

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Измайловой Яны Евгеньевны

«Исследование математических моделей RQ-систем с вытеснением заявок»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы исследования. При проектировании и создании различных информационно-вычислительных и телекоммуникационных сетей связи актуальна задача расчета характеристик качества функционирования компонент сетей. Случайный характер процессов формирования, обработки и передачи данных обуславливает необходимость применения стохастических моделей, в качестве которых широко используются модели массового обслуживания в виде систем и сетей массового обслуживания различной конфигурации. Математические методы теории массового обслуживания обеспечивают возможность решения многочисленных задач расчета характеристик качества функционирования различных компонент моделируемых систем. При этом необходимо учитывать целый ряд важных особенностей функционирования моделируемых систем, в частности, наличия эффекта повторных вызовов, когда заявки, пришедшие в систему и обнаружившие линию занятой, не теряются, а происходит задержка в их обслуживании. В качестве математических моделей таких систем выступают модели с повторной очередью (Retrial Queueing Systems – RQ-системы).

В диссертационной работе автор предлагает новый класс RQ-систем с приоритетом заявок. В отличие от классических моделей RQ-систем, в предлагаемой модели заявки, пришедшие в систему и обнаружившие прибор занятым, вытесняют обслуживаемую. Таким образом, диссертационная работа Измайловой Яны Евгеньевны, посвященная исследованию математических моделей однолинейных RQ-систем с вытеснением заявок, является актуальным научным исследованием.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и литературы. Общий объем диссертации составляет 148 страниц. Список использованных источников и литературы содержит 105 наименований.

Во *введении* обосновывается актуальность выбранной проблематики, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приводится обзор предшествующих исследований.

В *первой главе* рассматриваются математические модели RQ-систем с вытеснением заявок экспоненциальной и гиперэкспоненциальной задержкой заявок в источнике повторных вызовов (ИПВ). Основные исследования проводятся с помощью модифицированного метода асимптотического анализа в предельном условии большой задержки. Показано, что асимптотическая характеристическая функция числа заявок в источнике повторных вызовов имеет вид одномерного нормального распределения для RQ-систем с вытеснением заявок и экспоненциальной задержкой, и двумерного нормального распределения для систем с гиперэкспоненциальной задержкой. Для RQ-систем с вытеснением заявок и экспоненциальным распределением времени между повторами обращений заявок из источника повторных вызовов также была получена пропускная способность системы и проведена асимптотика третьего

порядка, из которой определена функция, не являющаяся характеристической, но позволяющая построить более точную, по сравнению с гауссовской, аппроксимацию.

Во второй главе с помощью метода асимптотического анализа в предельном условии большой задержки получена диффузионная аппроксимация распределения вероятностей числа заявок в источнике повторных вызовов RQ-системы $M|GI|1$ с вытеснением заявок. Показано, что локальная диффузионная аппроксимация распределения вероятностей числа заявок применяется только в окрестности точек стабилизации, то есть, как и гауссовская, приемлема только для одномодальных распределений. Для двумодальных распределений получена глобальная диффузионная аппроксимация исходного распределения вероятностей числа заявок.

В третьей главе исследуется RQ-система $M^{(2)}|B(x)^{(2)}|1$ с γ -настойчивым вытеснением альтернативных заявок. Рассматриваемая RQ-система характеризуется двумя входящими пуассоновскими потоками, произвольным временем обслуживания для заявок разных потоков, двумя источниками повторных вызовов и γ -настойчивым вытеснением альтернативных заявок. В данной главе решена задача нахождения распределения вероятностей числа заявок в каждом источнике повторных вызовов и состояний прибора. Исследования системы проводятся с помощью метода асимптотического анализа в предельном условии большой задержки заявок в источниках повторных вызовов. Найдена асимптотическая характеристическая функция числа заявок в источниках повторных вызовов и состояний прибора в виде характеристической функции нормального распределения. Получены уравнения, из которых определяются параметры нормального распределения.

