

## ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации Моисеевой Светланы Петровны

«Разработка методов исследования математических моделей немарковских систем обслуживания с неограниченным числом приборов и непуассоновскими входящими потоками», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**Актуальность выбранной темы.** Область применения теории массового обслуживания (ТМО) охватывает широкий класс таких организационно-технических систем, ресурсы которых используются для эффективного выполнения потоков работ (заявок), характеризующихся случайными моментами появления работ и случайной их трудоемкостью. К таким системам относятся информационно-телекоммуникационные, вычислительные и финансовые системы, торговые комплексы, предприятия сферы обслуживания, медицинские учреждения, библиотеки и другие системы, множество которых трудно поддается перечислению. Возрастающая сложность таких систем и чувствительность показателей качества их функционирования к наличию очередей заявок приводят к непрерывному наращиванию их ресурсов, что обуславливает практическую ценность их представления и исследования в виде *бесконечнолинейных* систем массового обслуживания (СМО) в которых число приборов (центров, обрабатывающих заявки) неограниченно.

С другой стороны, многочисленные статистические исследования реальных потоков работ показывают, что их представление классическими потоками (простейшими потоками заявок или ординарными рекуррентными потоками с произвольным одним и тем же вероятностным распределением независимых интервалов времени между появлением заявок на входе системы) часто существенно искажает характеристики реальных потоков, важные для правильного определения искомых показателей качества систем.

Это приводит к необходимости исследования таких моделей массового обслуживания, в которых снимаются упрощения и связанные с ними ограничения, присущие классическим потокам заявок, и которые, несмотря на значительный интерес к ним со стороны известных специалистов по ТМО, еще недостаточно исследованы, что обуславливает теоретическую значимость представленной работы.

Таким образом, диссертационная работа Моисеевой С.П., посвященная разработке методов исследования как классических немарковских бесконечнолинейных систем, так и их модификаций, а именно: систем с повторным обслуживанием требований и систем параллельного обслуживания кратных заявок специальных потоков, является актуальным научным исследованием.

**Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций.** В диссертации получены следующие новые научные результаты:

– предложены новые математические модели систем массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов, а именно: СМО с повторным обращением заявок; модели параллельного обслуживания кратных заявок; немарковские СМО с непугассоновскими входящими потоками.

– разработан метод предельной декомпозиции – оригинальный метод исследования СМО с пуассоновским входящим потоком и произвольной функцией распределения времени обслуживания заявок, с помощью которого проведен анализ не только процесса изменения числа занятых приборов, но и различных потоков обращений к приборам системы (суммарных, повторных).

– разработана существенная модификация метода асимптотического анализа систем при условии растущего времени обслуживания для исследования процессов изменения числа занятых приборов в рассматриваемых системах. Показано, что для СМО с непугассоновскими (ВМАР, МАР, полумарковскими) входящими потоками асимптотическое распределение является гауссовским, а для систем параллельного обслуживания парных заявок – двумерным гауссовским, что обобщает известные результаты для аналогичных систем с пуассоновским входящим

потоком. Развитие метода асимптотического анализа, приводящее к асимптотике третьего порядка, позволило повысить точность аппроксимации по сравнению с гауссовской в три и более раз.

– предложен и обоснован оригинальный метод просеянного потока, позволяющий проводить исследование немарковских систем массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов различной конфигурации и неэкспоненциальным временем обслуживания. Проведенные с помощью указанного метода исследования обобщают известные результаты.

**Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается строгим математическим аппаратом с использованием методов теории вероятностей, случайных процессов, теории массового обслуживания, дифференциального и интегрального исчисления. Совпадение результатов исследования частных случаев рассматриваемых систем с известными ранее, является косвенным дополнительным подтверждением достоверности и обоснованности используемых в работе методов.

**Теоретическое и практическое значение работы.** Разработанные методы позволяют расширить круг решаемых задач, при этом полученные в диссертации результаты обобщают ранее известные, что существенно развивает теорию случайных процессов и теорию массового обслуживания.

Предложенный в диссертации метод просеянного потока решает научную проблему анализа немарковских систем обслуживания с непуассоновскими входящими потоками и открывает перспективы исследования широкого класса математических моделей реальных социально-экономических и технических систем.

Предложенные в работе модели позволяют существенно расширить класс адекватных моделей ТМО, имеющих вид систем массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов, и могут быть применены для анализа характеристик реальных объектов в различных предметных областях.

