



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**  
**(РУДН)**

ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198  
ОГРН 1027739189323; ОКПО 02066463; ИНН 7728073720

Тел. (495) 434-53-00; факс (495) 433-15-11;  
www.rudn.ru; E-mail: rudn@rudn.ru

24 Октябрь 20 16

№ 219-22/04

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый проректор - Проректор по научной работе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов», доктор философских наук

  
Кирабоев Н. С.

«24» октября 2016 г.



**ОТЗЫВ**

**ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» на диссертационную работу Панкратовой Екатерины Владимировны «Исследование математических моделей неоднородных бесконечнолинейных СМО», представленную к защите в Диссертационном Совете Д 212.267.08, созданном на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

**Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Панкратовой Е.В. посвящена исследованию неоднородных (гетерогенных) бесконечнолинейных систем массового обслуживания, на вход которых поступают ординарные специальные потоки заявок: MAP-поток и рекуррентный. Такие системы можно использовать в качестве математических моделей информационных систем и сетей связи, структура которых неоднородна, и для расчета характеристик их производительности необходимо эту неоднородность учитывать. Несмотря на важность таких исследований для решения многих научно-технических

задач, в современной научной литературе исследования неоднородных немарковских систем массового обслуживания с непуассоновскими входящими потоками и неэкспоненциальным обслуживанием представлено лишь отдельными работами и является актуальной научной проблемой.

#### **Характеристика диссертационной работы по главам.**

Диссертация Панкратовой Е.В. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы. Текст работы изложен на 134 страницах. Список литературы включает в себя 143 наименования.

Во **введении** описана актуальность работы, теоретическая и практическая значимость работы, выполнен обзор литературы, определены цель, задачи и методы исследования.

В **первой главе** описаны математические модели неоднородных бесконечнолинейных СМО с входящим МАР-потокотом разнотипных заявок.

Получены выражения для нахождения точных значений основных вероятностных характеристик исследуемых СМО, а также выполнен их асимптотический анализ в условии эквивалентного роста времени обслуживания на приборах разного типа. Показано, что стационарное распределение вероятностей числа занятых приборов в неоднородной системе с входящим МАР-потокотом, аппроксимируется многомерным гауссовским распределением. Характеристики этого распределения получены в данной главе.

Во **второй главе** представлен анализ математических моделей неоднородных бесконечнолинейных СМО с входящим рекуррентным потокотом разнотипных заявок. Получены аналитические выражения для нахождения математических ожиданий, начальных моментов второго порядка, корреляционных моментов, дисперсий и коэффициентов корреляции. Сформулирована и доказана теорема о том, что стационарное распределение вероятностей числа занятых приборов в рассматриваемой системе при условии эквивалентного роста времени обслуживания на приборах можно аппроксимировать многомерным гауссовским, получены параметры соответствующего распределения для каждого типа приборов.

На основе численных экспериментов сформулированы выводы о зависимости между числом занятых приборов каждого типа и соотношении между различными параметрами системы, а также о большой точности аппроксимации в случае, когда средняя продолжительность обслуживания в 10 и более раз больше интенсивности входящего потока.

В **третьей главе** выполнено исследование неоднородных немарковских СМО с входящими ММРР- и рекуррентным потокотами разнотипных заявок. Для этого предлагается модификация метода многомерного динамического просеивания. Доказаны теоремы о виде стационарного распределения числа занятых приборов в неоднородных немарковских системах с входящими ММРР- и GI-потокотами. Это распределение также имеет вид многомерного гауссовского с соответствующими параметрами, представленными в этих теоремах.

