

ОТЗЫВ официального оппонента

доктора физико-математических наук Юрия Владимировича Болотина

на диссертацию Азанова Валентина Михайловича «Алгоритмы динамического программирования решения задач оптимального управления дискретной стохастической системой с терминальным вероятностным критерием», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01- «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)»

Актуальность темы исследования.

Задачи оптимального управления дискретными стохастическими системами представляют интерес для разных прикладных областей: аэрокосмической, экономической, робототехнической и т.д. Диссертационная работа Азанова Валентина Михайловича посвящена развитию метода динамического программирования для решения указанных задач с вероятностным критерием. Критерий можно рассматривать как альтернативу минимаксному критерию в применении к задачам управления, где требуется гарантируемая надежность, в частности в аэрокосмической области. В рассматриваемой задаче до сих пор остается много белых пятен. Поэтому данная область исследований представляется весьма актуальной.

Основные научные результаты. Для решения поставленных в диссертационной работе задач используется математический аппарат теории вероятностей, теории управления и теории оптимизации.

Основные научные результаты состоят в следующем.

1. Предложен способ построения поверхностей уровня 1 и 0 функции Беллмана и найдены с их помощью модифицированные соотношения метода динамического программирования.
2. Получены соотношения, устанавливающие двусторонние границы функции Беллмана и функции оптимальной цены и найден с их помощью способ построения субоптимального управления.
3. Решены задачи субоптимальной, а в некоторых случаях и оптимальной импульсной коррекции с вероятностным критерием, которые можно интерпретировать как задачи коррекции орбит спутников Земли.
4. Получены строгие решения ряда модельных задач с вероятностным критерием: задачи управления линейной системой с нефиксированным моментом окончания и задачи оптимального капиталовложения.

Теоретическое значение работы состоит в развитии алгоритма динамического программирования для синтеза оптимального управления дискретными

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 24 / 10 2018

стохастическими системами с вероятностным критерием и в получении качественных свойств функции Беллмана.

Достоверность положений диссертации подтверждается строгими математическими доказательствами и результатами численных экспериментов на примерах конкретных задач.

Практическая ценность работы заключается в возможности приближенного построения оптимального управления для систем, моделирующих различные процессы: коррекцию траектории движения спутника, капиталовложения и т.д. Вероятностный критерий, на мой взгляд, особенно полезен, наряду с максиминным и минимаксным, при решении разного рода задач тестирования. Результаты работы могут найти применение, в частности, в лаборатории МОИДС МГУ им. М.В.Ломоносова при разработке алгоритмов полунатурного тестирования пилотов.

Апробация работы и публикации.

Полученные автором результаты прошли апробацию на международных конференциях и научных семинарах. Результаты диссертации отражены в 5 публикациях из перечня ВАК.

Содержание работы и основные замечания.

Диссертация изложена на 142 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающем 133 источника.

Во введении дан подробный обзор литературы по рассматриваемому направлению, указаны нерешенные задачи.

Первая глава диссертации посвящена постановке задачи оптимального управления дискретными стохастическими системами с вероятностным критерием качества, формулировке соотношения динамического программирования и получению основных модификаций этих соотношений. Введены поверхности уровня 1 и 0 функции Беллмана и показано, что, в отличие от прямого решения уравнения Беллмана, исследование этих поверхностей относительно несложно, и оптимальное управление выхода на них явно вычисляется. На основе этих поверхностей построены оценки функции Беллмана снизу и сверху, на первый взгляд представляющиеся довольно грубыми, но оказывающимися, как показано в следующих главах, в ряде задач субоптимальными, а в некоторых и точными.

Вторая глава посвящена решению модельных задач - оптимального управления линейной системой с вероятностным критерием, аддитивным шумом в канале управления и нефиксированным моментом окончания и задаче оптимального управления скалярной системой, моделирующей процесс вложений капитала в рискованные активы. Все математические результаты в этих задачах получены, в основном, с использованием результатов первой главы. Эта глава интересна тем, что показано, что в ряде примеров нижняя оценка функции Беллмана, построенная в первой главе, достигается.

