И.Субботина, Н.Н.Субботиной, Е.Л.Тонкова, В.Н.Ушакова, Т.Ф.Филипповой, П.Хартмана и других ученых. Одной из задач, изучаемых в диссертации, является задача математического описания множеств, которые "немного" отличаются от инвариантных или слабо инвариантных. Исследованию таких множеств посвящены работы В.Н.Ушакова и его учеников, в которых предлагается оценивать "степень отклонения от инвариантности" посредством числовой характеристики, которая названа дефектом инвариантности. В работах Л.И.Родиной и Е.Л.Тонкова предлагается другой подход к расширению понятия инвариантности, который состоит в вычислении относительной частоты пребывания множества достижимости управляемой системы в заранее заданном множестве. Такой подход востребован в прикладных задачах кризисного управления, возникающих в экономике, экологии и технике. При нормальной работе, например, экономической системы заданные ограничения не должны нарушаться. В случае нарушения возникает задача "стабилизации" – вывода из кризиса, т.е. выбора управления, при котором относительная частота попадания траектории в заданное допустимое множество равнялась бы единице.

Другая характеристика, изучаемая в диссертации, связана с равномерностью пребывания траекторий в заданном допустимом множестве. Этот показа-

тель также важен для прикладных задач. Все характеристики рассматриваются для детерминированных систем и для систем со случайными параметрами.

Таким образом, представленное в диссертации исследование является актуальным для математической теории управляемых систем и для практических задач стабилизации управляемых процессов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается: их сопоставлением с классическими результатами теории управления; обсуждением на семи международных конференциях; публикациями основных положений диссертационного исследования в четырех статьях, три из которых – в рецензируемых научных изданиях из перечня журналов, рекомендуемых ВАК для публикации материалов по диссертациям.

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием в качестве теоретической и методической базы трудов ведущих отечественных и зарубежных ученых в области теории управления, дифференциальных уравнений, случайных процессов, теории динамических систем, негладкого анализа; строгими доказательствами теорем; обоснованными выводами уравнений; сравнением с известными ранее теоретическими результатами.

Научная новизна результатов исследования. 1. Установлены связи относительных частот поглощения на конечном промежутке времени, в частности на периоде, с их предельными значениями (теорема 1.1). Доказаны теоремы сравнения для статистических характеристик множества достижимости управляемой системы (теоремы 2.1, 2.2), получены оценки относительной частоты поглощения для периодических множеств достижимости (теорема 3.1). Теоремы сформулированы в терминах функций Ляпунова и производной Кларка. При доказательстве используются теорема Радемахера, неравенство Чаплыгина, свойства дифференциальных уравнений и включений, выпуклый анализ. Приведены академические примеры вычисления исследуемых характеристик. Получено выражение для относительной частоты поглощения на периоде для линейного уравнения с периодическими коэффициентами. Решен пример нахождения относительной частоты поглощения для оценки численности популяции, динамика которой описывается нелинейным дифференциальным уравнением с периодическими коэффициентами.

2. Для системы со случайными параметрами получены нижние границы относительных частот поглощения (теорема 5.1). В отличие от детерминированных систем равенство единице относительной частоты возможно не для всех значений параметра, а почти всех значений из некоторого подмножества с заданной вероятностной мерой. Это обстоятельство усложняет формулировку и доказательство теоремы по сравнению с детерминированным случаем. Рассмотрена линейная управляемая система, уравнения движения которой меняются в случайные моменты времени, образующие цепь Маркова. Такую модель

можно отнести к переключаемым (гибридным) системам управления со случайными моментами переключений. Для этих систем получены оценки статистических характеристик (теорема 6.1). Приведены примеры вычисления оценок для систем первого и второго порядков.

3. Для управляемых систем со случайными параметрами получены оценки относительных частот поглощения множеств достижимости на конечном промежутке времени (теорема 8.1). Эти результаты представляют собой обобщение оценок, полученных в детерминированном случае. Доказаны оценки характеристик множества достижимости для нелинейных управляемых систем с переключениями (теорема 9.1). Приведет пример оценивания относительных частот на конечном промежутке времени для линейной управляемой системы второго порядка с переключениями.

Таким образом, в диссертации получен ряд весьма важных и нетривиальных результатов. Исследование управляемых систем со случайными моментами переключений производит сильное впечатление. Формулировки постановок задач, доказательства теорем, решение примеров показывают понимание функционального анализа, дифференциальных уравнений, теории случайных процессов, теории динамических систем и теории управления, уверенное применение выпуклого и негладкого анализа. Все это говорит о высокой математической квалификации диссертанта.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты можно использовать при решении широкого круга задач, возникающих при моделировании химических, биологических, экологических процессов, механических, робототехнических систем, авиационной и космической техники, машин и механизмов. Теоретические результаты можно использовать при обучении бакалавров и специалистов математических и естественно-научных направлений и специальностей.

Замечания по диссертационной работе. Наряду с достоинствами диссертационная работа имеет недостатки.

1. В практических задачах управления динамическими системами можно выделить два типа ограничений на состояние – обязательные и желаемые. Нарушение обязательных ограничений недопустимо. Например, это ограничения, связанные безопасностью функционирования. Наоборот, небольшое или непродолжительное нарушение "желательных" ограничений возможно, если при этом цель управления достигается полностью или частично. При рассмотрении систем со случайными параметрами выполнение "обязательного" ограничения почти всюду (даже с вероятностью единица) неприемлемо, так как даже мгновенное его нарушение приводит к катастрофе. Поэтому результаты, полученные в гл.2 и 3, относятся не ко всем ограничениям, а только к "желаемым". Это обстоятельство в диссертации не отмечено.

2. Критерием выполнения ограничений на заданном промежутке времени (конечном или бесконечном) считается равенство единице относительной частоты поглощения. Это равенство нельзя использовать, если задача решается

приближенно, так как оно не будет выполняться из-за вычислительных ошибок. Техника приближенного вычисления оценок в диссертации не рассматривается.

3. В диссертации нет оценок характеристик множеств достижимости реальных систем управления, хотя практическая необходимость таких оценок велика.

4. В работе много подобных определений для характеристик множества достижимости. Некоторые определения повторяются. Например, относительная частота поглощения множества определяется на с.19,22,34 и это только для детерминированных систем (в гл.1). Достаточно часто встречаются определения других относительных частот (поглощения графика и выполнения неравенства). Наверное, подобные определения можно было бы объединить, а повторяющиеся – исключить.

Указанные замечания не снижают ценности диссертации. В диссертации представлено высококвалифицированное математическое исследование, выполненное на актуальную тему. Обширный теоретический материал хорошо проработан, снабжен иллюстрирующими примерами.

Соответствие диссертации требованиям ВАК РФ. Автореферат и научные публикации автора отражают содержание диссертации. Диссертационная работа в целом является логичным, законченным, самостоятельным исследованием, имеющим научную новизну, теоретическую и практическую значимость. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Хаммади А.Х. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

Официальный оппонент,
доктор физ.-мат. наук, доцент,
профессор кафедры
"Математическая кибернетика"
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»
125993, Москва, Волоколамское шоссе, д.4
Тел.: 8-(499)-158-48-11
e-mail: dep805.ru



06.06.2016

Бортаковский А.С.

Подпись Бортакoвского А.С. заверяю.

Декан факультета "Прикладная математика и физика"

С.С. Крылов

