

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института проблем  
управления им. В.А. Трапезникова РАН,

кандидат физико-математических наук

И.Н. Барабанов

«22» марта 2017 г.

## ОТЗЫВ

**ведущей организации - Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук - на диссертацию Измайловой Яны Евгеньевны «Исследование математических моделей RQ-систем с вытеснением заявок», 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 Измайловой Я.Е. посвящена исследованию однолинейных RQ-систем с вытеснением заявок. Системы с повторными вызовами (RQ-системы) широко применяются для проектирования и оптимизации информационно-коммуникационных систем различного уровня, в сетях сотовой связи, для оптимизации работы транспортных систем и во многих других областях. Однако, RQ-системы не учитывают эффект реально наблюдаемого в транспортных и телекоммуникационных системах вытеснения требований. Поэтому построение и исследование математических моделей RQ-систем с вытеснением заявок является актуальной научной проблемой.

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

Диссертация Измайловой Я.Е. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы. Текст работы изложен на 148 страницах. Список литературы включает в себя 105 наименования.

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

**В первой главе** исследуются RQ-системы  $M|GI|1$  с вытеснением заявок, экспоненциальным и гиперэкспоненциальным распределениями времени между повторами обращения заявок из источника повторных вызовов (ИПВ). Для RQ-систем  $M|GI|1$  с вытеснением заявок и экспоненциальной задержкой заявок в ИПВ найдена пропускная способность системы. Разработан численный алгоритм нахождения двумерного стационарного распределения вероятностей числа заявок в ИПВ и состояний прибора. Далее система исследована методом асимптотического анализа в предельном условии большой задержки заявок в источнике повторных вызовов. Найдены асимптотические семиинварианты, с помощью которых можно построить аппроксимации второго и третьего порядков распределения вероятностей числа заявок в ИПВ. Для RQ-систем  $M|GI|1$  с вытеснением заявок и гиперэкспоненциальной задержкой заявок в ИПВ показано, что асимптотическая характеристическая функция имеет вид двумерного нормального распределения с параметрами, вид которых также получен.

**Во второй главе** с помощью метода асимптотического анализа в предельном условии большой задержки выполнена диффузионная аппроксимация распределения вероятностей числа заявок в источнике повторных вызовов. Получена локальная диффузионная аппроксимация распределения вероятностей числа заявок в источнике повторных вызовов. Локальная диффузионная аппроксимация позволяет получить аппроксимацию распределения вероятностей числа заявок в источнике повторных вызовов, полученного реализацией численного алгоритма, в окрестностях каждой из точек стабилизации. Используя локальную диффузионную аппроксимацию, была получена глобальная диффузионная аппроксимация исходного распределения. С помощью глобальной аппроксимации удастся выполнить аппроксимацию исходного распределения вероятностей, полученного реализацией численного алгоритма, в случае, когда график распределения вероятностей является двуимодальным.

**В третьей главе** выполнено исследование RQ-системы с  $r$ -настойчивым вытеснением альтернативных заявок модифицированным методом асимптотического анализа в предельном условии большой задержки. Показано, что асимптотическая характеристическая функция распределения вероятностей числа заявок в источниках повторных вызовов имеет вид нормального распределения. Получены уравнения, из которых определяются параметры данного распределения.

**В четвертой главе** представлено описание разработанного комплекса проблемно-ориентированных программ и алгоритмов, который включает в себя:

- Численный алгоритм для нахождения распределения вероятностей числа заявок в источнике повторных вызовов для RQ-систем с вытеснением заявок и экспоненциальным распределением времени между повторами обращения заявок из ИПВ.
- Программы имитационного моделирования для RQ-систем с вытеснением заявок и гиперэкспоненциальным распределением времени между повторами обращения заявок из ИПВ для RQ-систем с  $r$ -настойчивым вытеснением альтернативных заявок.

Была установлена область применимости асимптотических результатов, полученных в диссертации для описанных ранее моделей.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

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

Диссертация содержит новые научные результаты исследования RQ-систем. Отличие от ранее известных результатов заключается в следующем:

- Впервые предложен новый класс математических моделей RQ-систем с вытеснением заявок и случайным доступом, отличающийся от приоритетных RQ-систем тем, что в последних доступ приоритетных заявок осуществляется в порядке очереди.
- Впервые построена математическая модель однолинейных RQ-систем с вытеснением заявок. Найдена пропускная способность RQ-системы с вытеснением поступающих заявок и пуассоновским входящим потоком. Определена область стабильного функционирования нестационарных систем, то есть область, в которой вероятностные характеристики RQ-систем не меняются с течением времени до момента выхода из нее.

