

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Торишного Романа Олеговича «Аппроксимация вероятностных критериев и их производных при непрерывных распределениях случайных параметров», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Диссертация Торишного Р.О. посвящена исследованию одношаговых моделей по принятию решения в стохастических системах, в которых критериальными являются функция вероятности и функция квантили. Путем синтеза оптимальных стратегий в данных системах решаются прикладные задачи широкого спектра, например, в сфере планирования производства, в вопросах инвестиционного планирования, а также в областях авиационной и космической техники. Зачастую такие задачи связаны с обеспечением некоторого уровня надежности функционирования описываемой системы, что является критичным в задачах, где надежность системы интерпретируется как безопасность некоторой группы лиц – например, авиапассажиров.

Сложность решения стохастических оптимизационных задач связана с тем, что вероятностная и квантильная функции не допускают простого представления, а зачастую и простого вычисления своих градиентов. В связи с этим актуальным видится исследование возможности приближенного вычисления градиентов этих функций и последующая адаптация классических градиентных численных методов для решения задач стохастического программирования. В настоящее время исследования в области вычисления градиентов вероятностных функций, а также в области решения стохастических оптимизационных задач адаптированными численными методами ведутся для узкого круга задач или некоторых видов распределений, чем обуславливается некая специфика предлагаемых методов. Стоит отметить, что стандартизованная методика приближенного вычисления градиента, позволяющая применение в широком ряду прикладных задач, ранее предложена не была. Вышеуказанные факты обуславливают актуальность темы, исследуемой в диссертационной работе Торишного Р.О.

Автором диссертации были получены новые научные результаты. В первой главе, являющейся теоретической базой всей работы, описывается методика приближенного вычисления функции вероятности и ее производных и приводится основной блок теорем о поточечной сходимости полученных приближений к оригиналам. Стоит отметить, что необходимые условия для использования приближения, предъявляемые к функции потерь

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

и случайному вектору, достаточно щадящие, но становятся строже при приближении производных более высоких порядков. Также в первой главе приведены альтернативные выражения для приближенного вычисления значения функции вероятности и функции квантили, а также их производных, причем эти приближения выражаются интегралами по объему, которые допускают простое вычисление на ЭВМ методом Монте-Карло. Этот факт существенно повышает прикладную ценность работы.

Во второй главе автором описываются некоторые стохастические оптимизационные задачи и приводится их общий алгоритм решения с учетом описанной в первой главе методики аппроксимации. Алгоритм решения задачи с полиэдральной функцией потерь и полиэдральной функцией ограничений несет дополнительную практическую ценность, поскольку автором предлагается один из методов обхода требования на гладкость функции потерь при приближенном вычислении производных функции вероятности. Сам же алгоритм решения представляет собой модифицированный метод градиентного спуска. Эффективность алгоритма продемонстрирована на примере решения задачи с заранее известными значениями параметров. Алгоритм решения задачи о построении границы альфа-ядра вероятностной меры, в сущности, сводится к построению линии уровня функции вероятности путем решения дифференциального уравнения на каждом шаге алгоритма, что также иллюстрирует простоту использования постулируемой методики приближения. Также одна из частей второй главы посвящена вопросам приближения второй производной функции вероятности и в основном содержит численные эксперименты.

В третьей главе описаны адаптированные под конкретные задачи стохастического программирования численные алгоритмы решения с использованием описываемой аппроксимации. В основе каждого метода лежат методы оптимизации не выше второго порядка, использующие информацию о градиенте целевой функции. В каждой из четырех описываемых задач полученные численные решения показывают эффективность предложенных алгоритмов, а разноплановость самих задач иллюстрирует универсальность методики аппроксимации.

В четвертой главе описана архитектура разработанного и зарегистрированного автором программного комплекса для построения приближенных функций вероятности и ее производных. Комплекс имеет модульную структуру и графический интерфейс, позволяющий тонко настраивать входные параметры для построения. Некоторые модифицированные модули комплекса использовались в численных экспериментах, описанных в предыдущих главах диссертации. В качестве иллюстрации работы программного комплекса проведено построение поверхностей ряда вероятностных функций, а также решена задача по оптимизации портфеля инвестора.

Указанные выше результаты являются новыми и достоверными. Цель диссертации - а именно, разработка теоретической базы для приближенного решения стохастических оптимизационных задач на основе описанного приближения - по итогам рассмотрения диссертационной работы представляется выполненной.

Теоретическая значимость полученных результатов высока и обуславливается вкладом в развитие методик решения стохастических оптимизационных задач на основе численных методов.

Практическая значимость работы обусловлена представленными в работе решениями задач разного рода. В общем виде решена задача с полиэдральной функцией потерь и полиэдральной функцией ограничений, а также задача построения границы альфа-ядра вероятностной меры. Кроме того, эффективность адаптированных численных алгоритмов иллюстрируется решением четырех прикладных задач: задачи об оптимизации площади взлетно-посадочной полосы при вероятностном ограничении на успешность посадки, задачи о построении множества скоростей ветра в момент вылета с вероятностным ограничением на возможность посадки в момент прилета, задачи об оптимизации системы опреснения воды с ограничениями на месячное потребление и задачи о планировании оптимального инвестиционного портфеля. Разработанный автором программный комплекс позволяет адаптировать описываемый метод приближения для получения оптимальной стратегии в каждой из рассматриваемых задач.

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. В работе приводится верхняя оценка погрешности приближения только для функции вероятности. Большой интерес представляет также аналогичная оценка для производных функции вероятности и для функции квантили.

2. В работе приведен достаточно подробный и обширный анализ задач, связанных в той или иной мере с функцией вероятности, тогда как функции квантили уделено меньше внимания. В контексте работы был бы уместным более объемный анализ или демонстрация решения прикладных или общих задач, связанных именно с функцией квантили.

3. Задачи, описываемые и решаемые диссертантом в п. 3.1 – 3.3, хоть и иллюстрируют прикладную ценность работы, однако являются хорошо изученными. Интересным выглядит адаптация методов приближения и решающих численных алгоритмов к более сложным или более актуальным задачам.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления о работе и не влияют на общую оценку диссертации.

Диссертация Торишного Р.О. представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, выполненную автором самостоятельно на высоком научном

уровне и соответствующую паспорту специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». Теоретические результаты, полученные в ходе работы, подтверждены строгими доказательствами, что обеспечивает их достоверность и обоснованность. Автореферат в точности отражает основное содержание диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в различных научных изданиях, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования WoS и Scopus (5 статей в российских и зарубежных журналах) и в журналах, входящих в перечень ВАК (2 статьи). Помимо этого, результаты диссертации апробированы в ходе выступлений Торишного Р.О. на ряде российских и международных конференций, а также на Общемосковском постоянном научном семинаре «Теория автоматического управления и оптимизации», проходившим в лаборатории № 7 «Адаптивных и робастных систем им. Я.З. Цыпкина» ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН».

Диссертационная работа Торишного Р.О. отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор, Торишный Роман Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Ведущий научный сотрудник  
ФГБУН «Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова  
Российской академии наук»,  
д.ф.-м.н., профессор  
эл. почта: nazine@ipu.ru

Назин Александр Викторович

«04» сентября 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), 117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.

Телефон: +7 (495) 938-80-80 Электронная почта: dan@ipu.ru.

Подпись *Назина*  
ЗАВЕРЯЮ

ВЕД. ИНЖЕНЕР  
ГОРДЕЕВА Ю. Ю.



*Сотзлов Александр*  
21.09.23  
*Торишный Р.О.*