В четвертой главе представлено описание разработанного комплекса проблемно-ориентированных программ и алгоритмов моделирования процессов массового обслуживания. Комплекс включает в себя программное приложение для имитационного моделирования систем обслуживания, а также алгоритмы расчета характеристик их функционирования на основе полученных в диссертации теоретических результатов в виде рабочих листов системы MathCAD. Для разработки приложения имитационного моделирования был выбран дискретно-событийный метод моделирования, разработан удобный интерфейс пользователя.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

#### **Научная новизна результатов работы.**

Диссертация содержит новые научные результаты в области разработки методов исследования неоднородных бесконечнолинейных моделей массового обслуживания. Отличие от ранее известных результатов заключается в следующем:

- предложены математические модели неоднородных бесконечнолинейных СМО с различными типами обслуживающих приборов, позволяющие учитывать неоднородность поступающих заявок, требующих различного времени обслуживания, что более адекватно описывает реальные информационные системы;

- получены аналитические выражения для основных вероятностных характеристик числа занятых приборов каждого типа в системах с входящими МАР- и рекуррентным потоками,  $n$  типами обслуживающих приборов и экспоненциальным временем обслуживания. Выявлены корреляционная связь между компонентами многомерного случайного вектора – числа занятых приборов каждого типа и факторы, влияющие на ее усиление;

- предложено асимптотическое условие эквивалентного роста времени обслуживания на приборах различного типа, применение которого для исследования неоднородных бесконечнолинейных СМО с входящими МАР- и рекуррентным потоками позволило доказать, что распределение числа занятых приборов в них можно аппроксимировать многомерным гауссовским;

- впервые показано, что при условии предельно редких изменений состояний управляющей МАР-поток цепи Маркова асимптотическая характеристическая функция числа занятых приборов в неоднородной бесконечнолинейной СМО имеет вид взвешенной суммы пуассоновских распределений;

- предложена модификация метода просеянного потока, позволяющая, в отличие от существующих подходов, выполнять анализ многомерных процессов в гетерогенных немарковских СМО, это позволяет проблеме исследования немарковских СМО с разнотипным обслуживанием (с произвольными функциями распределения времени обслуживания) свести к задаче анализа многомерного просеянного нестационарного потока, решение которой проводится методом асимптотического анализа в условии эквивалентного роста времени обслуживания на приборах.

**Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.**

Постановка задач диссертационного исследования была выполнена автором совместно с научным руководителем – доктором физико-математических наук Моисеевой Светланой Петровной. Автор лично участвовал в разработке и применении методов исследования рассматриваемых моделей, выводе всех формул, доказательстве всех представленных в диссертации теорем, разработке представленного комплекса проблемно-ориентированных программ и алгоритмов моделирования процессов массового обслуживания, выполнении численного анализа полученных результатов.

**Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций** в диссертационной работе Панкратовой Е.В. подтверждается математически корректными выводами и доказательствами теорем, представленными в работе, согласованностью результатов, полученных для разных моделей между собой и с известными в теории массового обслуживания результатами, а также многочисленными экспериментами с применением имитационного моделирования и численного анализа.

#### **Результаты проверки диссертации в системе «Антиплагиат».**

Результаты проверки диссертации в системе «Антиплагиат» показали, что итоговая оценка оригинальности текста составляет 77,29%; из имеющихся 22,71% текстуальных совпадений с другими источниками 5,03% являются совпадениями с опубликованными работами самой Е.В. Панкратовой, так что текст, принадлежащий автору, составляет 82,32%; оставшиеся 17,68% текстуальных совпадений с источниками других авторов не являются существенными и представляют собой общенаучные выражения, выражения и высказывания в рамках научного направления, соответствующего тематике диссертации, наименования конференций и источников литературы, а также формулировки постановок задач исследования, взятые из работ научного руководителя Моисеевой С.П.

#### **Практическая значимость результатов работы.**

Гетерогенные СМО могут быть использованы в качестве математических моделей работы реальных информационных систем и сетей связи, например, гибридного канала, компоненты которого имеют разные характеристики производительности и надежности в работе в зависимости от воздействия внешних факторов и требований конечных пользователей. Кроме того, разработанный комплекс проблемно-ориентированных программ имитационного моделирования и численного анализа распределений для оценки области применимости полученных асимптотических результатов позволяет решать ряд практически значимых задач при проектировании реальных телекоммуникационных систем. Практическую значимость работы подтверждает выполнение ее в рамках следующих научных проектов: 1) госзадание Минобрнауки РФ на проведение научных исследований в Томском государственном университете на 2012–2013 годы «Разработка и исследование вероятностных, статистических и логических моделей компонентов интегрированных информационно-телекоммуникационных систем обработки, хранения, передачи и защиты информации» № 8.4055.2011, номер госрегистрации 01201261193; 2) научно-исследовательская работа в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности

Минобрнауки РФ №1.511.2014/К «Исследование математических моделей информационных потоков, компьютерных сетей, алгоритмов обработки и передачи данных» (2014–2016 г.)

