

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертационная работа Васильевой С.Н. посвящена разработке алгоритмов решения задач оптимизации и анализа квантильного критерия в случае функций потерь линейной или квазилинейной структуры. Для подобных задач был разработан доверительный метод, который сводит их к обобщенной минимаксной задаче, исчерпывающего решения которой до сих пор не получено. В настоящее время появилась новая методология для разработки алгоритмов решения задач указанного класса. Она основана на понятии α -ядра вероятностной меры – специального множества неопределенности в пространстве реализаций вектора случайных параметров. В представленной диссертации эффективно развиваются методы и подходы на основе этой методологии. В связи с этим тема исследования является актуальной.

Содержание работы

Диссертационная работа С.Н. Васильевой состоит из введения, пяти глав, заключения, и списка литературы, включающего 108 наименований. Общий объем работы 106 страниц

Во **введении** приводится краткий обзор литературы, обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи исследования. Здесь также описываются методы исследования, научная новизна, обосновывается достоверность получаемых результатов, указывается теоретическая ценность и практическая значимость работы, приводятся сведения об апробации результатов исследования. Введение завершается кратким описанием содержания работы.

ОБЩИЙ ОТЗЫВ МАИ
Вх. № _____
23 10 2018

Первая глава диссертационной работы посвящена моделированию ядра вероятностной меры, а именно построению его точной и приближенной границ. Приводится определение ядра вероятностной меры и описываются его известные свойства. Обосновываются новые, не исследованные ранее свойства α -ядра. Приводятся примеры, для которых удастся аналитически построить границу α -ядра, рисунки с границами этих α -ядер для различных значений α в случае двумерного вероятностного распределения случайного вектора с независимыми компонентами. Предлагается алгоритм построения внешних полиэдральных аппроксимаций α -ядра. Этот алгоритм практически решает указанную выше проблему моделирования α -ядер. Доказана теорема о сходимости этих аппроксимаций в метрике Хаусдорфа с увеличением числа вершин аппроксимирующего многогранника. Этот результат представляет особый интерес, поскольку в условиях теоремы не требуется регулярность α -ядра.

Во **второй главе** приводится описание разработанного программного комплекса, позволяющего строить предложенные в первой главе модели α -ядер для некоторых распределений в двумерном случае. Разработанный программный комплекс позволяет проводить исследования геометрических свойств α -ядра.

Третья глава диссертации посвящена решению задач квантильной оптимизации с билинейными функциями потерь. Билинейными функциями потерь являются функции, линейные по вектору случайных параметров и вектору стратегии. Использование α -ядра вероятностной меры позволяет свести исходную задачу к минимаксной задаче. При замене α -ядра его моделью, предложенной в первой главе, эта минимаксная задача сводится к задаче линейного программирования. Доказано, что значение критерия, найденного с использованием аппроксимации, сходится сверху к точному решению при увеличении числа вершин аппроксимирующего многогранника.

Четвертая глава посвящена решению задач квантильной оптимизации с квазилинейными функциями потерь. В качестве квазилинейных функций рассматриваются гладкие нелинейные функции, в которых случайные параметры являются малыми. Малые случайные параметры моделируются как покомпонентное произведение вектора малых детерминированных параметров на вектор случайных параметров. Исследуется возможность использования вместо исходной нелинейной функции потерь её линеаризованной модели, полученной с помощью разложения в ряд Тейлора по вектору малых случайных параметров. С использованием линеаризованной модели задача квантильной оптимизации может быть

сведена к обыкновенной минимаксной задаче, где внутренний максимум берется по реализациям случайного вектора, принадлежащим α -ядру. Доказана теорема о том, что погрешность, возникающая при замене исходной функции потерь на линейную по вектору малых случайных параметров функцию, имеет порядок квадрата нормы вектора малых детерминированных параметров.

В пятой главе рассмотрена задача вероятностного анализа рассеивания концов баллистических траекторий. Здесь функцией потерь является норма вектора отклонения конца возмущенной траектории от конца номинальной траектории. Компоненты вектора отклонения являются случайными и нелинейно зависят от малого случайного параметра, в качестве которого выступает возмущение начальной скорости. После покомпонентной линеаризации вектора отклонения круговое вероятное отклонение может быть найдено с заданной точностью. Доказано, что ошибка, возникающая при использовании линеаризованной модели, имеет порядок малого параметра.

