

В диссертационный совет 24.1.224.01
на базе ФИЦ ИУ РАН по защите
диссертаций на соискание ученой
степени кандидата наук, соискание
ученой степени доктора наук
117312, г. Москва, пр.-т 60-летия
Октября, д. 9

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Горбуновой Анастасии Владимировны на тему
«Методы и алгоритмы анализа и управления для стохастических систем с
разделением и параллельным обслуживанием» на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1 «Системный
анализ, управление и обработка информации, статистика»**

Актуальность темы диссертационного исследования

Стохастические системы с разделением заявок (на подзаявки) и параллельным их обслуживанием – это чрезвычайно актуальный класс моделей систем массового обслуживания (СМО), который применяется для описания широкого круга реальных СМО, начиная с производственных, транспортно-логистических, энергетических, организационно-технических и т.п. систем, и заканчивая информационными системами и сетями, высокопроизводительными вычислительными системами с параллельной архитектурой. При этом точные решения соответствующих задач оценки показателей качества обслуживания существуют лишь для узкого, и не всегда практически применимого класса задач, а именно: с простейшими пуассоновскими потоками заявок и экспоненциальными распределениями времени обслуживания (причем, одинаковыми для всех каналов), а для систем с разделением – лишь для небольшого количества подзаявок – как правило, не более двух.

Это традиционная ситуация в теории массового обслуживания, в которой аналитически решается лишь малое количество стилизованных модельных задач. При этом широкий круг реальных, практически важных (в т.ч. для проектирования, планирования развития СМО различной природы) проблем остается решать, в основном, «лобовыми» вычислительно трудоемкими методами прямого статистического моделирования. Это ограничивает возможности рассмотрения различных вариантов СМО, значений параметров каналов обслуживания, т.е. возможности оптимизации, рационального планирования и проектирования СМО. Тем более мало изучены, помимо основных характеристик качества обслуживания (как правило, ожидаемых значений времен и т.п.), более сложные характеристики функционирования СМО, в частности, моменты и квантили распределения соответствующих величин – хотя они также могут быть весьма практически актуальными.

Поэтому целесообразно развитие методов и в целом новых подходов к моделированию и анализу СМО с разделением и параллельным обслуживанием,

находящихся «между» описанными крайними случаями – точными аналитическими решениями, которые мало где получены и вообще возможны, и вычислительно трудоемким прямым статистическим моделированием. Это могут быть приближенные аналитические решения, которые позволят получать оценки желаемых характеристик СМО с заданной точностью. Если же приходится прибегать к статистическому моделированию СМО с заданными наборами параметров, возможно, было бы плодотворным аппроксимировать результаты таких расчетов в отдельных точках пространства параметров, в т.ч. с применением современных методов машинного обучения, что позволит получить суррогатные модели СМО с произвольными параметрами, дающие результаты с малой вычислительной трудоемкостью.

Развитию такого разнообразного арсенала методов моделирования СМО с разделением заявок, от современных вычислительных методов до аналитических приближений, основанных на современных достижениях фундаментальной математики, и посвящена диссертационная работа А.В. Горбуновой. В связи с изложенным, выбор темы диссертационного исследования, постановка его цели и задач, безусловно, актуальны.

Основные результаты диссертационного исследования, их научная новизна

В ходе решения поставленных задач исследования Горбуновой А.В. получен ряд научных результатов, обладающих научной новизной. В т.ч.:

- разработаны методы и алгоритм вычисления ожидаемого времени отклика системы, его моментов и квантилей (с использованием современного аппарата копул), а также корреляции между временами пребывания подзаявок в подсистемах, включающий в себя аналитические аппроксимации, статистическое моделирование и обученную (на основе результатов применения этих методов) интеллектуальную модель, позволяющую получать оценки при произвольных значениях входных параметров;

- получены точные формулы коэффициентов корреляции между временами пребывания подзаявок в подсистемах СМО с разделением. Показано, что эти коэффициенты корреляции имеют нетривиальные пределы при стремлении загрузки каналов к максимально возможной. Этот результат позволяет углубить понимание содержательной природы процессов в СМО с разделением и параллельным обслуживанием;

- разработан метод определения оптимального времени обслуживания в зависимости от интенсивности входящего потока (т.е. метод экономически оптимального проектирования СМО данного класса);

- разработан метод оценки остаточного времени обслуживания, т.е. времени завершения работы СМО после выключения входящего потока;

- получены соответствующие результаты для непуассоновских функций распределения времени обслуживания – например, распределения Парето, что весьма актуально практически при исследовании реальных СМО в некоторых областях техники.

Обобщая эти результаты, можно сказать, что в диссертации разработан комплекс приближенных методов моделирования СМО с разделением и параллельным обслуживанием заявок, основанный на использовании широкого спектра методов различной математической природы – от классических аналитических аппроксимаций до современных алгоритмов машинного обучения, сочетающий современные аналитические и новейшие вычислительные подходы.

