

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.04

Соискатель: Иванов Сергей Валерьевич

Тема диссертации: Выборочные методы дискретизации иерархических стохастических моделей с вероятностными критериями

Специальность: 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)

Решение диссертационного совета по результатам защиты: На заседании 25 сентября 2020 года (протокол № 13) диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Иванова С. В. «Выборочные методы дискретизации иерархических стохастических моделей с вероятностными критериями» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Иванову Сергею Валерьевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

Присутствовали: Наумов А. В. – *председатель*, Кибзун А. И. – *зам. председателя*, Рассказова В. А. – *ученый секретарь*, а также члены диссертационного совета: Бардин Б. С., Битюков Ю. И., Борисов А. В., Бортаковский А. С., Босов А. В. Грумондз В. Т., Денисова И. П., Кан Ю. С., Колесник С. А., Короткова Т. И., Котельников М. В., Красильников П. С., Красинский А. Я., Кузнецов Е. Б., Куравский Л. С., Пантелеев А. В., Ревизников Д. Л., Семенихин К. В., Сеницин В. И., Сиротин А. Н., Формалев В. Ф., Хрусталев М. М., Ципенко А. В.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н.



Начальник отдела
Т.А. Артемкина

В. А. Рассказова

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.04,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.09.2020 № 13

О присуждении Иванову Сергею Валерьевичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Выборочные методы дискретизации иерархических стохастических моделей с вероятностными критериями» по специальностям 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» принята к защите «24» марта 2020 года, протокол № 11, диссертационным советом Д 212.125.04, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012, об изменении состава диссертационного совета № 628/нк от 07.10.2013, 574/нк от 15.10.2014, № 1339/нк от 29.10.2015, № 710/нк от 21.06.2016, № 1403/нк от 01.11.2016, № 1017/нк от 20.10.2017, № 272/нк от 27.03.2019.

Соискатель Иванов Сергей Валерьевич, 1989 года рождения, в 2012 году окончил с отличием Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) по специальности «Прикладная математика». В 2013 году Иванов С. В. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и

ракетно-космическая техника)» по теме «Синтез гарантирующих и оптимальных стратегий в двухуровневых задачах стохастического линейного программирования с квантильным критерием» в диссертационном совете Д 212.125.04, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет, МАИ)», 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4. (диплом кандидата наук ДКН № 205151, приказ № 284/нк-14 от 26 мая 2014 г.).

В период подготовки диссертации соискатель Иванов Сергей Валерьевич обучался в докторантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». С 2014 года по настоящее время работает доцентом кафедры № 804 «Теория вероятностей и компьютерное моделирование» института №8 «Информационные технологии и прикладная математика» Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Диссертация выполнена на кафедре 804 «Теория вероятностей и компьютерное моделирование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ.

Научный консультант – Кибзун Андрей Иванович, д. ф.-м. н., профессор, заведующий кафедрой № 804 «Теория вероятностей и компьютерное моделирование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Назин Александр Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук» (ИПУ РАН);

2. Каркищенко Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательский институт робототехники и процессов управления Южного федерального университета (НИИ РИПУ ЮФУ);
3. Горяинов Владимир Борисович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор ФГБУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана» (МГТУ).

Оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева»

В положительном отзыве ведущей организации указано, что диссертационная работа представляет собой законченную и целостную научно-квалификационную работу на актуальную тему. В работе получены новые научные результаты, обладающие высокой теоретической и практической значимостью. Приведены строгие доказательства всех результатов. Продемонстрирована возможность применения разработанных методов и алгоритмов для решения прикладных задач из авиационной и ракетно-космической области, а также в области экономики. Совокупность полученных в работе результатов можно квалифицировать как научное достижение в области моделирования и анализа стохастических иерархических систем.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника).

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., проф. Назина Александра Викторовича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. Поиск с чередующимися окрестностями в качестве базового метода решения выборочных аппроксимаций задач требует более тщательного

обоснования. Представляет интерес получения других методов для решения возникающих задач.

2. Представленный в теореме 2.24 объем выборки, достаточный для аппроксимации задачи минимизации функции квантили, зависит от неизвестной величины ε' . К сожалению, в работе не описаны конструктивные методы поиска данной величины.

