

## ОТЗЫВ

официального оппонента Лёзина Ильи Александровича на диссертационную работу Ахметшиной Элеоноры Газинуровны на тему «Методы математического моделирования процессов передачи данных как системы массового обслуживания с учетом временных сдвигов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

### Актуальность темы

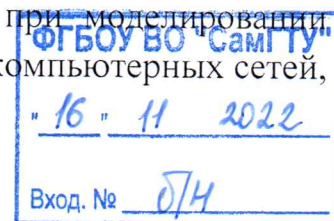
Диссертационная работа Ахметшиной Э.Г. посвящена исследованию и разработке математических моделей и методов массового обслуживания на основе СМО со сдвинутыми законами распределений, которые в работе названы системами с временными сдвигами. Разработка новых моделей массового обслуживания в виде систем с временными сдвигами является актуальной задачей для ТМО и имеет самостоятельное прикладное значение в моделировании различных систем передачи данных, например при использовании межсетевого экрана.

В работе отмечено, что в литературе, включая интернет ресурсы, не имеется исследований других авторов в области систем с временными сдвигами. Существуют близкие работы ряда авторов в данной области, где представлены результаты приближения очередей к интернету и мобильным сервисам как очередей с запаздыванием во времени, но безотносительно к СМО.

Для систем G/G/1 нельзя получить решения для основной характеристики СМО – среднего времени ожидания заявок в очереди в общем случае. Поэтому важны и актуальны исследования таких систем для частных случаев законов распределений, а их результаты используются в современной теории телетрафика для моделирования систем передачи данных различного назначения. Например, по среднему времени ожидания в очереди, оценивают задержки пакетов в сетях пакетной коммутации при их моделировании с помощью СМО.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование математических моделей систем передачи данных в виде СМО со сдвинутыми вправо от нулевой точки распределениями, а также удобная для экспериментального исследования программная реализация этих моделей.

**В первой главе** описана востребованность СМО при моделировании процессов функционирования телекоммуникационных и компьютерных сетей,



транспортных потоков, логистики, сферы обслуживания населения и других процессов. Проведен анализ литературных источников по теме научного исследования. Приводится обзор и сравнение методов моделирования различных систем на основе теории массового обслуживания.

**Вторая глава** посвящена разработке математических моделей СМО, в которых в качестве входных распределений выступают нормированные распределения Эрланга второго порядка.

**Третья глава** посвящена разработке математических моделей для пары систем  $H_2/H_2/1$  и  $H_2^-/H_2^-/1$  с гиперэкспоненциальными распределениями второго порядка.

**Четвертая глава** посвящена описанию построенных математических моделей двух пар систем:  $H_2/M/1$ ,  $H_2^-/M^-/1$ ,  $M/H_2/1$  и  $M^-/H_2^-/1$ .

**Пятая глава** посвящена описанию разработанного комплекса программ в среде Mathcad для расчета основной характеристики представленных моделей массового обслуживания с учетом временных сдвигов.

### Научная новизна

1. Впервые предложены спектральные разложения интегрального уравнения Линдли для шести пар СМО, сформированных обычными и сдвинутыми законами распределений Эрланга, экспоненциального и гиперэкспоненциального.
2. Впервые представлены численно-аналитические решения для среднего времени ожидания заявок в очереди как основной характеристики для рассматриваемых систем, полученные с помощью спектральных решений и установлено, что СМО со сдвинутыми законами распределений обеспечивает многократное уменьшение времени ожидания в зависимости от величины параметра сдвига по сравнению с классическими системами.
3. Представлена методика расчета основной характеристики СМО, включающая определение неизвестных параметров сдвинутых законов распределений методом моментов через их числовые характеристики с учетом влияния на эти характеристики величины параметра сдвига закона распределения.
4. Впервые представлены результаты численных экспериментов над разработанными математическими моделями массового обслуживания для их тестирования и оценки их адекватности по разработанному программному обеспечению в среде Mathcad.

## **Практическая ценность работы**

Использование представленных моделей массового обслуживания  $E_2^-/E_2^-/1$ ,  $E_2^-/M/1$ ,  $M/E_2^-/1$ ,  $H_2^-/H_2^-/1$ ,  $H_2^-/M/1$ ,  $M/H_2^-/1$  со сдвинутыми вправо от нулевой точки распределениями обеспечивает меньшее время ожидания заявок в очереди по сравнению с системами с обычными законами распределений.

