

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Иванова Сергея Валерьевича «Выборочные методы дискретизации иерархических стохастических моделей с вероятностными критериями», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)»

В диссертационной работе Иванова С.В. исследуются иерархические модели принятия решений в стохастических системах с вероятностным и квантильным критериями. Данные модели предназначены для описания систем, в которых вопросы надежности являются приоритетными. Решение задачи синтеза оптимальной стратегии в таких моделях позволяет обеспечивать выполнение ограничений с требуемой вероятностью, что особенно важно в области авиационной и ракетно-космической техники. Наряду с авиационной и ракетно-космической тематикой важные приложения полученных в работе результатов имеются в области организации производства и планирования инвестиций.

Выборочные методы анализа стохастических моделей позволяют существенно расширить их область применимости. Принятое в стохастическом программировании предположение о знании закона распределения случайных факторов зачастую не является обоснованным. По этой причине актуальным становится изучение методов синтеза оптимальных стратегий в стохастических моделях на основе имеющихся наблюдений случайных факторов. К настоящему времени вопросы корректности использования выборочных аппроксимаций в иерархических моделях с вероятностным и квантильным критериями изучены не были.

Указанные обстоятельства обуславливают несомненную актуальность темы диссертационной работы С.В. Иванова.

В диссертации получен ряд новых научных результатов. В первой главе предложен общий подход к моделированию стохастических иерархических систем с учетом вероятностных критериев. Ранее были известны только некоторые частные модели подобных систем. Доказан ряд теорем о свойствах этих моделей. В частности, впервые для двухэтапной модели с квантильным критерием обоснована эквивалентность

априорной и апостериорной постановок при произвольном виде целевых функций: требуется только их измеримость и полунепрерывность. Впервые для двухэтапной задачи с квантильным критерием обоснована корректность доверительного метода.

Во второй главе для широкого класса стохастических оптимизационных задач доказана сходимость их выборочных аппроксимаций. Причем получен и достаточный объем выборки для построения этих аппроксимаций, что особенно важно с практической точки зрения. Следует отметить, что доказательства проведены при минимальных предположениях о свойствах целевых функций задач. Представляется интересным полученный в работе факт, состоящий в том, что в двухуровневой линейной задаче с квантильным критерием сходимость выборочных аппроксимаций задачи гарантируется при почти всех уровнях надёжности. Данные результаты являются новыми и вносят существенный вклад в развитие методологии решения задач стохастического программирования.

В третьей главе описаны разработанные новые алгоритмы решения задач стохастического программирования, основанные на дискретизации вероятностной меры. Доказанные теоремы о сходимости выборочных дискретизаций рассматриваемых задач обосновывают корректность этих алгоритмов. Основой метода решения возникающих выборочных дискретизаций задач является поиск с чередующимися окрестностями, позволяющий за приемлемое время находить близкие к оптимальным решения комбинаторных задач. Приведенные в диссертации численные результаты применения разработанных алгоритмов демонстрируют эффективность предложенных методов.

В четвертой главе предложены новые методы построения так называемых доверительных множеств поглощения, по сути, представляющих собой множества уровня функции вероятности. Оригинальность предлагаемого подхода состоит в параметризации семейства множеств, некоторое преобразование которых обеспечивает внутреннюю аппроксимацию доверительного множества поглощения. В четвертой главе решается задача построения допустимых скоростей ветра в районе аэродрома. Результаты численных экспериментов показывают, что предложенные в работе методы могут существенно улучшить известную к настоящему времени внутреннюю аппроксимацию доверительного множества поглощения в данной задаче.

В пятой главе описывается архитектура разработанного программного комплекса. Компоненты этого комплекса зарегистрированы в установленном порядке. Комплекс имеет модульную структуру. Каждый модуль предназначен для решения одной из задач, рассматриваемых в работе. С помощью разработанного программного комплекса решена

важная практическая задача оптимизации параметров взлетно-посадочной полосы и ряд экономических задач.

Таким образом, основная цель диссертации – разработка методов математического моделирования иерархических стохастических систем с учетом ограничений на вероятностные характеристики, а также разработка численных методов и комплекса программ для синтеза оптимальных стратегий в данных моделях, – представляется достигнутой, а описанные выше результаты являются новыми и достоверными.

Полученные результаты безусловно имеют теоретическое значение, так как вносят существенный вклад в развитие методологии решения стохастических иерархических задач.

Практическая ценность данной работы обусловлена тем, что в ней решены две задачи в области авиационной и ракетно-космической техники: задача оптимизации параметров взлетно-посадочной полосы и задача построения множества допустимых скоростей ветра в районе аэродрома. Предложен ряд моделей экономических систем: модели планирования производства, модель размещения предприятий, модель определения налоговой ставки, модель инвестирования энергосберегающих проектов. Разработанный программный комплекс позволяет находить численные значения оптимальных стратегий в данных моделях.

**По содержанию диссертации имеются следующие замечания:**

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  $\epsilon'$ . 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.

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

Диссертация С.В. Иванова представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную автором самостоятельно на современном математическом уровне. Полученные автором теоретические результаты подтверждены

строгими доказательствами, что обеспечивает их достоверность и обоснованность. По каждой главе и по работе в целом сделаны четкие выводы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в различных научных изданиях, в том числе в изданиях, входящих в международные системы цитирования WoS и Scopus (9 статей в российских журналах и 6 статей в зарубежных журналах), и в двух журналах, входящих в перечень ВАК.

Полученные в работе результаты можно квалифицировать как научное достижение в области математического моделирования и стохастического программирования.

Диссертационная работа С.В. Иванова отвечает всем критериям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 и от 21 апреля 2016 года № 335, а ее автор, Иванов Сергей Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 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)».

Ведущий научный сотрудник  
ФГБУН Институт проблем управления  
им. В. А. Трапезникова  
Российской академии наук (ИПУ РАН),  
д.ф.-м.н., профессор

Назин Александр Викторович

« 09 » сентября 2020 г.

Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65. Телефон: +7 495 334-89-10. Электронная почта: nazine@ipu.ru

Подпись Назина А. В. заверяю \_\_\_\_\_