3. При бесконечном множестве допустимых стратегий результаты о точности аппроксимаций задач представлены только для вероятностного критерия. Не меньший интерес представляет точность аппроксимации задачи с квантильным критерием.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., проф. Каркищенко Александра Николаевича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. Название диссертации носит более широкий смысл, чем собственно ее содержание. Это предствляется не совсем оправданным, поскольку позволяет предполагать, что диссертация посвящена исследованию произвольных иерархических стохастических систем, в то время как предметом исследования являются одноэтапные, двухэтапные и двухуровневые системы, которые являются частным случаем иерархических систем.

2. Второе замечание относится ко всем разработанным в диссертации алгоритмам поиска оптимальных решений. Поскольку алгоритмы синтеза оптимальных стратегий в стохастических системах во многих случаях связаны с большим объемом вычислений, особенно, если это связано с невыпуклыми функциями и областями, то следовало бы привести априорные оценки сложности этих алгоритмов, зависящие от основных параметров, характеризующих размерность решаемых задач. При этом желательно, чтобы были оценки как временной, так и емкостной сложности.

3. Ключевым понятием при построении моделей в диссертации является абстрактно вводимая функция потерь, принимающая значения из расширенной действительной области (включающей по определению и бесконечные значения). Из текста не совсем понятно, в каких случаях функция потерь может принимать отрицательные значения (как, например, в модели

планирования производства), и значения равные отрицательной бесконечности. Тем более что последний случай особо исследуется, в частности, в лемме 1.1. По этой причине в работе следовало уделить больше внимания практическому смыслу учета бесконечных значений функции потерь в двухэтапных и двухуровневых задачах.

4. Судя по смыслу, выбор типа применяемого критерия зависит от физического содержания решаемой задачи, а также от предпочтений лица, принимающего решение. Тем не менее, было бы весьма интересно, если бы в диссертации были приведены хотя бы общие соображения относительно того, в каком случае следует выбирать вероятностный критерий, а в каком - квантильный. Хорошо, если бы этому вопросу был посвящен хотя бы небольшой, но отдельный раздел диссертации. Это, безусловно, сделало бы диссертацию более ориентированной на практическое использование.

5. В задачах иерархической оптимизации и многих задачах оптимального управления, в частности, управления нелинейными системами, как правило, возникают невыпуклые структуры (функции управления, ограничения, области определения). К таким задачам зачастую невозможно применять стандартные методы оптимизации, поскольку не всегда может быть найден глобальный экстремум, а могут получаться решения вообще далекие от оптимальности. Методы решения таких задач сложны как с содержательной, так и с вычислительной точек зрения. Соискатель это, безусловно, понимает, многие результаты формулируются в предположении выпуклости штрафных функций, а также областей. В тех случаях, когда может появляться невыпуклость, в диссертации приводятся соответствующие комментарии (стр. 42, 71,..., 195, 226, 228). Однако вопросы, связанные с решением задач невыпуклой оптимизации, остаются в основном вне рассмотрения, что не критично, но несколько снижает качество проведенных исследований.

6. При моделировании с помощью комплекса программ, реализующих разработанные методы (Глава 5), используются выборки очень большого объема. Вместе с тем непонятно, какими могут быть результаты при решении реальных задач, когда такие выборки получить невозможно?

7. Некоторым методическим недостатком работы является то, что зачастую при изложении сначала используется термин или обозначение, и только затем дается его определение.

8. При изложении математических результатов диссертации встречается очень много различных, но близких по смыслу математических объектов со схожими обозначениями. Это усложняет чтение диссертации, поскольку трудно запомнить их содержательный смысл.

9. В выражениях (1.3) используются одновременно и супремум, и максимум функции вероятности. Аналогичное замечание относится и к выражениям (1.5).

10. На стр. 112 делается ссылка на Предположение 1.1, сформулированное в разделе 1.2.1. Однако в этом разделе такого предположения нет.

11. Одной и той же буквой x обозначается характеристическая функция (везде по тексту) и в то же время штрафная функция (стр. 139).

12. В тексте диссертации иногда встречаются математические объекты, которые не были должным образом определены. Например,

- на стр. 124 появляется параметр Γ , который не был определен ранее;

- на стр. 184 не определена функция $\tilde{\Phi}(z)$;

- на стр. 185 используется функция $\hat{\Phi}(\bar{y}, \beta, x)$, которая также не определена явно. Однако по смыслу можно понять, что это функция потерь, записанная в многомерной сферической системе координат. Вместе с тем, для большей ясности перед формулировкой теоремы 4.5 о квазивыпуклости этой функции следовало бы предварительно дать интерпретацию понятия квазивыпуклости в сферической системе.