**Использование результатов работы.** Результаты работы могут быть практически использованы во всех приложениях теории массового обслуживания для построения, исследования и оптимизации математических



моделей реальных систем, в том числе страховых и торговых компаний, коммерческих и пенсионных фондов, а также для анализа сложных технических систем. Полученные результаты могут быть использованы для расчета операционных и вероятностных характеристик моделей существующих информационно-телекоммуникационных систем, подсистем глобальных и компьютерных сетей с целью повышения эффективности их функционирования и выработки рекомендаций при проектировании новых систем.

**Замечания по работе.** По диссертации Моисеевой С.П. имеются замечания.

Небрежные формулировки. Неудачным представляется использование термина «средняя скорость поступления заявок» (с. 10) вместо *интенсивности* (или, в крайнем случае, *средней частоты*) их поступления.

В утверждении «Точность полученного асимптотического двумерного распределения уже при  $\varepsilon = 0.02$  не превышает 5%» (с. 193) вместо слова «точность» нужно говорить «погрешность» (либо вместо «не превышает» говорить «не ниже»). Дробное число здесь следует писать с десятичной запятой (0,02).

Описки в формулах. На с. 25 параметру  $\mu$  в формуле  $M\{i_l\} = D\{i_l\} = \frac{\lambda}{\mu_\lambda}$  нужно приписать индекс  $l$ , а не  $\lambda$ . На с. 47 в начале формулы  $F(x_1, x_2, \dots, x_k, 0) = \Phi(x_1 - 1, \dots, x_1 - 1) \times$  последний аргумент функции  $\Phi$  должен быть записан в виде  $x_k - 1$ .

Номера формул (4.14) и (4.15) не уникальны: сразу после формулы (4.16) они же употреблены для идентификации других формул. Имеются пропуски в порядковых номерах формул: после второго применения номера (4.15) сразу идут номера (4.26), (4.27) и т.д.

Стилистические погрешности. На с. 65 во фразе «Аналогичные характеристики капитала получены и в монографии [19], но достоинством математической модели в виде рассмотренной СМО позволяет обобщить результаты на случай разнотипных и групповых договоров, а также на непугассоновские потоки входящих потоков [107]» судя по всему, после слова СМО пропущены слова «является то, что она». И вместо «непугассоновские потоки входящих потоков» лучше было бы написать, например,

«непуассоновские входящие потоки».

На с. 177 фраза «Метод асимптотического анализа, суть которого изложена в монографиях [83,92] который может быть применен для исследования СМО различной конфигурации» нуждается в поправке (после ссылки на литературу вместо слова «который» лучше поставить запятую).

Замечание по главе 6. Не ясно, чем определяется целесообразность разработки собственных программ для имитационного моделирования СМО в то время как рынок ПО насыщен разнообразными подходящими для этого достаточно мощными системами имитационного моделирования (GPSS, AnyLogic и т.д.).

Грамматические описки. После формулы (5.58) пропущена запятая (с. 227), в конце формулы (2.55) пропущена точка (с. 136), в названии главы 3 пропущена запятая после слова «приборов», в заголовке п. 4.4.1 слово «исследование» должно стоять в родительном падеже, как и мужские имена Д. Баум и Л. Броер на с. 9, в названии главы 2 слово «потоки» должно находиться в творительном падеже. Данный перечень описок может быть продолжен. К сожалению, это несколько снижает в целом весьма благоприятное впечатление от широты и глубины представленной научной работы, а также от математического изящества ее изложения.

**Общее заключение.** Диссертационная работа Моисеевой Светланы Петровны «Разработка методов исследования математических моделей немарковских систем обслуживания с неограниченным числом приборов и непуассоновскими входящими потоками» является законченной научно-исследовательской работой, посвященной решению научной проблемы анализа моделей массового обслуживания, выходящих за рамки классических, с непуассоновскими входящими потоками и произвольным временем обслуживания. Совокупность представленных в ней результатов можно классифицировать как новое решение актуальной научной проблемы. Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в печатных изданиях, основные результаты апробированы на международных и Всероссийских конференциях. Автореферат правильно и в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа Моисеевой С.П. удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям по физико-математическим наукам по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а Моисеева Светлана Петровна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент,  
федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Омский государственный технический университет»,  
профессор кафедры автоматизированных систем  
обработки информации и управления



Задорожный Владимир Николаевич

644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11,  
<http://www.omgtu.ru>  
Тел: р. (3812) 65-20-84, д. (3812) 71-98-79  
E-mail: [zwn@yandex.ru](mailto:zwn@yandex.ru)

03 декабря 2014 г.

