

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», доктор технических наук, профессор

14 мая 2018 г.

А.Н. Сабирзянов

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Лисовской Екатерины Юрьевны «Асимптотические методы исследования ресурсных СМО с непуассоновскими входящими потоками» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**Актуальность темы диссертации.** Представленная на отзыв работа посвящена исследованию ресурсных бесконечнолинейных систем массового обслуживания, которые являются математическими моделями современных телекоммуникационных сетей и систем обработки информации. Несмотря на важность таких исследований для решения многих научно-практических задач, в современной научной литературе эти исследования широко представлены только для марковских ресурсных моделей систем обслуживания, когда входящий поток является пуассоновским, а обслуживание – экспоненциальным.

Важным аспектом диссертационного исследования является анализ моделей с непуассоновскими входящими потоками заявок случайного объема, которые являются наиболее адекватными современными моделями, применяющимися для описания потоков информации в реальных телекоммуникационных сетях и распределенных вычислительных системах.

Разработка общих подходов к исследованию немарковских ресурсных систем массового обслуживания является актуальной научной задачей, решение которой позволит значительно расширить возможности исследований в области теории массово-

го обслуживания и круг решаемых с ее помощью инженерно-технических задач. Решению именно этой задачи для систем с неограниченным числом обслуживающих приборов и посвящена диссертационная работа Е.Ю. Лисовской.

**Характеристика диссертационной работы по главам.** Диссертация Е.Ю. Лисовской состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемой литературы.

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

В *первой главе* представлен анализ однофазных ресурсных СМО, выполненный методом динамического просеивания в совокупности с методом асимптотического анализа. Показано, что в условиях растущей интенсивности входящего потока (ММРР-рекуррентный) распределения вероятностей числа заявок и суммарного объема занятого ресурса в рассматриваемых системах в стационарном режиме функционирования являются асимптотически гауссовскими, получены параметры соответствующих нормальных распределений для каждого типа системы.

Во *второй главе* представлены аналогичные исследования, выполненные для многофазных ресурсных СМО. Для этого выполнена модификация метода многомерного динамического просеивания, которая позволяет выполнять исследование немарковских многофазных ресурсных СМО при любых типах входящих непуассоновских потоков. Установлено, что асимптотическое стационарное распределение вероятностей чисел заявок и суммарных объемов занятых ресурсов на фазах многофазных ресурсных СМО в условиях растущей интенсивности входящего потока является многомерным гауссовским. Параметры этого гауссовского распределения для каждого вида многофазной СМО также получены в разделах данной главы.

В *третьей главе* представлено описание разработанного комплекса проблемно-ориентированных программ и алгоритмов моделирования процессов массового обслуживания. Комплекс включает в себя программное приложение для имитационного моделирования ресурсных систем обслуживания, а также алгорит-

мы расчета характеристик их функционирования на основе полученных в диссертации теоретических результатов. Представлен численный анализ точности аппроксимаций, полученных в предыдущих главах диссертации, на основе вычисления нескольких видов расстояний между распределениями вероятностей, построенными на основе асимптотических аппроксимаций, и эмпирическими распределениями, полученными на основе имитационного моделирования соответствующих систем.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

**Научная новизна результатов работы.** Диссертация содержит новые научные результаты в области исследования немарковских ресурсных моделей массового обслуживания, в том числе – многомерных моделей, таких как многофазные ресурсные СМО. Отличие от ранее известных результатов заключается в следующем:

– разработана модификация метода многомерного динамического просеивания, позволяющая выполнять исследование многофазных ресурсных систем массового обслуживания с непуассоновскими входящими потоками, неограниченным числом приборов и неэкспоненциальным обслуживанием;

– впервые применен метод асимптотического анализа в условии растущего времени обслуживания для исследования моделей ресурсных систем массового обслуживания с непуассоновскими входящими потоками, в том числе – многомерных моделей;

– с использованием выше обозначенных методов получены выражения для стационарных асимптотических распределений вероятностей чисел заявок и суммарных объемов занятых ресурсов в системах с неограниченным числом приборов, неэкспоненциальным обслуживанием и различными типами входящих непуассоновских потоков, в том числе – для многофазных ресурсных СМО;

– разработан комплекс проблемно-ориентированных программ и алгоритмов для численного анализа и имитационного моделирования ресурсных систем массо-

вого обслуживания с неограниченным числом приборов, с помощью которого определяется точность полученных асимптотических результатов.

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

**Практическая значимость результатов работы** не вызывает сомнений. Разработанная автором в диссертационном исследовании модификация метода многомерного динамического просеивания для ресурсных СМО в совокупности с методом асимптотического анализа, а также полученные с её помощью конкретные формулы позволяют производить анализ и расчет характеристик реальных технических систем, адекватными моделями которых являются ресурсные системы массового обслуживания. Разработанный автором комплекс проблемно-ориентированных программ и алгоритмов моделирования процессов массового обслуживания может использоваться для выполнения расчётов соответствующих характеристик реальных систем.

**Полнота опубликования научных результатов и апробация.** По материалам диссертации опубликовано 27 работ, из них 2 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (в том числе одна статья в российском научном журнале, индексируемом Scopus), 4 статьи в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, а также 20 работ опубликовано в трудах Международных и Всероссийских конференций, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы докладывались на 12 научных

конференциях международного и всероссийского уровня. Все материалы диссертационного исследования достаточно полно отражены в опубликованных работах.

### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В диссертации рассматриваются аппроксимации только первого и второго порядков искомых распределений. Не пояснено, почему не рассматриваются аппроксимации более высоких порядков, хотя, как правило, это даёт более точный результат.

2. Следует обратить внимание, что предлагаемые в диссертационной работе методы позволяют решать задачи анализа моделей ресурсных систем массового обслуживания лишь с неограниченным числом приборов.

3. При обосновании практической значимости результатов следовало бы прокомментировать, для расчёта каких именно показателей эффективности реальных систем могут быть применимы полученные диссертантом аппроксимации.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Е.Ю.Лисовской, в которой решена актуальная научная задача, отличающаяся научной новизной и практической значимостью полученных в работе результатов.

**Общее заключение.** Представленная на отзыв работа является законченной научно-квалификационной работой, посвященной актуальной научной задаче исследования математических моделей немарковских ресурсных систем массового обслуживания с непуассоновскими входящими потоками, неэкспоненциальным обслуживанием и неограниченным числом приборов. Достоверность результатов работы не вызывает сомнений, сами результаты достаточно полно опубликованы и известны специалистам в области обработки и передачи данных. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации. По своему содержанию работа полностью соответствует паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Таким образом, считаем, что диссертация Екатерины Юрьевны Лисовской

«Асимптотические методы исследования ресурсных СМО с непугассоновскими входящими потоками» 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 учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а её автор, Екатерина Юрьевна Лисовская, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании кафедры интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами ФГБОУ ВО «КНИТУ», протокол № 8 от 07 мая 2018 г.

Заведующий кафедрой интеллектуальных систем  
и управления информационными ресурсами КНИТУ  
доктор физико-математических наук по специальности  
05.13.18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

Кирпичников Александр Петрович

Доцент кафедры интеллектуальных систем  
и управления информационными ресурсами КНИТУ  
кандидат технических наук по специальности  
05.13.18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

Титовцев Антон Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68; (843) 238-56-94; office@kstu.ru; http://www.kstu.ru)

14.05.2018

Подпись Кирпичникова А.П.  
и Титовцева А.С.

удостоверяется.

Начальник Окад ФГБОУ ВО «КНИТУ»

О.А. Перельгина  
«14» 05 2018 г.