**Полнота опубликования научных результатов и апробация.** По тематике диссертации опубликовано 16 работ, из них 2 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий и рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций и 3 – в журналах, включенных в международную базу научного цитирования Scopus. Получены 2 свидетельства о регистрации электронного ресурса. Все материалы диссертационного исследования достаточно полно отражены в опубликованных работах.

**Замечания по диссертационной работе.**

1. Литературный обзор по теме диссертационной работы выполнен в объеме, достаточном для обоснования актуальности темы и новизны полученных автором научных результатов. Однако нет четкого обоснования, кроме нескольких ссылок, о применении бесконечнолинейных неоднородных систем массового обслуживания в современных инфокоммуникационных системах, например таких, как системы облачных вычислений или беспроводные сети межмашинных соединений. Следовало бы привести примеры особенностей построения математических моделей для такого рода объектов.
2. В диссертации для характеристических функций числа занятых приборов каждого типа построены аппроксимации до второго порядка включительно, но не ясно, имеет ли смысл рассматривать аппроксимации более высокого порядка для повышения точности вычислений.
3. Отличительной особенностью исследуемых в диссертационной работе систем массового обслуживания является входящий типа MАР поток заявок. Однако эта особенность не иллюстрирована численными примерами либо качественными обсуждениями, например, сравнением с пуассоновским входящим потоком.
4. Для анализа немарковских неоднородных систем обслуживания автором предлагается модификация метода многомерного динамического просеивания, иллюстрация которой приведена только в диссертации, а в автореферате описание отсутствует, что затрудняет понимание данного результата работы.
5. В диссертации имеется ряд погрешностей редакторского характера.

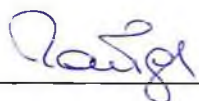
**Общее заключение.** Диссертационная работа Панкратовой Е. В. является законченной научно-исследовательской работой, посвященной актуальной научной проблеме, отличающаяся научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Достоверность результатов работы не вызывает сомнений, сами результаты достаточно полно опубликованы и апробированы. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации. По своему содержанию диссертация полностью соответствует специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Таким образом, считаем, что диссертация Екатерины Владимировны Панкратовой «Исследование математических моделей неоднородных бесконечнолинейных СМО» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор, Панкратова Екатерина Владимировна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв на диссертацию составлен доцентом кафедры прикладной информатики и теории вероятностей кандидатом физико-математических наук специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики, доцентом Гайдамака Юлией Васильевной, обсужден и одобрен на заседании научного заседания кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН, протокол № 1 от 11 октября 2016 г.

13.10.2016 г.

Доцент кафедры прикладной информатики  
и теории вероятностей РУДН,  
к.ф.-м. н. по специальности 05.13.17 –  
Теоретические основы информатики,  
доцент

  
Гайдамака Юлия Васильевна

Профессор кафедры прикладной информатики  
и теории вероятностей РУДН,  
д.ф.-м. н. по специальности 05.13.18 –  
Математическое моделирование, численные  
методы и комплексы программ,  
профессор

  
Севастьянов Леонид Антонович

Декан факультета физико-математических  
и естественных наук,  
д.х.н. по специальности 02.00.03 –  
Органическая химия, профессор

  
Воскресенский Леонид Геннадьевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ ВО РУДН)  
Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6  
<http://www.rudn.ru/>  
Тел.: +7 495 434-53-00  
E-mail: [rector@rudn.ru](mailto:rector@rudn.ru)