

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Института систем
энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского
отделения Российской академии наук»
член-корреспондент РАН, доктор технических наук,
профессор, заслуженный деятель науки РФ
В.А. Стенников



16» октябрь 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Васильевой Софии Николаевны на тему «**Алгоритмы анализа и оптимизации квантильного критерия в задачах стохастического программирования с билинейными и квазилинейными функциями потерь**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)», 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Васильевой С.Н. посвящена разработке алгоритмов решения задач оптимизации и анализа квантильного критерия в случае функций потерь линейной или квазилинейной структуры. Для решения этих задач ранее использовался доверительный метод, который заключается в эквивалентной замене задачи оптимизации квантильного критерия на обобщенную минимаксную задачу. Решение обобщенной минимаксной задачи представляет собой трудно разрешимую проблему. К настоящему времени эта проблема не решена. Следует отметить, что линейные функции потерь встречаются в многочисленных экономических и технических приложениях. Квантильный критерий качества используется в задачах принятия решений с учетом риска. Оптимизационные задачи с таким критерием формально являются частными случаями задач стохастического программирования с вероятностными ограничениями, исследованных в работах П. Калла, С. Уоллеса, А. Прекопы и др. С другой стороны, такие задачи имеют самостоятельное значение. Им посвящено большое число

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 24 / 70 20 18

публикаций Кана Ю.С., Кибзуна А.И., Наумова А.В., Иванова С.В. и других ученых. Этим и обусловлена актуальность темы диссертации.

В настоящее время имеется методология для разработки таких алгоритмов, указанных в названии диссертации. Она основана на понятии α -ядра вероятностной меры – специального множества неопределенности в пространстве реализаций вектора случайных параметров. В связи с этим представляется актуальной проблема построения моделей α -ядра, также исследуемая в диссертации.

Основными результатами диссертационной работы следует считать алгоритм построения сколь угодно точных внешних аппроксимаций α -ядра, результаты, позволяющие переходить к оптимизационным задачам, где в качестве множества неопределенности выступает многогранная аппроксимация α -ядра, а также метод линеаризации, позволяющий сводить задачи квантильной оптимизации с квазилинейными функциями потерь к аналогичным задачам с линейной по случайному вектору функцией потерь.

Структура и краткое содержание диссертационной работы

Диссертация имеет объем 106 страниц и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка используемых источников.

Введение начинается с обзора работ по данной тематике и смежным областям. Далее приводится обоснование актуальности и научной новизны проводимого исследования, формулируются цели и ставятся задачи работы. Здесь также описаны методы исследования, обоснована достоверность полученных результатов. Приведены сведения об апробации результатов, теоретической ценности и практической значимости работы. В конце введения приведен краткий обзор диссертации по главам.

В *первой главе* дано определение α -ядра вероятностной меры и приведены основные результаты о его свойствах. Далее приводятся новые результаты о свойствах α -ядра, показано на его значение. Для некоторых распределений α -ядра может быть найдено аналитически. Предложен алгоритм построения внешней аппроксимации ядра вероятностной меры. Доказано, что модели α -ядер – их внешние полиэдральные аппроксимации, построенные с помощью приведенного алгоритма – сходятся в метрике Хаусдорфа к самому α -ядру с увеличением числа их вершин. Рисунки α -ядер, построенные с помощью MATLAB, приведены.

Во *второй главе* описан программный комплекс, в котором реализован алгоритм из главы 1. Настоящий комплекс позволяет строить модели α -ядер для некоторых двумерных распределений..

Известно, что задача квантильной оптимизации может быть сведена к минимаксной, где внутренний максимум берется по реализациям случайного вектора, принадлежащим α -ядру, а внешний минимум – по допустимому множеству стратегий. В *третьей главе* исследуется вопрос о возможности замены α -ядра в этой минимаксной задаче на его внешнюю аппроксимацию, описанную в главе 1. Доказано, что при такой замене приближенное решение сходится к точному при увеличении числа вершин аппроксимирующего многогранника. Этот результат представляется ключевым и позволяет найти оценку сверху для значения критерия. Сходимость по стратегиям не рассматривается.

В *четвертой главе* рассматривается вопрос о возможности замены квазилинейной по случайным параметрам функции потерь на её линейную модель в задачах квантильной оптимизации. Линейная модель строится путем разложения в ряд Тейлора по вектору малых случайных параметров сходной функции потерь. Показано, что если случайные параметры являются в некотором смысле малыми и моделируются как покомпонентное произведение вектора малых детерминированных параметров на вектор случайных параметров, такая замена возможна. При этом ошибка по значению критерия имеет порядок квадрата нормы вектора малых детерминированных параметров. Таким образом, задача квантильной оптимизации может быть сведена к минимаксной задаче.