- Впервые построены математические модели RQ-систем с вытеснением и гиперэкспоненциальной задержкой заявок в источнике повторных вызовов, RQ-систем с двумя входящими потоками и вытеснением альтернативных заявок.
- Впервые для исследования RQ-систем с вытеснением проведена модификация метода асимптотического анализа в предельном условии большой задержки заявок в ИПВ. С помощью данного метода получен вид предельной характеристической функции для систем с экспоненциальной и гиперэкспоненциальной задержкой заявок в источнике повторных вызовов в виде характеристической функции гауссовского распределения.
- Впервые для RQ-системы с вытеснением заявок и с экспоненциальным распределением времени между повторами обращения заявок из ИПВ проведена модификация метода асимптотического анализа в виде асимптотических семиинвариантов. Данный метод позволяет получить более точную аппроксимацию характеристической функции по сравнению с гауссовской аппроксимацией.
- Проведена модификация метода асимптотического анализа для RQ-системы с вытеснением заявок и экспоненциальной задержкой заявок в ИПВ, с помощью которой найдена диффузионная аппроксимация распределения вероятностей числа заявок в ИПВ и состояний прибора. Этот метод позволяет выполнить аппроксимацию двумодальных распределений.
- Разработан численный алгоритм на основе рекуррентных формул, представленных в диссертации, для нахождения двумерного распределения вероятностей состояний обслуживающего прибора и числа заявок в ИПВ для RQ-системы с вытеснением заявок.

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

Постановка задач диссертационного исследования была выполнена автором совместно с научным руководителем - доктором технических наук Назаровым Анатолием Андреевичем. 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 Измайловой Я.Е. 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.

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

RQ-системы с вытеснением заявок могут быть использованы в качестве математических моделей реальных телекоммуникационных и транспортных систем и при проектировании сетей нового поколения для создания новых протоколов случайного множественного доступа и модификации уже существующих в телекоммуникационных системах. Они могут быть использованы также при разрешении коллизий при проезде перекрестков автономно управляемыми системами в транспортных системах и при разработке планировщиков в компьютерных операционных системах.

Практическую значимость работы подтверждает выполнение ее в рамках следующих научных проектов: 1) госзадания 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-коммуникационных систем обработки, хранения и передачи информации» № 8.4055.2011, номер госрегистрации 01201261193 в 2012-2013 гг.; 2) научно-исследовательской работы 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» в 2014-2016 гг.; 3) научного проекта № 16-31-00292 мол\_а «Разработка асимптотических методов исследования математических моделей телекоммуникационных систем» при финансовой поддержке РФФИ.

### **Полнота опубликования научных результатов и апробация.**

По тематике диссертации опубликовано 21 работа, из них 3 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 международные базы научного цитирования Web of Science и Scopus. Все материалы диссертационного исследования достаточно полно отражены в опубликованных работах.

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

1. Было бы логично, асимптотический анализ третьего порядка, представленный для RQ-систем с вытеснением заявок и экспоненциальным распределением времени задержки заявок в источнике повторных вызовов, провести и для систем той же структуры, но с гиперэкспоненциальным распределением времени задержки заявок в источнике повторных вызовов.

2. Желательно было бы исследовать время пребывания заявок в системе наряду с числом заявок в источнике повторных вызовов.

3. В диссертации требуется более конкретно привести описание примеров применимости исследований.

4. В работе недостаточно полно классифицированы и исследованы показатели качества RQ-систем с вытеснением заявок.

5. В главе 4 предлагается исследовать RQ-систему с вытеснением заявок модифицированным методом асимптотического анализа, который значительно улучшает аппроксимацию. Неясно как оценивается точность аппроксимации?

Указанные недостатки не оказывают существенного влияния на научную и практическую значимость полученных в диссертации результатов.

### **Общее заключение.**

Диссертационная работа Измайловой Я. Е. является законченной научно-исследовательской работой, посвященной актуальной научной проблеме. Работа отличается 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.

Полученные результаты соответствуют п.2 «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей», п. 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента» и частично п. 6 «Разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента» паспорта специальности 05.13.18. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Таким образом, считаем, что диссертация Измайловой Яны Евгеньевны «Исследование математических моделей RQ-систем с вытеснением заявок» 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, Измайлова Яна Евгеньевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв составил заведующий лабораторией № 17 автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, доктор технических наук Фархадов Маис Паша оглы. Отзыв обсужден и одобрен на расширенном семинаре лабораторий №16, 17, 68, 69 Института проблем управления РАН, протокол №17/4 от 21 марта 2017 г.

Заведующий лабораторией автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов ИПУ РАН, доктор технических наук (специальность 05.13.15 - Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети)



Фархадов М.П.

21. 03.2017 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова  
Российской академии наук  
Адрес: 117997, ГСП-7, В-342, г. Москва, Профсоюзная, 65  
<http://www.ipu.ru/>  
Тел.: +7 495 334-89-10  
E-mail: dan@ipu.ru