Соответствие диссертационного исследования паспорту научной специальности

Таким образом, в диссертации А.В. Горбуновой развит инструментарий моделирования и анализа (а также управления, проектирования на основе соответствующих моделей) сложных, неклассических стохастических систем массового обслуживания. Область исследования диссертации в целом соответствует пп. 1, 2, 4, 11 Паспорта научной специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (физико-математические науки).

Теоретическая значимость и практическая ценность результатов диссертационного исследования

Вклад данного диссертационного исследования в теорию массового обслуживания, помимо развития приближенных аналитических методов оценки характеристик «неклассических» СМО и применения современных вычислительных методов (в т.ч. машинного обучения), также состоит в том, что в этой области прикладной математики плодотворно использована теория копул.

Практическая ценность полученных А.В. Горбуновой результатов определяется возможностью их использования при моделировании, оптимизации и проектировании широкого круга реальных систем массового обслуживания. Сокращение вычислительной трудоемкости открывает возможности рассмотрения широкого круга альтернатив и поиска оптимальных решений.

Характеристика структуры и научно-методического уровня диссертационной работы

Структура автореферата логична и последовательна. В целом работа написана строгим, но доступным языком. Абстрактные понятия и категории постоянно иллюстрируются прикладными примерами (весьма многочисленными, применительно к теории массового обслуживания). Представленная диссертационная работа является актуальным, комплексным, аргументированно обоснованным научным исследованием с корректной методологической базой и существенным практическим потенциалом.

Публикации и апробация результатов диссертационного исследования

По итогам диссертационного исследования опубликовано 15 работ в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК по данной специальности (в т.ч. 6 статей в отечественных журналах уровня K1, 9 статей в журналах, индексируемых в международной библиографической базе SCOPUS).

Проведена длительная (с 2017 г.) апробация результатов на ведущих российских и международных профильных конференциях и симпозиумах. Это свидетельствует о длительной эволюции авторских научных положений и широком знакомстве научного сообщества с результатами исследования, а перечень публикаций, в т.ч. в соавторстве, свидетельствует об исключительном личном вкладе А.В. Горбуновой в развитие данного научного направления.

Замечания и рекомендации

В то же время необходимо отметить некоторые недостатки представленного диссертационного исследования.

1) Одной из актуальных с практической точки зрения проблем остается моделирование систем массового обслуживания с неоднородными каналами, имеющими различную производительность, т.е. ожидаемое время обслуживания, и/или различные распределения времени обслуживания заявок.

Также в задачах моделирования реальных СМО весьма актуальным является моделирование нестационарных, переходных процессов (например, «запуска» системы), а не только оценка характеристик стационарного состояния системы. Судя по автореферату, в диссертации такие задачи не решались (за исключением оценки остаточного времени обслуживания после выключения входящего потока как примера нестационарной постановки).

Интересно, как диссертант оценивает перспективы применения развиваемых им подходов к решению таких, практически очень актуальных задач.

2) Диссертант подчеркивает, что развиваемые им подходы к приближенному моделированию сложных систем массового обслуживания весьма экономичны с точки зрения вычислительной трудоемкости. Хотелось бы видеть и сравнительные количественные оценки ускорения расчетов, сокращения их объема, в сравнении с традиционными методами.

Также в этой методологической работе целесообразно ввести четкую классификацию методов моделирования СМО рассматриваемого класса (включая авторские) – начиная с точных аналитических формул, и заканчивая прямым имитационным компьютерным статистическим моделированием (методом Монте-Карло).

Указанные замечания не отменяют общей высокой оценки рассматриваемой диссертационной работы и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейшего развития плодотворных подходов, разработанных диссертантом, в этой чрезвычайно актуальной области прикладной математики.

Общее заключение по диссертационной работе

Судя по автореферату, диссертация Горбуновой А.В. является целостным и завершенным фундаментальным научно-квалификационным исследованием (имеющим и большое прикладное значение), выполненным на актуальную тему на высоком методологическом уровне, и посвященным решению крупной научной проблемы развития эффективных методов моделирования и анализа сложных стохастических систем массового обслуживания. Фактически, работа задает новую методологическую парадигму в этой чрезвычайно актуальной области.

На основании представленного автореферата можно сделать вывод о том, что диссертация на тему «Методы и алгоритмы анализа и управления для стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием» соответствует всем требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции, действующей с 1 января 2025 г.), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Горбунова Анастасия Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (физико-математические науки).

Заместитель Генерального директора по
стратегическому развитию ФГБУ
«Национальный исследовательский центр
«Институт имени Н.Е. Жуковского»
д.э.н., к.т.н., доцент



В.В. Ключков

09.09.26

Подпись Ключкова В.В. удостоверяю:
Первый заместитель Генерального директора ФГБУ
«НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»
д.т.н., профессор



В.С. Шапкин

Ключков Владислав Валерьевич,
доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный
исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского», заместитель
Генерального директора по стратегическому развитию

Юр. адрес: 140180, Россия, Московская обл.,
г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1

Факт. адрес: 125319, Россия, Москва, ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, каб. 302
Тел. +7 (916) 177-01-30, +7 (495) 234-00-77 (доб. 1019)
E-mail: vlad_klochkov@mail.ru, klochkovvv@nrczh.ru