

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Пешковой Ирины Валерьевны
«Монотонность, экстремальное поведение и регенеративное
моделирование систем обслуживания со смешанными распределениями»,
представленную к защите в диссертационный совет 24.1.517.01
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.2.2. Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Пешковой Ирины Валерьевны продолжает теорию исследования Петрозаводской школы прикладных стохастических моделей и посвящена изучению стохастических систем обслуживания со смешанным входным процессом и смешанным обслуживанием. Основное внимание отводится разработке и обоснованию математических моделей и методов оценки стационарных характеристик таких систем.

Актуальность темы исследования.

В настоящее время телекоммуникационное оборудование, производственные интернет-платформы и мощные вычислительные центры создают крайне неоднородный поток данных, который поступает от всевозможных сенсоров, камер наблюдения и аналитических модулей. Этот трафик не укладывается в рамки одного закона распределения, поскольку объединяет в себе совершенно разные типы приложений: от микропакетов датчиков до непрерывных видеотрансляций и объемных вычислительных операций. Чтобы корректно оценивать установившиеся режимы работы и показатели качества, исследователям приходится прибегать к сложным конструкциям теории очередей, используя смеси распределений и наложение потоков восстановления. Правда, получить точные аналитические формулы для таких моделей классическими методами не представляется возможным. Предлагаемый в работе подход, основанный на использовании свойств монотонности систем (через отношение порядка входных характеристик), даёт

возможность свести исследование исходной сложной системы с суперпозицией рекуррентных входных процессов и рекуррентным процессом обслуживания с распределениями смешанного типа к исследованию более простых систем и получить оценки исследуемых параметров, опираясь на аналитические результаты и методы моделирования этих более простых систем. Это позволяет находить верхние и нижние границы для стационарных характеристик (времени ожидания, длины очереди), а также сравнивать системы с различными распределениями.

Современные стандарты надёжности, применяемые, например, в телекоммуникационных системах, приводят к необходимости не только оценивать усреднённые стационарные показатели, но и предсказывать экстремальные значения характеристик.

Для решения выше описанных задач актуальным является применение регенеративного метода оценивания, развитию которого посвящена одна из глав диссертации.

Структура диссертации и общая характеристика работы.

Диссертация изложена на 288 страницах, состоит из введения, шести глав, заключения, списка обозначений и сокращений и приложения. Список использованной литературы включает 188 наименований. Текст диссертации проиллюстрирован 18 таблицами и 40 рисунками.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и основные задачи, представлены результаты, их новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе представлен достаточно подробный обзор методов стохастического сравнения на основе разных соотношений порядков случайных величин. Получены условия сравнения разных смесей распределений с различными коэффициентами пропорции.

Во второй главе получены теоретические результаты о сохранении порядка для выходных характеристик (монотонности согласно Штойана) для различных систем обслуживания: для многосерверных систем с рекуррентным

процессом обслуживания с распределением смешанного типа с неограниченной очередью и с конечным буфером, для многоклассовых систем с повторными вызовами, для систем с входным процессом, представляющим собой наложение рекуррентных процессов. Для высокопроизводительного кластера доказана теорема о монотонности стационарной незавершенной работы, а также получена оценка близости (верхняя и нижняя границы незавершенной работы).

В третьей главе рассмотрена задача аппроксимации системы обслуживания с суперпозицией рекуррентных входных процессов. Получены аппроксимирующие распределения входного процесса, заданного суперпозицией различных распределений, приведены результаты численных экспериментов.

Четвертая и пятая главы посвящены исследованию экстремального поведения и свойств монотонности по экстремальному индексу стационарного времени ожидания в системах обслуживания. Опираясь на известные результаты о стационарности процесса Линдли с перемешиванием в четвертой главе доказаны теоремы о монотонности по экстремальному индексу стационарного времени ожидания в системах типа $M/G/1$, а также $GI/M/N$. Получены достаточные условия монотонности по экстремальному индексу для системы $M/G/1$ с рекуррентным процессом обслуживания с распределением смешанного типа. В пятой главе исследованы предельные распределения максимума стационарного времени ожидания, а также свойства монотонности по экстремальному индексу стационарного времени ожидания в системах со временем обслуживания, относящимся к классу субэкспоненциальных распределений, в том числе в системах с рекуррентным обслуживанием с распределением смешанного типа.

В шестой главе для систем $GI/G/N$ строятся мажорирующая и минорирующая системы с более простыми распределениями входных характеристик, что позволяет, опираясь на регенеративный метод, получать верхние и нижние оценки среднего времени ожидания для исходных систем.

Также предложен метод искусственной регенерации для построения регенераций в системах обслуживания с суперпозицией входных рекуррентных процессов, имеющих распределение с тяжелым хвостом, приведены результаты численных экспериментов, которые подтверждают полученные теоретические соотношения, описан разработанный комплекс программ для ЭВМ.

В целом диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. **Степень обоснованности, достоверность и новизна результатов, выводов и рекомендаций.** В диссертации получены следующие основные новые результаты:

Получены условия сохранения порядка для выходных характеристик (монотонности) в многосерверных системах с рекуррентным обслуживанием со смешанными распределениями (с бесконечным, конечным буфером), а также в системах с суперпозицией рекуррентных входных процессов.

Получены условия сохранения порядка для экстремального индекса стационарного времени ожидания в системах $GI/M/N$ и $M/G/1$, а также для системы с рекуррентным обслуживанием со смешанными распределениями.

