

У Т В Е Р Ж Д А Ю  
Директор Института  
проблем передачи информации  
им. А.А. Харкевича  
Российской академии наук  
д.ф.-м.н., профессор РАН  
А.Н. Соболевский



" 20 " октября 2018 г.

### О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу Азанова Валентина Михайловича "АЛГОРИТМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С ТЕРМИНАЛЬНЫМ ВЕРОЯТНОСТНЫМ КРИТЕРИЕМ", представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01- **Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)**).

Диссертация Азанова Валентина Михайловича посвящена исследованию задач оптимального управления стохастическими дискретными системами с терминальным вероятностным критерием на основе метода динамического программирования. Хотя подобные постановки являются очень естественными для стохастических систем, их исследование наталкивается на серьезные теоретические проблемы, связанные с существованием решений и характеристикой цены, которая зачастую является разрывной функцией состояния, а соответствующие уравнения динамического программирования не допускают явных решений. Кроме того, даже одношаговые задачи с вероятностными критериями приводят к необходимости вычисления и оптимизации условных математических ожиданий, а следовательно к весьма трудоемким вычислениям многократных интегралов.

#### **Актуальность темы**

Многие практические задачи авиационной и ракетно-космической техники требуют решения задачи управления движением объекта с целью попадания в некоторое терминальное множество с заданной, и как правило, очень высокой вероятностью. Развитые методы стохастического управления основаны, в основном, на использовании среднеквадратического или минимаксного критериев, при этом традиционные оценки вероятностей, полученные, зача-

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № 24 / 10 20 18

стую, без точного знания закона распределения, а лишь на основе неравенств Чебышева или Маркова, являются весьма грубыми и плохо характеризуют качество управления. Именно поэтому разработка методологии оптимизации, на основе которой можно развить достаточно эффективные численные методы для задач с вероятностными критериями, является важной и актуальной проблемой теории автоматического управления.

### **Научная новизна**

Основой работы является рассмотрение подмножеств пространства состояний вероятности 1 и 0, то есть множеств для которых с одной стороны существует управление, обеспечивающее попадание в заданное терминальное множество с вероятностью 1, и множество для которого данная вероятность равна 0 при любом управлении. Эти множества играют важную роль при построении оценок функции Беллмана сверху и снизу, и в некоторых случаях дают возможность найти оптимальное управление в явном виде, избегая вычисления функции Беллмана для промежуточных значений вероятности. Также данный подход позволяет в некоторых случаях найти субоптимальное управление. Вообще говоря, этот подход является новым и действительно даёт возможность предложить алгоритмы субоптимального управления, обеспечивающие хорошее качество управления. Исследование свойств данных множеств проведено достаточно детально и несомненно представляет собой серьезное продвижение в области решения задач управления с вероятностными критериями.

### **Практическая ценность и рекомендации по использованию результатов**

Полученные теоретические результаты используются при решении серии практических задач, а именно:

1. Получено оптимальное управление движением искусственного спутника Земли в окрестности Геостационарной орбиты с учетом ошибок исполнения корректирующих импульсов, которые представлены как мультипликативные по управлению случайные ошибки. Рассмотрены случаи гауссовского и равномерного распределения этих ошибок. Критерием служит вероятность попадания линейной комбинации вектора состояния в заданную окрестность нуля в терминальный момент времени. Такой критерий характеризует однопараметрическую задачу импульсной коррекции. Для случая гауссовского распределения найдено субоптимальное, а для случая равномерного распределения - оптимальное управление. Проведены численные эксперименты сравнения полученных алгоритмов управления со среднеквадратическим.
2. Решена задача оптимального управления движением искусственного спут-

ника Земли в двухпараметрической постановке. Рассмотрены случаи гауссовского и равномерного распределений случайного возмущения, играющего роль ошибки реализации корректирующего импульса. Для случая гауссовского распределения найдено субоптимальное, а для случая равномерного распределения - оптимальное управление.

3. Рассмотрена задача оптимального капиталовложения с критерием в форме вероятности достижения капиталом некоторого заранее известного уровня в терминальный момент времени, при этом роль управления играют доли капитала, вкладываемые в один безрисковый и заданное число рискованных активов, а вектор состояния, являющийся скаляром в данной задаче, имеет смысл капитала.

### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

#### **Публикации**

Количество публикаций и их качество полностью отражают содержание диссертации и соответствуют требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

#### **Замечания к работе**

1. Автор не исследует вопрос о непустоте множеств уровня 0 и 1 функции Беллмана. Для многих простейших управляемых систем эти множества пусты, а значит и дальнейшие рассуждения бессмысленны, так как оценки функции Беллмана становятся тривиальными.
2. В задаче управления портфелем ценных бумаг предположение независимости доходностей рискованных активов в портфеле между собой является весьма грубым и снижает практическую составляющую задачи.
3. Модель управления движением искусственного спутника Земли в окрестности геостационарной орбиты представляется слишком упрощённой, поскольку рассматриваемая модель представляет собой лишь кинематическую связь между координатами, скоростью и ускорением. При этом внешние детерминированные возмущения в модели отсутствуют, а в реальности именно они обуславливают необходимость коррекции орбиты.
4. В целом остаётся ощущение, что задачи с вероятностным критерием допускают эффективное решение лишь для достаточно простых моделей, а

распространение на более или менее общий случай вызывает серьезные трудности прежде всего вычислительного характера.

5. Тем не менее, отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку работы.

### **Заключение**

Диссертация является законченной научной работой, выполнена на высоком научном уровне. Основные результаты работы прошли детальную научную экспертизу, что подтверждается публикациями автора (в т.ч. в журналах из перечня ВАК), и правильно отражены в автореферате диссертации. Представленные результаты являются новыми и актуальными, а степень их обоснованности и достоверности является достаточной. Работа в целом и её отдельные результаты докладывались на объединённом семинаре в Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, и по результатам обсуждения принято решение, что работа выполнена на актуальную тему, диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 - **Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)**.

Отзыв подготовлен

Главным научным сотрудником лаборатории №2-ИППИ РАН,  
профессором, доктором физико-математических наук

Миллером Б.М.

**Адрес:** 127051, Россия, г. Москва,  
Большой Каретный переулок, д.19 стр. 1.  
**Телефон:** +7 916 277-98-28  
**Электронная почта:** boris.miller@monash.edu