13. Диссертация написана корректно и грамотно. Однако имеется значительное число опечаток и синтаксических ошибок (например, на стр. 8, 9, 12, 14, 22, 27, 28, 30, 31, 45, 59, 71, 75, 89, 122, 137, 142, 164, 208, 225, 226). Встречаются повторы либо отсутствие слов и выражений (стр. 19, 34, 67, 125, 129, 186).

14. Имеются опечатки в математических выражениях и формулах:

стр. 35. В 7-й строке должно быть равенство вместо нестрогого неравенства;

стр.38. В Следствии 1.1 ошибочно написано «... максимизации функции квантили ...» в то время как должно быть «... максимизации функции вероятности...»;

стр. 87, 91. В нескольких формулах записано u вместо $s(u)$;

стр. 95. Пропущен индекс в формуле (2.32);

стр. 188. В выражении для $\Phi(y, x)$ должна быть функция \min вместо \max .

стр. 51, 54, 118. Опечатки и пропуски в математических выражениях.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., доц. Горяинова Владимира Борисовича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. Предложенные в диссертации алгоритмы и методы подробно описаны для классов двухэтапных и двухуровневых задач стохастической иерархической оптимизации. При этом непонятно, могут ли данные алгоритмы и методы быть обобщены на многоэтапные и многоуровневые стохастические задачи. Это исследование могло бы существенно усилить результаты диссертации.

2. Полученные в разделе 2.1 утверждения о сходимости решений детерминированных аппроксимаций задач стохастического программирования существенно ограничивают класс задач, к которым этот метод применим. Остаётся неясным, в какой мере условия утверждений являются необходимыми.

3. В работе предложена методика сведения двухуровневых задач стохастического программирования с квантильным критерием к задачам математического программирования, которые содержат и действительные и целочисленные переменные. При этом предполагаются известными верхние и нижние оценки функций, задающих описание задачи. К сожалению, в работе не предложено общих методов для поиска этих оценок.

Отзыв на диссертацию ведущей организации.

Ведущая организация дала положительный отзыв на диссертацию. Отзыв подписан заведующим кафедрой «Прикладная математика» АПИ НГТУ им. Р.

Е. Алексеева, доктором физико-математических наук, профессором Пакшиным Павлом Владимировичем и директором Института радиоэлектроники и информационных технологий НГТУ им. Р. Е. Алексеева, доктором технических наук, доцентом Мякинковым Александром Валерьевичем. Отзыв утвержден проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева», доктором физико-математических наук Куркиным Андреем Александровичем. Замечание по диссертации:

Замена исходной исследуемой задачи, которая относится к выпуклому программированию, на задачу «смешанного линейно-целочисленного программирования» (СЛЦП) обсуждена в работе недостаточно полно. В то же время это центральная и достаточно неожиданная идея работы. В самом деле, задача СЛЦП это задачи линейного программирования с обычными «непрерывными» переменными и булевыми (дискретными) переменными, входящими мультипликативно, в которой приходится искать глобальный минимум функции с большим числом локальных минимумов, в связи с чем эта задача внешне выглядит сложнее исходной. С другой стороны для СЛЦП разработано мощное программное обеспечение, основанное на эффективной комбинации симплекс-метода и метода ветвей и границ. Автор разработал метод сведения сложных задач квантильной оптимизации (или задач с вероятностными ограничениями) к задачам типа СЛЦП. В итоге вместо двухмерных/трехмерных задач автор может решать (хотя и с помощью внешнего программного обеспечения) задачи с 1000-1500 переменными. Это выглядит как весьма серьезный прогресс. Однако после чтения работы не остается четкого понимания, почему такие невыпуклые задачи можно успешно решать. Здесь можно провести параллель с полуопределенным программированием, но в этом случае ответом на вопрос об эффективности являются аналитические результаты Н. Е. Нестерова и А. С. Немировского. Подобный ответ по отношению к подходу автора не просматривается.

На автореферат диссертации поступило 9 отзывов.

1. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева»

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, деканом факультета математики ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» Новиковым Сергеем Яковлевичем и доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой информационных систем и технологий ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» Прохоровым Сергеем Антоновичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. При определении множество допустимых значений скорости ветра в районе аэродрома (см. раздел 4.2) целесообразнее, на наш взгляд, использовать математические модели случайных процессов.

2. В автореферате отсутствуют технические характеристики разработанного программного комплекса.

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» Кузнецовой Викторией Николаевной. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. Осталось неясным, какие общие допущения приняты автором диссертации при разработке математических моделей сложных систем с вероятностными критериями.

2. К сожалению, в автореферате не указаны направления и перспективы дальнейших исследований автора по теме диссертации.

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук (ИММ УрО РАН)»

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором РАН, заведующим отделом ФГБУН «Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук (ИММ УрО РАН)» Хачаеом Михаилом Юрьевичем. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

1. Из автореферата неясно, в какой мере полученные результаты о сходимости выборочных аппроксимаций задач с вероятностным критерием и об объёме выборки, достаточном для построения аппроксимаций, усиливают результаты, выводимые непосредственно из равномерного закона больших чисел, который используется при решении близких задач обучения распознаванию образов.

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН)»

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории № 2 ИППИ РАН Миллером Борисом Михайловичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. Декларативный характер теоретических результатов, то есть какие-либо требования к функциям потерь, вероятности и ограничений отсутствуют, кроме самых общих, это либо важное достоинство данного подхода, либо недопонимание специфики задачи.

2. Слишком сжатое описание прикладных задач из области скорости ветра, или минимизации производственных затрат.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИМ СО РАН)»

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником ИМ СО РАН Кочетовым Юрием Андреевичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. Метод поиска с чередующимися окрестностями мог бы быть применён не только для одноэтапных и двухэтапных задач стохастического программирования, но и для двухуровневых задач, в том числе для модели конкурентного размещения предприятий. Успешные попытки в этом направлении уже были при решении задач размещения и ценообразования.

2. При решении задач конкурентного размещения предприятий с квантильным критерием быстро растёт размерность при росте числа сценариев. Из автореферата не ясно, как бороться с этим эффектом. В результате приходится искусственно сокращать число сценариев, чтобы не получить слишком громоздкую задачу двухуровневого программирования.

6. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором Каштановым Виктором Алексеевичем. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

1. Из двух алгоритмов, разобранных для задач стохастического линейного программирования, описан алгоритм решения одноэтапной задачи, хотя, учитывая специфику диссертации, целесообразно было бы привести описание алгоритма решения и двухэтапной задачи.

7. Омский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института математики им. С. Л. Соболева

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, доцентом, заместителем директора по научной работе ФГБУН «Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН» - директором Омского филиала Еремеевым Антоном Валентиновичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. Двухуровневая модель (1.12) формулируется в оптимистической постановке, предполагающей, что лидер учитывает наилучшую для себя оптимальную стратегию последователя. Было бы интересно сравнить данную постановку с пессимистической, в которой лидер учитывает худшую для себя оптимальную стратегию последователя.

2. В формулировке ограничений (1.14) предполагается, что технологическая матрица является детерминированной. Однако многие технологические процессы могут быть связаны со значительными случайными флуктуациями расхода ресурсов.

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором факультета ВМК МГУ им. М. В. Ломоносова Соловьевым Сергеем Юрьевичем. Отзыв положительный. Замечаний к автореферату нет.

9. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения»

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, профессором ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» Тимофеевой Галиной Адольфовной. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

1. Из автореферата в полной мере не ясно, какие из полученных результатов могут быть распространены на многоэтапные и многоуровневые модели.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области тем, затрагиваемых в диссертационном исследовании.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., профессор Назин Александр Викторович работает ведущим научным сотрудником ФГБУН «Институт

проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук» (ИПУ РАН). Область научных интересов – стохастическая и выпуклая оптимизация. Автор свыше 75 научных трудов, более половины из которых в журналах РАН, центральных изданиях и за рубежом.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., профессор Каркищенко Александр Николаевич работает ведущим научным сотрудником Научно-исследовательского института робототехники и процессов управления Южного федерального университета (НИИ РиПУ ЮФУ). Область научных интересов – математическое моделирование, теория вероятностей и математическая статистика. Автор более 50 научных работ.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., доцент Горяинов Владимир Борисович работает в ФГБУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана» (МГТУ). Область научных интересов – математическая статистика, регрессионные модели. Автор более 40 научных работ.

