

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИПМ ДВО РАН,
академик РАН, доктор физико-
математических наук



М.А. Гузев

«сентябрь» 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Горбуновой Анастасии Владимировны на тему
«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

Актуальность диссертационной работы.

Диссертация Горбуновой А.В. посвящена исследованию и оптимизации характеристик стохастических систем с разделением и параллельной обработкой задач, а также вопросам управления такими системами. Механизм функционирования рассматриваемых систем заключается в разбиении исходной объемной задачи на части и их последующей параллельной обработке, что сокращает время ее решения. Такой принцип работы актуален для множества современных систем и находит приложения в различных отраслях, например, в области информационно-вычислительных систем, обрабатывающих большие объемы данных, в производственном и банковском секторах и т. п. В диссертации предложены новые алгоритмы и методы, позволяющие определить основные характеристики систем, в том числе в удобном аналитическом виде, спрогнозировать значения при меняющихся внешних

условиях, а также определить их оптимальные значения и повысить эффективность работы, что актуально для любой предметной области.

Характеристика содержания диссертационной работы.

Объем диссертации составляет 338 страниц. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, включает в себя 33 таблицы, 110 иллюстраций и список литературы из 210 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, ее научная ценность и значимость, сформулированы цели и задачи, а также представлен обзор литературы, посвященной анализу исследуемых стохастических систем, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также описаны структура и краткое содержание диссертации.

В **первой главе** представлен обзор результатов применения методов машинного обучения и искусственных нейросетей, в частности, для анализа различных стохастических систем, сформулирована основа и ключевые положения нового метода с использованием интеллектуального анализа данных. Демонстрируется высокая эффективность использования нейросетей в данной области, что обосновывает целесообразность их применения к анализу систем с разделением и параллельным обслуживанием.

Вторая глава посвящена анализу систем с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальным распределением времени обслуживания. С помощью нового метода с применением искусственных нейросетей оцениваются математическое ожидание и дисперсия времени отклика системы. Далее с помощью симуляции и визуального анализа данных корректируются известные аналитические оценки для среднего времени отклика, в частности, формулы Нельсона-Тантави, и для дисперсии, которая была построена на основе допущения о независимости времен пребывания подзаявок, что улучшает качество аппроксимации для

полученных формул в десятки раз. Кроме того, здесь анализируется зависимость между временами пребывания подзаявок. Впервые выведены точные выражения для коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмена, а также приближение для коэффициента корреляции Кендалла. Полученная формула для коэффициента корреляции Пирсона используется при построении мета-гауссовской модели – еще одного нового метода оценки характеристик исследуемой системы. Также помимо моментов времени отклика в данной главе изучаются и квантили времени отклика, для оценки которых на основе элементов теории копул получены соответствующие формулы. В заключительном разделе главы описываются важные аспекты проведения имитационного моделирования рассматриваемой системы, а также оценки результатов его проведения.

В третьей главе по аналогичной схеме изучается система с распределением Парето времени обслуживания, для которой отсутствуют какие-либо известные результаты оценки вероятностно-временных характеристик. Анализ данной системы проводится с помощью нейросетей, а также комплексного метода, позволяющего получать приближения искомых характеристик в аналитическом виде. Получены оценки для моментов времени отклика и коэффициентов корреляции между временами пребывания подзаявок в подсистемах. Для построения выражений для квантилей времени отклика предлагается использовать приближение распределением Фреше, что позволяет получить хороший результат даже в случае входящего потока, отличного от пуассоновского.

В четвертой главе, в том числе на основе приближений для моментов времени отклика, выведенных в предыдущих главах для случая экспоненциального распределения и распределения Парето времени обслуживания, решается задача управления режимом функционирования системы с разделением и параллельным обслуживанием. Строится общая модель определения стоимости функционирования системы и определяется

оптимальная интенсивность обслуживания на базе оптимизации финансовых показателей системы.

Пятая глава посвящена исследованию характеристик остаточного времени обслуживания систем с разделением и параллельным обслуживанием заявок. Рассматривается случай системы с двумя бесконечнолинейными подсистемами и различными вариантами распределений для времени обслуживания. При этом под остаточным временем обслуживания понимается время для корректного завершения работы системы, т. е. время, необходимое для завершения обслуживания всех задач, находящихся в системе после прекращения приема новых задач. Представлены выражения для определения двумерной функции распределения максимумов остаточных времен обслуживания подзаявок как в общем виде, так и в случае конкретных типов распределений времени обслуживания. Для оценки возникающей зависимости между максимальными остаточными временами обслуживания изучены коэффициенты корреляции Бломквиста и копула-функции, выражения которых определены для отдельных распределений.

В заключении подведены итоги и сформулированы основные результаты проведенных исследований.