Получено асимптотическое распределение максимума стационарного времени ожидания для систем вида $GI/G/1$ с рекуррентным обслуживанием со смешанными распределениями и доминирующей субэкспоненциальной компонентой.

Получено аппроксимирующее распределение входного процесса, заданного многомерной суперпозицией рекуррентных процессов с показательным и Парето распределениями, а также аппроксимирующее распределение входного процесса, заданного суперпозицией рекуррентных процессов с распределениями Вейбулла.

Разработан метод искусственной регенерации на основе экспоненциального расщепления плотности системы обслуживания с суперпозицией рекуррентных входных процессов, содержащих распределения с тяжелым хвостом. Получены достаточные условия применимости метода

экспоненциального расщепления для системы обслуживания, в которой входной процесс включает процессы, заданные распределением Парето.

Разработан комплекс программ для регенеративного моделирования систем обслуживания с суперпозицией рекуррентных входных процессов и рекуррентным процессом обслуживания с распределением смешанного типа.

Материал в диссертации хорошо структурирован и изложен понятным языком.

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на нескольких конференциях и научных семинарах. Имеются два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Основные результаты диссертации опубликованы в 37 научных работах, в том числе 13 – в рецензируемых журналах, из них 5 – в журналах Перечня ВАК по специальности 1.2.2 (физ.-мат. науки), 8 статей – в научных журналах, индексируемых в международных базах данных (приравнены к журналам Перечня ВАК, категория К1), 13 статей - в сборниках материалов конференций, индексируемых в международных базах данных.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, характеризуют результаты проведенных исследований.

Полученные автором результаты являются новыми и полностью соответствуют паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Теоретические результаты подтверждены строгими доказательствами, приведены результаты численных экспериментов, подтверждающие теоретические выводы. Таким образом, полученные в работе результаты представляются полностью научно обоснованными и достоверными.

Теоретическая и практическая значимость.

Получены новые свойства сохранения отношений порядка выходных характеристик систем обслуживания с суперпозицией рекуррентных входных

процессов и рекуррентным процессом обслуживания с распределением смешанного типа.

Установлены свойства монотонности по экстремальному индексу систем обслуживания, в том числе систем с рекуррентным процессом обслуживания с распределением смешанного типа.

С целью получения оценок стационарных характеристик для систем обслуживания, характеризующихся суперпозицией рекуррентных входных процессов, содержащих распределения с тяжелым хвостом, разработан метод искусственной регенерации, основанный на экспоненциальном расщеплении.

Развитие теоретических основ применения принципов монотонности при анализе стационарных режимов, вычислении стационарных характеристик и оптимизации параметров функционирования реальных систем обслуживания с неоднородными данными представляют теоретическую ценность для науки, так как расширяют сферу применения регенеративного моделирования на модели с суперпозицией рекуррентных входных процессов и рекуррентным процессом обслуживания с распределением смешанного типа, отражающих динамику широкого спектра современных сетевых телекоммуникационных архитектур и вычислительных инфраструктур.

Прикладная ценность диссертационного исследования определяется возможностью применения установленных свойств монотонности для решения задачи оценивания стационарных режимов и настройки параметров обслуживающих устройств со смешанными законами распределения на базе регенеративного метода. Полученные в работе результаты обладают прямым практическим потенциалом в контексте решения задач архитектурного проектирования и повышения отказоустойчивости современных телекоммуникационных сетевых структур.

Замечания по диссертационной работе.

1. В работе используются понятия смешанного входного процесса и смешанного обслуживания, точные определения которых не дано. При этом подразумеваются входной процесс в виде суперпозиции с наложением рекуррентных входных процессов и рекуррентный процесс обслуживания с распределением смешанного типа, которые использованы в данном отзыве.

2. Следовало бы более подробно описать необходимость использования таких систем обслуживания. Возможно нужно было рассмотреть более широкие модели с непрерывными смешанными распределениями.

Заключение

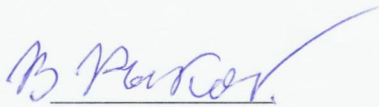
Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования И.В. Пешковой.

Диссертационная работа Пешковой Ирины Валерьевны «Монотонность, экстремальное поведение и регенеративное моделирование систем обслуживания со смешанными распределениями» представляет собой цельное научное исследование, в котором совокупность разработанных теоретических положений можно квалифицировать как научное достижение в решении задач математического моделирования стохастических систем обслуживания со смешанными распределениями.

Диссертация И.В. Пешковой обладает научной новизной и достоверностью, практической значимостью, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук Положением о присуждении ученых степеней (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), а ее автор, Пешкова Ирина Валерьевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
специальность: 01.01.05 – Теория вероятностей
и математическая статистика, профессор,
профессор кафедры прикладной математики и
компьютерного моделирования
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский государственный университет нефти
и газа (национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина»



Владимир Васильевич Рыков

«11» 09 2026 г.

Адрес:

119991, Москва, проспект Ленинский, д.65, кор.1
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный университет нефти
и газа (национальный исследовательский университет)
имени И.М. Губкина»
+ 7 (499) 507-88-88
vladimir_rykov@mail.ru



РГУ нефти и газа (НИУ)
имени М.В. Губкина
Рег. № 211600
от «14» 09 2026 г.