Третья глава посвящена задаче управления дискретной стохастической системой, линейной по состоянию, управлению и случайному возмущению,

моделирующей процесс коррекции орбиты космического аппарата. Явно построено субоптимальное управление, реализующее полученную оценку снизу функции Беллмана. Это управление на каждом шаге максимизирует вероятность выхода на поверхность уровня 1 функции Беллмана, с тем чтобы затем двигаться с нулевым управлением. В работе отмечено, что для одношаговой задачи это управление было получено ранее, причем оказалось оптимальным. Большой практический интерес представляет проведенное численное сравнение субоптимального управления с управлениями, полученными из других критериев оптимизации, в частности среднеквадратического и минимаксного.

Четвертая глава посвящена упрощенной двумерной модели оптимального управления движением геостационарного спутника. Уравнения билинейны по управлению и возмущению, с гауссовой моделью мультипликативной погрешности. В отличие от 3 главы, здесь вероятностный функционал зависит от значений обеих координат в конечный момент времени, что моделирует задачу зафиксировать долготу восходящего узла орбиты после коррекции. Решаемая задача более сложная; тем не менее автору удалось найти нижнюю границу для функции Беллмана и субоптимальное управление, реализующее эту границу.

Замечания по работе.

1. В главе 1 при общей постановке задачи максимизации вероятности прихода в заданную область накладывается ограничение, чтобы управление лежало в классе марковских измеримых стратегий, между тем как ниже дается ссылка на теорему Кибзуна и Игнатова, где доказано, что марковские измеримые стратегии безусловно оптимальны. Здесь требуются по меньшей мере комментарии.
2. Одним из основных результатов первой главы является нижняя оценка функции Беллмана. Однако вопрос о существовании субоптимальной стратегии, соответствующей данной нижней оценке, не исследован, и разобран в последующих главах лишь для частных примеров.
3. Не совсем понятно, насколько раздел второй главы, посвященный модели оптимального капиталовложения, соответствует специальности, отражает реальный процесс вложений, и могут ли полученные результаты быть использованы на практике.
4. В ряде примеров физическая постановка задачи недостаточно обоснована. Так, в главе 3 в задаче импульсной коррекции орбит ИСЗ накладывается ограничение на управляющие импульсы. Однако моменты приложения импульсов коррекции ИСЗ выбираются обычно из решения задачи минимизации энергозатрат. Если данные импульсы не реализуемы, следует не решать задачу оптимизации с ограничениями, а изменить план приложения импульсов коррекции, то есть, по сути, уравнения дискретной системы. Также неясен смысл введения аддитивной ошибки реализации импульсов коррекции. Представляется, что эту ошибку следует скорее рассматривать как внешние возмущения.
5. Имеется ряд редакционных замечаний

- a. Стр. 23 - вместо ссылки на (1.10) должна быть ссылка на (1.9)
- b. Стр. 27 – неоконченная фраза
- c. На стр. 33 утверждается, что решение ищется на «более широком классе функций», хотя в действительности это в точности класс позиционных марковских стратегий.
- d. На стр. 37 вместо ссылки на (1.6) должна быть ссылка на (1.5).
- e. На стр. 57 утверждается, что задача импульсной коррекции является задачей малой тяги, хотя, вроде-бы, принято считать эту задачу задачей большой тяги.

Сделанные замечания не снижает общее положительное впечатление о работе.

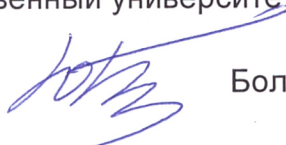
Заключение по работе.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу в области математической теории управления, выполненную на высоком математическом уровне. Основные результаты получены лично автором. Результаты полностью опубликованы автором в пяти статьях в журналах из перечня ВАК, в трудах всероссийских и международных конференций. Тематика и содержание работы полностью соответствуют заявленной специальности. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Азанов Валентин Михайлович заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры прикладной механики и управления
механико-математического факультета
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
тел.: 8 916 225 57 22,
e-mail: ybolotin@yandex.ru



Болотин Юрий Владимирович

Адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1,
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Подпись Болотина Ю. В. заверяю
И.о. декана механико-математического ф-та
МГУ им. М.В.Ломоносова профессор



В. Н. Чубариков