Новизна исследования и полученных результатов.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем. Предложен новый способ оценки характеристик стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием, включающий в себя применение методов машинного обучения; разработан новый комплексный метод, позволяющий получать оценки характеристик в аналитическом виде. Данные методы дают возможность проводить оценку показателей системы вне зависимости от типа распределений времени обслуживания и времени между поступлениями заявок. Предложен подход

к оценке квантилей распределения времени отклика на основе элементов теории копул. Впервые получены точные формулы для коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмена для системы с пуассоновским входящим потоком и показательным распределением времени обслуживания, на их основе построена мета-гауссовская модель как еще один метод оценки характеристик системы. Разработаны новая модель и на ее основе метод определения оптимальной интенсивности обслуживания исследуемых систем. Представлен новый метод определения характеристик остаточного времени обслуживания систем с разделением и параллельным обслуживанием.

Значимость полученных результатов для развития отрасли науки.

Теоретическая значимость результатов заключается в том, что разработан новый комплекс алгоритмов и методов системного анализа, а также управления для широкого класса систем с разделением и параллельным обслуживанием, что вносит вклад в развитие теории массового обслуживания. Практическая значимость результатов, представленных в диссертации, заключается в том, что они могут быть использованы для проектирования и прогнозирования поведения стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием, которые имеют многочисленные приложения в различных отраслях: компьютерные технологии, медицина, торговля и т. п.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Представленные в диссертационной работе оценки характеристик, а также методы и алгоритмы их получения, могут использоваться проектными организациями в рамках системного анализа на этапе проектирования и прогнозирования их поведения или модернизации уже

существующих систем, в основе которых лежит параллельная структура, начиная с производственных систем и заканчивая техническими приложениями с использованием параллельных или распределенных вычислений, что может создать условия для обеспечения соответствующего уровня обслуживания пользователей либо для его повышения при меняющихся условиях внешней среды.

Замечания по диссертации.

1. Во введении говорится о том, что в литературе известно несколько типов систем с различными механизмами распараллеливания заявок, однако описывается только тот, который рассматривается в диссертации. Стоило привести хотя бы краткие характеристики и других вариантов систем с параллельным обслуживанием.

2. На стр. 84 сказано, что времена пребывания подзаявок в подсистемах являются положительно ассоциированными случайными величинами, поэтому их максимум стохастически не больше максимума независимых случайных величин. Желательно было бы дать определение этого термина и дать ссылку на статью или статьи со свойствами таких случайных величин.

3. В разделе 2.6 Главы 2 довольно подробно описан процесс построения оценки квантилей времени отклика для случая разделения заявки на две подзаявки, сформулированы соответствующие утверждения, также в этом разделе приводятся результаты и для более общего случая разделения заявки на большее число подзаявок, однако вывод этого приближения уже не детализируется, что было бы интересно несмотря на аналогичный подход к решению, кроме того, стоило бы пронумеровать полученное выражение.

4. При описании известных результатов, а точнее формул для среднего времени отклика модели системы с разделением и параллельным обслуживанием с пуассоновским входящим потоком и показательным

распределением времени обслуживания появляется понятие «тип подзаявок», которому ранее не было дано определение, стоило пояснить, что подразумевается под этим термином в данном контексте.

5. В четвертой главе определяется оптимальная интенсивность обслуживания на основании результатов, полученных в предыдущих главах, для двух типов подсистем. Возможно, следовало бы в этой главе сделать два основных раздела по числу типов систем, а основные результаты для каждой из систем уже изложить в соответствующих подразделах этих двух разделов.

Сделанные замечания не снижают научной ценности и высокого уровня диссертационной работы.

Заключение по работе.

Основные результаты диссертации опубликованы в 20 научных работах, из которых 6 статей опубликовано в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК категории К1, 9 публикаций в журналах, индексируемых в БД Scopus и Web of Science, 5 статей в других сборниках, индексируемых в БД Scopus. Результаты диссертации в достаточной мере апробированы на профильных международных конференциях. Требования ВАК к оформлению диссертаций выполнены. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика по пунктам 1, 2, 4, 11. Автореферат в полной мере отражает содержание и основные положения диссертационного исследования.

Таким образом, диссертация «Методы и алгоритмы анализа и управления для стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием» Горбуновой Анастасии Владимировны, которая содержит значимые научные результаты в области системного анализа, касающиеся разработки новых методов и алгоритмов анализа и управления для

стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, полностью соответствует требованиям к докторским диссертациям, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертационная работа и отзыв на нее рассмотрены и утверждены на общеинститутском семинаре ИПМ ДВО РАН (протокол № 5 от 17.09.2026 г.).

Д.ф.-м.н., профессор



Г.Ш. Цициашвили

Цициашвили Гурами Шалвович, доктор физико-математических наук (05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации), профессор, главный научный сотрудник, руководитель научно-исследовательской группы вероятностных методов и системного анализа Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМ ДВО РАН); 690041, г. Владивосток, ул. Радио, д. 7; тел.: +7 (423) 231-23-75; электронная почта: guram@iam.dvo.ru.