В четвертой главе разработан комплекс проблемно-ориентированных программ и алгоритмов для исследования RQ-систем с вытеснением заявок. Для RQ-систем с вытеснением заявок и экспоненциальным распределением времени между повторами обращений заявок из источника повторных вызовов был разработан численный алгоритм, позволяющий получить распределение вероятностей числа заявок в источнике повторных вызовов. Проведен подробный численный анализ, из которого определена область применимости, полученных в первой главе, асимптотических результатов. Для RQ-систем с вытеснением заявок и гиперэкспоненциальным распределением времени задержки заявок в источнике повторных вызовов и RQ-систем с вытеснением заявок и двумя входящими потоками были разработаны программы имитационного моделирования.

В заключении сформулированы основные теоретические и практические результаты исследования.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Новизна полученных результатов. В диссертационной работе Измайловой Я. Е. получены следующие новые научные результаты:

- предложены и исследованы новые математические модели RQ-систем $M|GI|1$ с вытеснением заявок экспоненциальной и гиперэкспоненциальной задержкой заявок в источнике повторных вызовов (ИПВ) и RQ-системы $M^{(2)}|B(x)^{(2)}|1$ с γ -настойчивым вытеснением альтернативных заявок;
- предложена модификация метода асимптотического анализа для исследования RQ-систем экспоненциальной и гиперэкспоненциальной задержкой заявок в ИПВ в предельном условии большой задержки заявок в ИПВ, позволяющая получить

предельные характеристические функции распределения вероятностей состояний в виде характеристической функции гауссовского распределения;

- разработана модификация метода асимптотического анализа в виде асимптотических семинвариантов для исследования RQ-систем с вытеснением заявок и с экспоненциальным распределением времени между повторами обращения заявок из ИПВ, позволяющая получить более точную аппроксимацию характеристической функции по сравнению с гауссовской аппроксимацией;
- разработана модификация метода асимптотического анализа для исследования RQ-системы $M^{(2)}|B(x)^{(2)}|1$ с r -настойчивым вытеснением альтернативных заявок, позволяющая получить диффузионную аппроксимацию распределения вероятностей числа заявок в ИПВ и состояний прибора для двумодальных распределений.

Разработанный комплекс проблемно-ориентированных программ и алгоритмов для имитационного моделирования и численного анализа RQ-систем с вытеснением заявок позволяет проводить оценку области применимости полученных асимптотических результатов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность основных положений и выводов подтверждается корректным обоснованием, строгими математическими доказательствами формулируемых утверждений с использованием математического аппарата теории вероятностей и случайных процессов, теории массового обслуживания, дифференциального и интегрального исчисления; согласованностью результатов, полученных разными методами, а также численными экспериментами и имитационным моделированием.

Теоретическое и практическое значение работы заключается в построении новых математических моделей RQ-систем с вытеснением заявок и случайным доступом и разработке методов их исследования. Предложенные автором модификации метода асимптотического анализа методы расширяют возможности исследования RQ-систем. Как известно, для вычисления характеристик систем с повторными заявками часто необходимо использовать численные методы по причине сложности выведения аналитических формул. Поэтому важно, что полученные теоретические результаты допускают численную реализацию с помощью соответствующих алгоритмов. Разработанные алгоритмы и программы могут быть использованы в задачах проектирования систем массового обслуживания, в частности при моделировании реальных транспортных систем, при разработке сетей связи, спутниковой связи.

Полнота опубликования результатов работы. Результаты диссертационной работы Измайловой Я.Е. являются новыми, материалы диссертации достаточно полно опубликованы в научных журналах и прошли хорошую апробацию на конференциях международного и всероссийского уровня, опубликованы в рецензируемых журналах. По материалам диссертации автором опубликована 21 печатная работа, в том числе 3 в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, 18 в сборниках материалов международных и всероссийских конференций, из которых 3 публикации в сборниках, индексируемых Web of Science и Scopus.

Замечания по работе. По диссертации Измайловой Я.Е. можно сделать следующие замечания.

