

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор
по научной и инновационной
деятельности ФГБОУ ВО
«КНИТУ КАИ»,

доктор технических наук, доцент

В. М. Бабушкин

«33»

ма

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ»
на диссертационную работу Антоновой Полины Валерьевны
«Методы моделирования систем массового обслуживания с ограниченным
временем пребывания заявки в очереди и временем обслуживания,
распределенным по закону Эрланга», представленную на соискание учёной
степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 Математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертационного исследования.

В научной работе Антоновой П.В. впервые исследуется одноканальная система массового обслуживания смешанного типа с ограниченными временными параметрами пребывания заявки в очереди и обслуживания, которое подчиняется закону Эрланга. Данная система широко применяется для анализа функционирования различных технических систем, включая телекоммуникационные и компьютерные сети, транспортные системы, логистические комплексы, сферы обслуживания и другие.

В соответствии с указом Президента Российской Федерации №145 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», развитие интеллектуальных телекоммуникационных систем является одним из стратегических направлений научно-технологического прогресса страны.

В условиях четвертой промышленной революции, характеризующейся интеграцией информационных технологий в производственные процессы, масштабной автоматизацией бизнес-операций и применением искусственного интеллекта, особую значимость приобретают задачи повышения эффективности технологических процессов и технических систем.

Одним из ключевых методов оценки эффективности таких систем является вероятностное моделирование, основанное на теории массового

обслуживания. Изучение моделей массового обслуживания с ограниченными параметрами управления не только улучшает существующие методы и процессы, но и открывает новые горизонты для будущих исследований. Это способствует развитию как фундаментальных, так и практических областей науки.

В простейших случаях системы массового обслуживания описываются классическими моделями. Однако для более глубокого анализа требуются более сложные модели, учитывающие ограничения на параметры системы.

Среди задач с ограничениями на параметры особое внимание уделяется системам, в которых некоторые заявки обладают ограниченной продолжительностью пребывания в системе, то есть являются «нетерпеливыми». Модели данного типа остаются наименее разработанными среди различных типов систем массового обслуживания. Исследование этих моделей имеет важное значение для оптимизации процессов в подобных системах, открывая новые возможности для повышения их эффективности.

В исследовании Антоновой П.В. впервые рассматривается одноканальная система массового обслуживания смешанного типа с обслуживанием, представляющим собой сумму независимых экспоненциально распределенных случайных величин, и накопителем неограниченной емкости. Проводится комплексное исследование режимов функционирования системы массового обслуживания с эрланговским распределением времени обслуживания, включающее разработку моделей, методов и программного обеспечения для определения характеристик системы, обеспечивающих требуемое качество обслуживания.

Подобные системы могут быть использованы при разработке систем сопровождения, администрирования и эксплуатации программно-технических средств и информационных ресурсов, а также для мониторинга и оптимизации производственных процессов. Следовательно, исследование систем массового обслуживания с ограниченными временными параметрами пребывания заявок в очереди является актуальным.

Содержание работы.

Диссертационное исследование, представленное в данной работе, охватывает широкий спектр научных аспектов, связанных с теорией и практикой систем массового обслуживания. Оно состоит из нескольких ключевых разделов, каждый из которых вносит значительный вклад в понимание исследуемой проблемы.

Введение задает тон всей работе, формулируя актуальность темы, цель и задачи исследования, а также методологическую основу и структуру работы.

Основная часть диссертации включает четыре главы, каждая из которых посвящена различным аспектам анализа и моделирования систем массового обслуживания (СМО).

Первая глава представляет собой обзор и критический анализ существующих научных исследований, посвященных СМО с ограниченным временем ожидания в очереди и эрланговским распределением времени обслуживания. В рамках данной главы проводится детальная характеристика предметной области, формулируются основные гипотезы и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке математического аппарата для исследования СМО с ограниченным временем ожидания. В частности, выводятся аналитические выражения для ключевых числовых и вероятностных характеристик модели. Особое внимание уделяется разработке производящей функции, позволяющей вычислить нестационарные характеристики системы.

Третья глава посвящена исследованию СМО смешанного типа с эрланговским распределением времени обслуживания. Описывается метод определения критических значений числа фаз обслуживания, обеспечивающих стабильность работы системы. Для проведения численных экспериментов разработана специализированная программная модель, результаты которой представлены в виде графиков, демонстрирующих зависимость количества фаз обслуживания от интенсивности поступления заявок. В ходе исследования выявлена логарифмическая зависимость между этими параметрами, что позволяет сделать важные выводы о структуре СМО.

Четвертая глава посвящена разработке многоканальной СМО с ограниченной очередью в виде программного продукта на платформе .NET с использованием языка программирования C#. Основное внимание уделяется вопросам высокопроизводительной обработки данных и параллельных вычислений. Представлены архитектурные решения и подробно рассмотрены ключевые компоненты системы, включая механизмы управления заявками, очередь и каналы обработки. Интеграция Parallel Framework в процесс разработки системы позволяет оптимизировать распределение ресурсов и сократить время ожидания. В качестве иллюстрации приведены примеры кода, демонстрирующие реализацию многопоточности и использование конкурентных коллекций для эффективного управления заявками в очереди.

В заключении диссертации представлены основные результаты исследования, рекомендации по их практическому применению и перспективы дальнейшего развития данной темы.

Приложение содержит акты о внедрении результатов диссертационной работы и свидетельства о регистрации электронного ресурса, что подтверждает практическую значимость проведенного исследования.

Научная новизна.

Представленная на отзыв работа содержит ряд новых результатов:

1. Создана новая математическая модель СМО комбинированного типа. Эта модель представляет собой комбинацию свойств СМО с ограниченным временем ожидания в очереди и СМО с временем обслуживания, которое подчиняется закону Эрланга. Были получены общие формулы для характеристик модели в установившемся и переходном режимах. Эти формулы позволяют определить временные интервалы нахождения заявок в очереди и количество этапов обслуживания.