Выбор ведущей организации – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева» – обусловлен широким кругом проводимых фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований в области математического моделирования и системного анализа.

Соискатель имеет по теме диссертации 28 научных работ, из которых 6 работ в иностранных изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science или Scopus, 9 работ в российских изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science или Scopus, 2 работы в изданиях, включённых в перечень ВАК, 11 работ в других научных изданиях и материалах конференций. Получено два государственных свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Содержание данных работ в полной мере отражает содержание диссертационной работы, в которой отсутствуют некорректные и недостоверные ссылки.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Dempe S., Ivanov S., Naumov A. Reduction of the bilevel stochastic optimization problem with quantile objective function to a mixed-integer problem // *Applied Stochastic Models in Business and Industry*. — 2017. — V. 33. — No. 5. — P. 544–554.

2. Ivanov S.V., Kibzun A.I., Stepanova A.S. An algorithm to solve a quantile optimization problem with loss function having a separable structure and its application to an aerospace problem // *Applied stochastic models in business and industry*. — 2019. — V. 35. — P. 1269–1281.

3. Ivanov S.V., Kibzun A.I., Mladenović N., Urošević D. Variable Neighborhood Search for Stochastic Linear Programming Problem with Quantile Criterion // *Journal of Global Optimization*. 2019. Vol. 74. No. 3. P. 549–564.

4. Иванов С.В., Кибзун А.И. О сходимости выборочных аппроксимаций задач стохастического программирования с вероятностными критериями // *Автоматика и телемеханика*. 2018. № 2. С. 19-35.

5. Иванов С.В., Кибзун А.И., Младенович Н. Поиск с чередующимися окрестностями для двухэтапной задачи стохастического программирования с квантильным критерием // *Автоматика и телемеханика*. 2019. № 1. С. 54-66.

6. Иванов С.В., Кибзун А.И. Общие свойства двухэтапных задач стохастического программирования с вероятностными критериями // *Автоматика и телемеханика*. 2019. № 6. С. 70-90.

7. Кибзун А.И., Иванов С.В., Степанова А.С. Построение доверительного множества поглощения в задачах анализа статических стохастических систем // *Автоматика и телемеханика*. 2020. № 4. С. 21-36.

8. Иванов С.В. Задача двухуровневого программирования со случайными параметрами в целевой функции последователя // *Дискретный анализ и исследование операций*. 2018. № 4. Т. 25. № 4. С. 27-45.

9. Ivanov S.V., Zhenevskaya I.D. Estimation of the necessary sample size for approximation of stochastic optimization problems with probabilistic criteria // 2019. *Lecture Notes in Computer Science*. V. 11548. P. 552-564.

10. Иванов С.В. Двухуровневые задачи стохастического линейного программирования с квантильным критерием // *Автоматика и телемеханика*. 2014. №1. С. 130-144.

11. Ivanov S.V., Korbulakova V.K. Bilevel Programming Problem with Quantile Follower's Objective Function // CEUR Workshop Proceedings. 2016. V. 1623. P. 28–34.

12. Иванов С.В., Морозова М.В. Стохастическая задача конкурентного размещения предприятий с квантильным критерием // Автоматика и телемеханика. 2016. №3. С. 109-122.

13. Иванов С.В., Кибзун А.И. Выборочная аппроксимация двухэтапной задачи стохастического линейного программирования с квантильным критерием // Труды института математики и механики УрО РАН. 2017. Т. 23. № 3. С. 134-143. / Ivanov S.V., Kibzun A.I. Sample Average Approximation in a Two-Stage Stochastic Linear Program with Quantile Criterion // Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics, Vol. 303, Suppl. 1, 2018. P. 115-123.

14. Kibzun A.I., Ivanov S.V. Convergence of Discrete Approximations of Stochastic Programming Problems with Probabilistic Criteria // Lecture Notes in Computer Science. 2016. V. 9869. P. 525–537.

15. Иванов С.В., Кибзун А.И., Осокин А.В. Оптимизационная стохастическая модель назначения локомотивов для перевозки грузовых составов // Автоматика и телемеханика. 2016. № 11. С. 80-95.

16. Иванов С.В., Наумов А.В. Двухуровневая задача стохастического программирования с несколькими последователями и её приложение к оптимизации энергосберегающих проектов // Электронный журнал «Труды МАИ». 2014. № 77.