1. В диссертационной работе проведено исследование RQ-систем с вытеснением заявок для простейших входных потоков. Известно, что в томской школе были исследованы RQ-системы при различных предположениях относительно вероятностной структуры входящего потока. Автору следовало бы указать, в связи с чем исследование проводилось именно для таких систем, в частности отметить принципиальные моменты и возможные трудности при исследовании RQ-систем с вытеснением заявок для входящих потоков другого типа. Более того, в первой главе для большей наглядности необходимо было привести хотя бы один содержательный пример применения исследуемых СМО для моделирования реальных технических систем, откуда более четко следовало бы обоснование необходимости исследования именно таких RQ-систем.
2. При достаточно серьезных и трудоемких математических выкладках автором введены несвоевременно или вовсе опущены объяснения вводимых обозначений и замен, что затрудняет понимание доказываемых положений и интерпретацию результатов. Например, на стр. 18 при выполнении замены в $H_0 = \varepsilon F_0(w, \varepsilon)$ изначально непонятно откуда возникает множитель ε перед функцией $F_0(w, \varepsilon)$ и какую смысловую нагрузку он несет; на стр. 28 непонятно почему решение ищем именно в виде (1.1.32) и какую смысловую нагрузку несут функции $\Phi(w)$ и $R_0, R_1(z)$ и др. На мой взгляд необходимо было дать хотя бы минимальное объяснение, либо ссылку на соответствующую литературу.
3. Не определены строгие границы области применимости асимптотических результатов для RQ-систем с вытеснением заявок и экспоненциальным распределением времени задержки заявок в источнике повторных вызовов.
4. В главе 3 при исследовании RQ-система $M^{(2)}|B(x)^{(2)}|1$ с g -настойчивым вытеснением альтернативных заявок не ясно, каким образом должны выбираться значения вероятностей g .
5. Для RQ-системы с двумя входящими потоками была получена характеристическая функция двумерного нормального распределения, а численные результаты, приведены для одномерных маргинальных. Какие задачи требуют знания двумерного распределения?
6. Система уравнений (1.2.12) на с. 47 и система уравнений (3.19) на с.88 являются алгебраическими. Возникает вопрос, почему значения неизвестных не записаны в явном виде и каким образом их значения определены в главе 4.
7. Следует отметить, что по тексту диссертации (за исключением введения) практически отсутствуют ссылки на цитируемые работы. Также в работе присутствуют опечатки, стилистические ошибки, имеются замечания редакционного характера.
8. В диссертации и автореферате не приведены сведения о том, зарегистрированы ли разработанные алгоритмы и программы в виде патентов или свидетельств о государственной регистрации алгоритмов и программ для ЭВМ.

Несмотря на вышеуказанные замечания, хочется отметить высокий уровень математической теоретической подготовки автора и ее умение использовать методы исследования случайных процессов для решения поставленных задач.

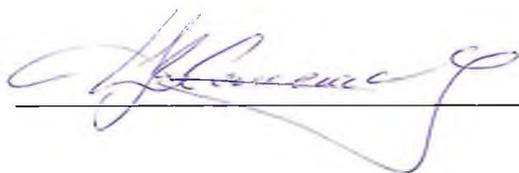
Общее заключение. Диссертационная работа Измайловой Яны Евгеньевны «Исследование математических моделей RQ-систем с вытеснением заявок» соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней: является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи нахождения распределения вероятностей состояний обслуживаемого прибора и числа заявок в источнике (источниках) повторных вызовов в RQ-системах с вытеснением заявок и случайным доступом.

Содержание диссертационной работы соответствует 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», п.5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента» паспорта специальности паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Считаю, что диссертационная работа Измайловой Яны Евгеньевны «Исследование математических моделей RQ-систем с вытеснением заявок» удовлетворяет 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 Измайлова Я.Е. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

доцент кафедры высшей и прикладной математики
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Сибирский федеральный
университет», кандидат физико-математических
наук (специальность 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации), доцент



Семенова Дарья Владиславовна
E-mail: dariasdv@gmail.com

05 апреля 2017 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
Адрес: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79/10
Тел: +7 (391) 206-21-48, сайт: <http://www.sfu-kras.ru>, E-mail: office@sfu-kras.ru



ФГАОУ ВО СФУ
Подпись Семенова Дарья Владиславовна заверяю
Начальник общего отдела
« 05 » 04 2017 г.