

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

Диссертация посвящена актуальным задачам изучения и оптимизации стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием заявок (fork-join). Подобные системы имеют многочисленные приложения в компьютерных технологиях, торговле, медицине и др.

Центральное место в диссертации занимает развитый автором комплексный метод анализа, эффективно сочетающий в себе имитационное моделирование, машинное обучение, статистический анализ данных и теоретический анализ на основе современной математики (в том числе, теории копул). Комплексный метод позволяет получать новые удобные формулы для характеристик производительности систем, в том числе, улучшающие точность старых формул в десятки раз, а также многократно упрощать решение задач управления системами с целью их оптимизации, на основе анализа нелинейных аппроксимаций. Разработанные методы и алгоритмы можно применять далее к системам более общего или смежных типов. Таким образом, ценность работы заключается как в разработке методов, так и в полученных на их основе новых результатах о характеристиках систем.

Диссертация состоит из Введения и пяти глав.

Во Введении обосновывается актуальность темы исследования, а также ее научная ценность и значимость; сформулированы цели и задачи работы, представлен обзор литературы, посвященной анализу стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также описаны структура и краткое содержание диссертации.

В главе 1 проведен обзор результатов методов машинного обучения, в частности, искусственных нейронных сетей, для исследования различных стохастических систем, сформулирована концепция, важные положения и этапы нового метода. Показана высокая эффективность использования нейронных сетей в данной области, мотивирующая применить их также к системам, являющимся основным предметом изучения диссертации.

В главе 2 рассматриваются системы с разделением и параллельным обслуживанием с пуассоновским входным потоком и экспоненциальным распределением времен обслуживания подзаявок. Сначала проведен анализ системы с помощью нейронной сети (персептрона), который дает оценки хорошей точности для среднего и дисперсии времени отклика. Затем на основе результатов имитационного моделирования по решетке выведены поправки к ранее известным оценкам среднего Нельсона-Тантави, позволяющие улучшить точность в десятки раз. Аналогичный эффект наблюдается для оценок дисперсии, которые в предшествующих работах строились в упрощающем предположении независимости времен пребывания подзаявок.

Далее проводится теоретический анализ зависимости времен пребывания подзаявок, впервые выведены точные формулы для коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмена, а также приближенная для коэффициента корреляции Кендалла. Это представляет не только академический интерес, но и оказывается полезно при построении нового метода оценки характеристик системы, на основе мета-гауссовской модели.

Помимо среднего и дисперсии, большой интерес представляют квантили времени отклика, которые успешно оцениваются на основе современной теории копул.

В главе 3 аналогичный анализ проводится для систем с распределением Парето времен обслуживания подзаявок. Оценки среднего и дисперсии производятся как с помощью нейронных сетей, так и с помощью новых выведенных автором формул. Стоит отметить, что для подобных систем не было формул не только для характеристик, но даже для

стационарного распределения времен пребывания подзаявок. В диссертации предложено использовать в качестве приближения распределение Фреше, одно из трех предельных распределений в теории экстремумов. С помощью метода моментов получены оценки для квантилей с хорошей точностью, в том числе, в случаях более сложных входных потоков, чем обычный пуассоновский.

В главе 4 решается задача управления режимом функционирования систем с разделением и параллельным обслуживанием: на основе построенной модели стоимости определяется оптимальная интенсивность обслуживания, обеспечивающая наилучшие финансовые показатели. При этом активно используются выведенные ранее приближения для характеристик систем, позволяющие решать задачу аналитически, а не только путем имитационного моделирования.

В главе 5 проводится анализ остаточного времени обслуживания для системы с разделением и параллельным обслуживанием с двумя бесконечнолинейными подсистемами с различными вариантами распределений для времени обслуживания. Речь идет о времени, требуемом для успешного завершения всех процессов в системе, в случае необходимости ее отключения. Здесь возникает зависимость между максимальными остаточными временами обслуживания в подсистемах, для описания которых активно используется теория копул.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение в области системного анализа. Результаты диссертации полностью изложены и обсуждались на ряде международных и российских конференций, на заседаниях научных семинаров. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах, в соответствующем числе научных статей.

Считаю, что настоящая диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Научный консультант  
доктор физико-математических наук,  
доцент кафедры теории вероятностей  
механико-математического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
А.В. Лебедев

*Лебедев* 25.05.26

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991,  
Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1.



Подпись доцента А.В. Лебедева заверяю:  
декан механико-математического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
член-корреспондент РАН, профессор  
А.И. Шафаревич