В заключении приведены результаты, выносимые на защиту.

Основные научные результаты

Наиболее важными научными результатами работы являются следующие:

- Алгоритм построения многогранной аппроксимации α -ядра. Доказательство сходимости полученной аппроксимации к истинной границе ядра в метрике Хаусдорфа (стр. 35, теорема 1.7);
- Новые свойства α -ядра, в том числе достаточное условие непустоты α -ядра (стр. 18, теорема 1.5);
- Сведение задачи квантильной оптимизации при использовании многогранной аппроксимации α -ядра к задаче линейного программирования (стр. 51, утверждение 3.1). Доказательство сходимости решения приближенной задачи к точному решению (стр. 51, теорема 3.1);
- Использование линейной модели функции потерь в случае, когда сама функция потерь имеет квазилинейную структуру. Доказательство малости ошибки, возникающей при такой замене (стр. 65, теорема 4.2);
- Решение практической задачи определения кругового вероятного отклонения в задаче анализа рассеивания баллистических траекторий (глава 5).

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается корректным использованием математических методов, строгостью доказательств, а также решением прикладной задачи в последней главе.

Основные результаты диссертации обсуждались на двенадцати научных конференциях. По теме диссертации имеется 16 публикаций, в том числе, 4 – в журналах из Перечня ВАК.

Теоретическая и практическая значимость работы

Диссертационная работа С.Н. Васильевой имеет теоретическую значимость, поскольку в ней развит и обоснован новый подход к решению задач квантильной оптимизации специального вида.

Практическая значимость настоящей работы обусловлена возможностью использования предложенных алгоритмов в практических задачах, что подтверждено решением задачи анализа рассеивания баллистических траекторий в пятой главе.

Соответствие результатов заявленным специальностям

Представленные в работе результаты соответствуют пунктам 1 и 4 профиля основной специальности (05.13.01):

- 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 (глава 3);
- Область применения метода линейаризации 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 линейаризованную, имеет порядок малости, равный значению малого параметра (глава 5);
- На основе метода линейаризации решена задача расчета кругового вероятного отклонения. Результаты расчета показали, что

погрешность метода линеаризации относительно метода Монте-Карло для широкого диапазона значений не превосходит 1,5% (глава 5).

Научные результаты также соответствуют пунктам дополнительной специальности (05.13.18):

- Предложен алгоритм построения внешней полиэдральной аппроксимации α -ядра (глава 1);
- Разработан комплекс программ, позволяющий строить модели α -ядер (глава 2);
- 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 разложением Тейлора исходной функции по вектору малых случайных параметров. Доказано, что ошибка, возникающая при такой замене, имеет порядок квадрата нормы вектора малых параметров (глава 4).

Замечания по диссертационной работе

1. Отсутствие в последней главе графических иллюстраций существенно затрудняет ее чтение.
2. Пункты 5 и 6 заключения тесно связаны с решением прикладной задачи в пятой главе, непонятно почему они сформулированы в общей абстрактной форме в отрыве от этой задачи.

Отмеченные замечания по диссертационной работе не носят принципиального характера и не снижают ее общей положительной оценки.

Заключение

Диссертация С.Н. Васильевой представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне.

На основании анализа диссертации и опубликованных работ можно заключить, что она полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842). Автореферат в полной мере соответствует содержанию диссертации.

Автор работы, София Николаевна Васильева, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» и 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заведующий кафедрой прикладной математики
Арзамасского политехнического института
(филиала) ФГБОУ ВО «Нижегородский
государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева)»

доктор физико-математических наук, профессор
607227, г. Арзамас, ул. Калинина, 19
+7 (910) 122-41-89

E-mail: pakshinpv@gmail.com

П.В. Пакшин

Подпись заведующего кафедрой прикладной математики,
д.ф.-м.н., профессора П.В. Пакшина заверяю
Зам. директора



В.П. Пучков