

ОТЗЫВ

официального оппонента

**на диссертационную работу Панкратовой Екатерины Владимировны
«Исследование математических моделей неоднородных
бесконечнолинейных СМО», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 –
Математическое моделирование, численные методы и комплексы
программ**

Актуальность темы исследования. В условиях постоянного роста требований к эффективности устройств, применяемых в системах передачи и обработки информации, к сокращению сроков исследования и разработки новых телекоммуникационных сетей и систем актуально их исследование с помощью построения математических моделей. 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.

В диссертационной работе автор рассматривает класс неоднородных (гетерогенных) систем с различными типами обслуживающих приборов. Несмотря на сложность исследования таких систем как таковых, автор делает существенный шаг в усложнении рассматриваемых моделей, отказываясь от предположений о том, что входящий поток является стационарным пуассоновским. Кроме того, предположение о гетерогенности исследуемой системы позволяет учитывать неоднородность поступающих заявок, требующих различного времени обслуживания, что более адекватно описывает реальные информационные системы.

Таким образом, диссертационная работа Панкратовой Е.В., посвященная разработке асимптотических методов исследования числа занятых приборов в неоднородных бесконечнолинейных СМО, является актуальным научным исследованием.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Список литературы включает 143 наименования. Общее число страниц диссертации – 134.

Во *введении* обосновывается актуальность выбранной проблематики, приводится обзор предшествующих исследований.

В *первой главе* проведено исследование математических моделей неоднородных бесконечнолинейных СМО с входящим MAP-потокom разнотипных заявок и экспоненциальным временем обслуживания. Получены выражения для начальных моментов числа занятых приборов бесконечнолинейной неоднородной СМО. Дальнейшее исследование системы методом асимптотического анализа при условии эквивалентного роста времени обслуживания на приборах разного типа позволило утверждать, что стационарное распределение вероятностей числа занятых приборов рассматриваемой системы можно аппроксимировать многомерным гауссовским распределением.

В параграфе 1.2.4 построено асимптотическое приближение характеристической функции числа занятых приборов рассматриваемой системы при условии предельно редких изменений состояний управляющей цепи Маркова в виде суммы взвешенных пуассоновских распределений.

Во *второй главе* рассмотрены математическая модель неоднородных систем массового обслуживания с входящим рекуррентным потоком обращений и экспоненциальным временем обслуживания. Получены выражения для допредельных вероятностных характеристик системы, а также доказаны теоремы о гауссовской аппроксимации многомерной характеристической функции числа заявок различного типа в системе при условии эквивалентно растущего времени обслуживания на приборах. Проведено сравнение асимптотических и допредельных результатов, которые показали, что разница в значениях точных и асимптотических значений характеристик не превышает 3% уже в случае, когда средняя продолжительность обслуживания в 10 и более раз больше интенсивности входящего потока.

Третья глава диссертации посвящена исследованию неоднородных немарковских СМО с входящими MMPP- и рекуррентными потоками

разнотипных заявок и неэкспоненциальными функциями распределения вероятностей времени обслуживания на приборах. В качестве метода исследования предложена модификация метода многомерного динамического просеивания. Методом асимптотического анализа при условии эквивалентного роста времени обслуживания на приборах получены выражения для многомерной гауссовской аппроксимации стационарного распределения вероятностей числа занятых приборов в исследуемых системах.

В четвертой главе представлены примеры численных алгоритмов для реализации методов нахождения начальных моментов и асимптотического анализа бесконечнолинейных неоднородных СМО, описание программы имитационного моделирования исследуемых бесконечнолинейных гетерогенных систем.

В заключении сформулированы основные теоретические и практические результаты исследования.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Новизна полученных результатов. В диссертации Панкратовой Е. В. получены следующие новые научные результаты:

- предложены и исследованы новые математические модели бесконечнолинейных СМО с входящими потоками разнотипных заявок;
- разработана модификация метода асимптотического анализа для исследования числа занятых приборов в бесконечнолинейных неоднородных СМО, а именно предложено новое асимптотическое условие эквивалентного роста времени обслуживания на приборах различного типа;
- предложена модификация метода многомерного динамического просеивания, позволяющая выполнять анализ многомерных случайных процессов в гетерогенных немарковских СМО.