2. Разработан инновационный подход к анализу СМО, в которых время обслуживания имеет эрланговское распределение. Этот метод позволяет определить количество фаз обслуживания, необходимое для достижения заданного уровня качества обслуживания. Качество обслуживания можно оценить с помощью коэффициента вариации различных характеристик СМО. Исследование показало, что количество фаз обслуживания связано с изменением интенсивности входного потока заявок. Эта зависимость имеет логарифмический характер.

3. Разработана имитационная модель СМО смешанного типа с применением инструментальной среды AnyLogic PLE. Также разработана метамодель, которая позволяет аппроксимировать ключевые характеристики СМО с помощью методов машинного обучения. Метамодель предоставляет возможность быстро оценивать эффективность системы на основе заданных входных параметров без необходимости проведения ресурсоёмких имитационных экспериментов, что значительно ускоряет процесс анализа.

4. Создан комплекс специализированных программных средств для расчета ключевых характеристик СМО смешанного типа и оценки её эффективности.

Теоретическая значимость и практическая значимость.

Значимость результатов диссертационной работы для развития теории массового обслуживания состоит в следующем:

– разработана новая математическая модель массового обслуживания с эрланговски распределенным временем обслуживания и ограниченным временем ожидания в очереди, при этом формализованы стационарные и нестационарные характеристики СМО;

– разработан новый подход к исследованию СМО, основанный на вычислении граничных значений количества фаз обслуживания, при которых поддерживается стабильный режим функционирования системы;

– к исследованию СМО применены методы машинного обучения.

Полученные в диссертации результаты могут найти применение в различных областях науки и техники, таких как транспортные и телекоммуникационные системы, производство, логистика, сфера обслуживания и другие.

Достоверность и обоснованность результатов.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается корректной постановкой задач, строгим выполнением математических выкладок и проверкой полученных решений на соответствие известным частным случаям, описанным другими авторами.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в известных печатных изданиях, в том числе 5 статьях, опубликованных в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, 1 статье в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в МБД Scopus, 4 работах в журналах и сборниках трудов всероссийских и международных конференций, зарегистрировано 2 программных продукта.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации.

Рекомендуется использовать результаты диссертационного исследования Антоновой П.В. в деятельности ряда предприятий, в том числе, ООО «Систематика Консалтинг» при разработке системы технического сопровождения, администрирования, сервисной поддержки и эксплуатации программно-технических средств и информационных ресурсов Федеральной государственной информационной системы территориального планирования (ФГИС ТП), ООО «НПО ЛАБС» при разработке программно-аппаратного решения для мониторинга и оптимизации производственных процессов, а также в образовательном процессе.

Также рекомендуется дальнейшее развитие данного научного направления на базе организации, где выполнена диссертация, и на базе ведущих отраслевых вузов, занимающихся разработкой данной темы, в направлении создания математических моделей, методов и комплексов

программ для исследования и разработки объектов, функционирующих по принципу систем массового обслуживания.

Замечания по диссертации.

1. В п. 1.1 диссертации приводится расчет реальной очереди для модели СМО с эрланговски распределенным временем обслуживания, однако для основной модели СМО смешанного типа с ограничением времени ожидания заявки в очереди расчет данной характеристики почему-то отсутствует.

2. В пп. 1.3, 2.1 приводится довольно подробное описание некоторых известных в теории массового обслуживания вещей. Подобного рода ликбез является излишним.

3. Алгоритмы вычисления характеристик модели СМО в диссертации следовало бы представить в виде блок-схем, а не в виде кодов. Это способствовало бы лучшему восприятию работы.

4. Малая часть информации приводится в графической форме. Численные результаты, полученные в 3 главе, следовало бы подробнее представить в графической форме.

Тем не менее, указанные замечания не снижают общего хорошего уровня научного исследования, представленного к защите, а носят лишь в основном рекомендательный характер. В диссертации теоретическая глубина исследования удачно сочетается с убедительно проведенными численными экспериментами. Конечные результаты выпуклы и значимы. Автором продемонстрирован полный арсенал современных знаний в области методов теории массового обслуживания и ее приложений. Прделанная автором работа вызывает уважение. Основные результаты своевременно опубликованы в научных изданиях и известны специалистам в области теории массового обслуживания. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации. По форме как диссертация, так и автореферат соответствуют требованиям ВАК.

Общее заключение.

Диссертационная работа Антоновой Полины Валерьевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена нетривиальная научная задача комплексного исследования систем массового обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в очереди и временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга, связанная с разработкой математических моделей, методов, алгоритмов и комплекса программ, позволяющих определить граничные значения числа фаз обслуживания, соответствующее стабильному режиму работы системы, при

котором обеспечивается требуемое качество обслуживания, что имеет существенное значение для развития страны.

Таким образом, диссертационная работа «Методы моделирования систем массового обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в очереди и временем обслуживания, распределенным по закону Эрланга» соответствует критериям, предъявляемым в отношении кандидатских диссертаций, которые установлены п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, в действующей редакции), а ее автор, Антонова Полина Валерьевна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ» 22 мая 2025 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой
автоматизированных систем обработки
информации и управления,
кандидат технических наук,
(специальность 05.13.05),
доцент

 23.05.2025
Шлеймович
Михаил
Петрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ».

Адрес: 420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

Тел.: +7 (843) 231 01 09.

e-mail: kai@kai.ru.

http://www.kai.ru.

Подпись 
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контроля

 23.05.2025



Вход. № 05-8449
« 23 » 05 2025 г.
подпись