

Отзыв официального оппонента

о диссертации Травина Андрея Александровича

«Алгоритмы оценки квантильного критерия с заданной точностью в задачах стохастического программирования с кусочно-линейными и квадратичными функциями потерь», представленной на соискании учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника).

В диссертации Андрея Александровича Травина исследуются задачи вероятностного анализа, которые возникают при решении задач стохастической оптимизации численными методами.

Актуальность темы

Современный уровень требований к качеству процессов наблюдения и точности управления движением летательных аппаратов делает весьма актуальным применение вероятностных критериев оптимальности. Это обстоятельство связано с тем, что на любую управляемую систему влияют различные возмущения, стохастическое описание которых, как правило, не является полным. Статистические характеристики возмущений либо известны с достаточной точностью, либо для их определения нет надёжной информации. В связи с этим при решении задач управления помимо стохастического подхода применяется и гарантирующий подход.

Важным классом современных сложных управляемых систем являются летательные аппараты (ЛА) как космические, так и движущиеся в атмосфере. Эти ЛА движутся в условиях возмущений, обусловленных отклонениями параметров атмосферы и аэродинамических характеристик, разбросом тяги двигателей, погрешностями навигационных систем и т.д. Для задач исследования движений ЛА в настоящее время используются как детерминированные, так и вероятностные критерии качества, одним из которых является квантильный функционал. Эти критерии позволяют оценить точность системы управления с учётом дополнительных ограничений. Применение этих критериев оптимизации является одним из актуальных направлений стохастического программирования. Основы теории оптимизации по квантильному критерию были изложены в монографии В. В. Малышева и А. И. Кибзуна. Развитие исследований в этом направлении обуславливается, главным образом, аэрокосмическими приложениями, в которых необходимо совмещать противоречивые требования к точности и надёжности управления ЛА. В последнее время внимание исследователей задач оптимизации по квантильному критерию были сосредоточены, главным образом, на разработке численных методов решения этих задач. В диссертации А. А. Травина предложены численные методы вычисления квантильного критерия на основе построения двусторонних оценок. Достоинство такого подхода несомненно, так как он позволяет контролировать точность решения задачи и допускает распараллеливание процессов вычислений.

Содержание работы и её новизна

Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, содержащего 103 наименования, и двух приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и указаны пути её достижения. Описана структура работы и перечислены полученные в диссертации новые результаты.

В первой главе приведён обзор известных результатов в области вероятностного анализа. Эти результаты сформулированы в виде ряда теорем, которые используются в последующем исследовании. В частности, описан метод стохастической аппроксимации для оценки квантили распределения случайной величины. Новым результатом, содержащимся в первой главе, является метод построения двусторонних оценок квантильного критерия на основе аппроксимации функции распределения, представленный в виде алгоритма, состоящего из ряда последовательных шагов. Этот алгоритм применяется для случая квадратичной функции потерь. Приводится описание процедуры вычисления квантили нормы двумерного гауссовского вектора и примеры расчётов.

Вторая глава посвящена описанию методов оценки вероятностных мер для систем с кусочно-линейной структурой функции потерь в гауссовском случае, предложен новый алгоритм вычисления квантильного критерия с заданной точностью. Алгоритм основан на рекурсивном построении монотонно сходящихся детерминированных границ для квантильного критерия, определяемых по двусторонним монотонно сходящимся границам для функции вероятности. Последние строятся на основе специальных процедур численного интегрирования гауссовской плотности вероятности. Задача вычисления вероятностного критерия сводится к нахождению вероятности попадания случайного вектора в многоугольник, заданный системой линейных неравенств. Предложенный алгоритм распространён на трёхмерный случай.

Оценка точности полёта летательных аппаратов специального назначения относится к числу важных проблем, возникающих при их разработке и применении. В связи с этим существенным является анализ причин рассеивания траекторий, порождаемых множеством возмущающих факторов. Одному из аспектов этой проблемы и посвящена третья глава диссертации. В ней предлагается математическое и программное обеспечение анализа рассеивания точек падения фрагментов летательных аппаратов. Мерой точности полёта ЛА может служить отклонение текущих или конечных кинематических параметров возмущённой траектории от значений соответствующих параметров номинальной. Одним из критериев точности, используемых для учёта влияния рассеивания на результаты пуска, является круговое вероятное отклонение (КВО), представляющее собой радиус круга, вероятность попадания в который равна 0.5. КВО представляет собой квантильный критерий качества. Задача анализа зависимости КВО от свойств траекторий ЛА, несомненно, представляет практический интерес. В третьей главе предложен подход к разработке специального математического и программного обеспечения, позволяющего провести расчёты по получению зависимости КВО от угла наклона траектории в начале пассивного участка и полной сферической дальности полёта. При этом значение КВО для оптимальных траекторий максимальной дальности считается известным. Разработанный алгоритм содержит три этапа, включающие в себя ряд вычислительных процедур. На модельном примере обнаружено, что рассеивание фрагментов резко возрастает при использовании «настильных» траекторий.

В заключении кратко описаны новые результаты, полученные в работе, и их практическая значимость.

В приложениях дано описание разработанного программного комплекса и результаты расчётов, представленные в виде таблиц.

Теоретическая значимость и практическая ценность исследования

Полученные в диссертации результаты имеют теоретическое значение, поскольку разработаны новые методы численного решения достаточно широкого круга задач вероятностного анализа. Практическая ценность выполненного исследования определяется предложенными алгоритмами вычисления квантильного критерия с заданной точностью, а также решением актуальной задачи вероятностного анализа рассеивания точек падения фрагментов летательного аппарата. Эти результаты могут найти применение в специализированных организациях.

Достоверность результатов исследования

Достоверность полученных в диссертации результатов обосновывается строгостью постановок математических задач, доказанностью сформулированных утверждений, а также эффективностью разработанных алгоритмов, подтверждённой тестовыми примерами.

Замечания по диссертационной работе

1. В первых двух главах рассматриваются квадратичные и кусочно-линейные функции потерь, но не указано для какого типа задач целесообразно применять ту или иную функцию.
2. Изложение материала в третьей главе излишне лаконично. Ряд формул приведён без ссылок на литературу, что особенно относится к п. 3. 7, в котором проводится расчёт торможения ЛА в атмосфере.
3. В приводимых в третьей главе расчётах базовыми считаются траектории максимальной дальности, для которых известно КВО. Однако эти траектории являются наилучшими, если речь идёт о повышении точности полёта.

Общая оценка диссертационной работы

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация А. А. Травина представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком уровне. Работа в должной мере опубликована, три работы опубликованы в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Таким образом, работа «Алгоритмы оценки квантильного критерия с заданной точностью в задачах стохастического программирования с кусочно-линейными и квадратичными функциями потерь» удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым кандидатским диссертациям, а её автор, Травин Андрей Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника).

Главный научный сотрудник НИИ механики
МГУ имени М. В. Ломоносова
доктор физико-математических наук
профессор
119192, г. Москва, Мичуринский пр., д. 1, 8(495)939-31-21


В. М. Морозов

Подпись В. М. Морозова заверяю
Директор НИИ механики МГУ
академик РАН




Ю. М. Окунев