17. Наумов А.В., Иванов С.В. Программно-алгоритмический комплекс для оценки эффективности проектов по экономии электроэнергии на железнодорожном транспорте // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 12. С. 3-9.

18. Иванов С.В. Оценка эффективности проектов, направленных на экономию энергоресурсов на железнодорожном транспорте // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015610746 от 16 января 2015 года.

19. Кибзун А.И., Иванов С.В., Степанова А.С. Статистическое оценивание оптимальных решений задач стохастического программирования с

вероятностными критериями // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020611554 от 04 февраля 2020 года.

Диссертационный совет отмечает, что в выполненном диссертационном исследовании получены следующие **новые научные результаты**:

- 1) подход к построению математических моделей стохастических иерархических систем с учётом вероятностных критериев;
- 2) доказательство сходимости решений выборочных аппроксимаций одноэтапных, двухэтапных и двухуровневых задач стохастического программирования с вероятностным и квантильным критериями и оценки достаточного объёма выборки для построения аппроксимаций;
- 3) численные методы решения задач одноэтапных, двухэтапных и двухуровневых задач стохастического программирования с вероятностным и квантильным критериями;
- 4) алгоритмы решения одноэтапных и двухэтапных задач стохастического программирования с квантильным критерием;
- 5) численные методы построения аппроксимаций доверительного множества поглощения в стохастических системах;
- 6) комплекс программ, реализующий разработанные численные методы и алгоритмы синтеза стратегий в стохастических системах.

Теоретическая значимость исследования определяется следующими результатами. Разработан новый подход к моделированию сложных технических и экономических систем, основанный на использовании двухэтапных и двухуровневых задач стохастического программирования с вероятностным и квантильным критериями. Ранее такие модели строились для весьма ограниченного класса функций потерь. Впервые доказана сходимость выборочных аппроксимаций задач стохастического программирования с вероятностным и квантильным критериями при минимальных требованиях к функциям, описывающим задачу: необходимо, чтобы эти функции являлись нормальными интегрантами. На основе разработанного метода дискретизации предложен ряд новых численных методов решения задач стохастического программирования с вероятностным и квантильным критерием. Для

одноэтапных и двухэтапных задач с линейными функциями потерь впервые разработаны алгоритмы, позволяющие получать асимптотически точные решения. Данные задачи до этого могли быть решены только с помощью трудоёмких квазиградиентных алгоритмов, основанных на построении статистических оценок объёмных и поверхностных интегралов. Данные алгоритмы сходятся крайне медленно. Кроме того, достаточные условия, обеспечивающие корректность их применения, для этих классов задач не выполнены. Для общей постановки двухуровневой задачи стохастического программирования с квантильным критерием впервые предложен метод сведения к эквивалентной смешанной целочисленной задаче. Впервые разработан комплекс программ, реализующих предложенные в работе методы и алгоритмы синтеза оптимальных стратегий в стохастических системах.

Практическая значимость работы связана с разработкой методологии моделирования сложных технических и экономических систем с учётом вероятностных ограничений. Разработанные в работе методы применены для решения задачи оптимизации параметров взлётно-посадочной полосы и для решения задачи прогнозирования скорости ветра в районе аэродрома. В работе предложен ряд моделей конкретных систем, включая модель планирования производства, модель определения налоговой ставки и модель размещения предприятий. Разработанный комплекс программ может быть использован при синтезе оптимальных стратегий в указанных моделях.

Достоверность обеспечивается корректным использованием методов математического моделирования, системного анализа, проведёнными доказательствами утверждений, подтверждением теоретических результатов численными экспериментами.

Личный вклад. Все положения диссертации, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно.

Диссертационный совет считает, что диссертационная работа Иванова Сергея Валерьевич является самостоятельно выполненной, завершённой научно-квалификационной работой, в которой разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области математического моделирования и стохастической оптимизации.

Диссертация удовлетворяет пункту 9 постановления Правительства РФ №842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней».

На заседании 25 сентября 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Иванову С. В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 26 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», 9 докторов наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 26, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета
Д 212.125.04, д.ф.-м.н., доцент

А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н.

В. А. Рассказова

25 сентября 2020 г.

Начальник отдела УДС МАИ
Т.А. Анишина