Пятая глава посвящена вычислению кругового вероятного отклонения концов возмущенных баллистических траекторий в плоскости Земли. Данная задача представляет собой сложную нелинейную проблему, для упрощения которой применен метод линеаризации. Произведены сравнения результатов, полученных с помощью метода Монте-Карло и метода линеаризации. Расчеты свидетельствуют о том, что погрешность метода линеаризации относительно метода Монте-Карло не превышает 1,5% для большого диапазона начальных данных. Также, по сравнению с методом Монте-Карло, метод линеаризации позволяет сократить время расчетов примерно 40 раз.

В *заключении* приведены результаты, выносимые на защиту.

Строгость доказательств представленных в диссертации результатов подтверждает их справедливость.

Практическая значимость диссертации подробно обоснована автором и состоит в том, что полученные теоретические результаты позволяют сводить исходные трудно разрешимые задачи к минимаксным задачам, что значительно упрощает их решение на практике. Также следует отметить, что на примере, рассмотренном в пятой главе удалось показать, что применение

метода линеаризации позволяет сократить время работы программы (на выбранных модельных данных получилось сокращение времени счета в 40 раз). При этом относительная ошибка в вычислениях не превысила 1,5% для широкого диапазона начальных данных. Эти факты свидетельствуют о достоинствах и практической применимости предложенных методов.

Научная новизна работы характеризуется следующими результатами:

1. Предложен алгоритм построения внешней полиэдральной аппроксимации α -ядра.

2. Разработан комплекс программ, позволяющий строить модели α -ядер.

3. Для класса задач квантильной оптимизации с билинейными функциями потерь предложен новый метод решения, основанный на использовании внешней аппроксимации α -ядра, позволяющий свести исходную задачу стохастического программирования к задаче линейного программирования. Доказана сходимость полученного решения по значению критерия к точному решению.

4. Обоснован метод линеаризации, позволяющий решить задачи квантильной оптимизации с квазилинейными функциями потерь. Метод основан на замене исходной функции потерь на её линеаризованную модель, полученную в соответствии с тейлоровским разложением исходной функции по вектору малых случайных параметров. Доказано, что ошибка, возникающая при такой замене, имеет порядок квадрата нормы вектора малых параметров.

5. Область применения метода линеаризации расширена на задачи квантильной оптимизации, где в качестве функции потерь выступает норма случайного вектора, компоненты которого нелинейно зависят от вектора малых случайных параметров. Доказано, что ошибка, возникающая при замене исходной модели на линеаризованную, имеет порядок малости, равный значению малого параметра.

6. На основе метода линеаризации решена задача расчета кругового вероятного отклонения. Результаты расчетов показали, что погрешность метода линеаризации относительно метода Монте-Карло для широкого диапазона значений исходных данных не превосходит 1,5%.

Рекомендации по использованию результатов диссертации:

Результаты диссертации Васильевой С.Н. могут быть использованы специалистами в области математического программирования и распознавания образов в ИММ УрО РАН, ИПУ РАН, ФИЦ ИУ РАН, а также при подготовке соответствующих специальных курсов для студентов

математических специальностей в МГУ им. М.В. Ломоносова, МАИ (НИУ), УрГУПС, и др. Предложенные алгоритмы и программный комплекс могут быть использованы для решения актуальных прикладных задач в аэрокосмической, энергетической и экономической областях, где возникает проблема принятия решений в условиях неопределенности с учетом риска.

Результаты диссертации Васильевой С.Н. могут быть использованы для решения практических задач квантильной оптимизации, а также для проведения занятий со студентами по курсу «Прикладное стохастическое программирование».

Работа выполнена на хорошем математическом уровне.

Замечания по диссертационной работе:

1. Возможность использования статистических оценок функции квантили в алгоритме построения модели α -ядра требует проведения дополнительных исследований.
2. При обосновании метода линеаризации имеет смысл более подробно исследовать случаи, когда линеаризованная модель оказывается вырожденной. Такая задача рассмотрена, например, в главе 5. Несмотря на то, что задача, рассмотренная в главе 5, решена, в диссертации не сформулированы рекомендации по поводу применения данного метода к таким вырожденным задачам.

Указанные замечания по диссертационной работе носят характер рекомендаций по проведению будущих исследований и не снижают общего положительного впечатления о ней. Диссертация Васильевой С.Н. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком уровне. Автореферат полностью соответствует диссертации.

Заключение

Полученные в работе результаты представляют собой большой вклад в развитие теории стохастического программирования. По теме диссертации имеется 16 публикаций, в том числе 4 – в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК, в том числе, две из них – в изданиях, входящих в базы цитирования WoS и Scopus и одна – в издании, входящем в базу Scopus.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)», 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор, Васильева София

Николаевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв обсужден и одобрен на научном семинаре отдела прикладной математики ФГБУН «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук» 16.10.2018 г, протокол № 6.

Заведующий отделом прикладной математики

ФГБУН «Институт систем энергетики

им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения

Российской академии наук»,

д.ф.-м.н., с.н.с.

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130

Email: khamisov@isem.irk.ru

Тел.: +7 3952 500 646 (261)



О.В. Хамисов