Разработанный комплекс программ численного анализа и имитационного моделирования позволяет проводить оценку области применимости полученных асимптотических результатов.

Достоверность основных положений и выводов подтверждается использованием математического аппарата теории вероятностей и случайных

процессов, теории массового обслуживания, дифференциального и интегрального исчисления, а также многочисленными экспериментами с применением разработанного комплекса программ численного анализа и имитационного моделирования.

Теоретическое и практическое значение работы заключается в построении математических моделей бесконечнолинейных неоднородных СМО и разработке методов их исследования.

Все перечисленные выше теоретические и практические результаты диссертационной работы Е.В. Панкратовой являются новыми. Материалы диссертации достаточно полно опубликованы в рецензируемых журналах и прошли хорошую апробацию на конференциях международного, всероссийского и региональных уровней. По теме диссертации автором опубликовано 16 работ, из них 5 работ в рецензируемых изданиях из списка, рекомендованного ВАК РФ, и входящих в международную базу научного цитирования Web of Science и Scopus. Также имеются 2 свидетельства о регистрации электронного ресурса.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы для расчета вероятностно-временных характеристик телекоммуникационных и информационных систем, подсистем компьютерных сетей с целью повышения их производительности, а также для описания экономико-математических моделей торговых, страховых систем с целью определения оптимального режима их функционирования и максимизации дохода.

Замечания по работе. По диссертации Панкратовой Е. В. можно высказать следующие замечания.

1. В первой главе недостаточно уделено внимания постановке задачи и введению используемых обозначений (например, матрица D используется в выкладках со стр. 19, а описание ее структуры дано только на стр. 26). Хотя далее становится понятно, что в работе при задании MAP-потоков автор следует традициям томской школы теории массового обслуживания,
2. Многие результаты диссертации получены в виде характеристических функций, в работе не указано, какие методы используются для перехода к распределениям случайных величин.

3. В численном примере 2.1 для системы с входящим рекуррентным потоком, двумя типами обслуживающих приборов и экспоненциальным временем обслуживания получены отрицательные значения коэффициентов корреляции между компонентами исследуемого двумерного случайного процесса (Таблицы 2.1 – 2.2). Нелишним было бы отметить эту закономерность и попробовать ее интерпретировать.
4. Следует обратить внимание, что предлагаемые автором асимптотические условия растущего времени обслуживания не всегда адекватно описывают реальные процессы, более актуальными для исследования информационных систем условием, на мой взгляд, является растущая интенсивность входящего потока.
5. Считаю, что для большей наглядности необходимо было привести хотя бы один содержательный пример применения исследуемых СМО для моделирования систем на реальных данных.

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

Общее заключение. Диссертационная работа Панкратовой Екатерины Владимировны «Исследование математических моделей бесконечнолинейных неоднородных СМО» имеет внутреннее единство и является завершенной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальной научной задачи анализа числа занятых приборов в бесконечнолинейных гетерогенных СМО. Работа содержит оригинальные результаты в области математического моделирования, вычислительных методов и комплексов программ и отвечает следующим пунктам паспорта научной специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (шифр специальности 05.13.18):

- п. 1. – Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений.
- 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.

Считаю, что диссертационная работа Панкратовой Екатерины Владимировны «Исследование математических моделей бесконечнолинейных неоднородных СМО» 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 Панкратова Е. В. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент, кандидат физико-математических наук (специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации), доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра высшей математики №1, доцент



Семенова Дарья Владиславовна
«26» октября 2016 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: dariasdv@gmail.com



ФГАОУ ВО СФУ
Семенова Дарья Владиславовна
Заведующий общим отделом
26 2016