## **Рекомендации по использованию результатов работы**

Разработанные методы и модели реализованы в виде программного комплекса «Программы расчета характеристик систем массового обслуживания с запаздыванием во времени в пакете Mathcad». Программа может быть использована проектными, научно-исследовательскими организациями при анализе и проектировании транспортной нагрузки в сетях связи, для анализа вероятностно-временных характеристик сетевого узла.

## **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений**

Обоснованность выносимых на защиту научных положений, выводов и рекомендаций, а также достоверность полученных результатов исследований обеспечиваются согласованностью результатов вычислительных экспериментов с квадратичной зависимостью среднего времени ожидания от коэффициентов вариаций временных интервалов, что соответствует теории СМО  $G/G/1$ . С уменьшением параметра сдвига результаты экспериментов по тестированию представленных моделей систем с учетом временных сдвигов непрерывно приближаются к данным для классических систем, а при равенстве параметра сдвига 0 полностью с ними совпадают.

## **Общая характеристика работы**

Диссертация в полной мере соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. Соблюдены основные принципы соответствия: соответствие темы диссертации паспорту научной специальности; соответствие целей и задач; соответствие автореферата и диссертации; соответствие содержания диссертации содержанию опубликованных работ.

Личный вклад автора заключается в совместной постановке задач, разработке методов исследования, интерпретации результатов и формулировка всех основных положений, выводов и рекомендаций, разработка программного обеспечения.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 18 научных трудах, из них 8 из перечня ВАК, 1 в журнале из базы Scopus и 1 в журнале из базы Web of Science.

Прилагаемые к диссертации документы (свидетельство о регистрации ЭВМ, акт о внедрении) свидетельствуют о практической полезности результатов диссертационного исследования.

### **Замечания и вопросы по диссертации**

1. В работе содержится ряд небрежностей при оформлении текста. На странице 11 обрывается предложение: «Область прикладной математики, которая занимается анализом процессов в системах массового обслуживания (СМО), которые обладают». На странице 22 предложения не согласованы: «Клиенту разрешается отказаться, если его услуга не будет оказана немедленно по прибытии, и ему разрешается присоединиться к орбите для повторения своей услуги. Вместо этого, если сервер свободен, обслуживание клиента запускается немедленно». На странице 24 упоминается неизвестное определение «iid»: «В режиме ограничения с использованием  $p=1$  и прибытиями iid границы распределения размеров очереди нечувствительны к распределению прибытий».

2. В самой нижней формуле на странице 41 пропущен множитель  $s$  в промежуточной выкладке у второго выражения внутри  $[\ ]$  скобок.

3. В четвертой формуле на странице 50 опечатка: во втором разложении один из знаменателей содержит сумму, а потом он же в третьем разложении содержит разность.

4. В последней формуле первого абзаца на странице 81 первое слагаемое должно иметь степень 2, а не коэффициент 2.

5. В работе упоминается, что изложенные результаты справедливы только для одинаковых параметров сдвига для распределения интервалов между поступлениями требований и времени обслуживания систем и полученные результаты актуальны для теории телетрафика для моделирования систем передачи данных различного назначения. При этом на практике задержки никогда не бывают константами и могут варьироваться в различных пределах в силу разных причин.

### **Заключение**

Диссертационная работа Ахметшиной Элеоноры Газинуровны на тему «Методы математического моделирования процессов передачи данных как

системы массового обслуживания с учетом временных сдвигов» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение принципиально новой научно-технической задачи, заключающейся в разработке и исследовании математических моделей массового обслуживания со сдвинутыми законами распределений, расширяющих возможности классических систем массового обслуживания.

Диссертационная работа «Методы математического моделирования процессов передачи данных как системы массового обслуживания с учетом временных сдвигов» полностью отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует паспорту научной специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (математическое моделирование в работе представлено в виде моделей массового обслуживания, численные методы представлены методами решения систем нелинейных уравнений и методами определения корней полиномов в числителе спектральных разложений в среде Mathcad, также представлен комплекс программ расчета основной характеристики СМО в среде Mathcad), а ее автор, Ахметшина Элеонора Газинуровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки).

Официальный оппонент:

*Лёжине И.А.*

14.11.2022

Подпись Лёжине И.А. удостоверяю.  
Начальник отдела сопровождения деятельности  
Ученых советов Самарского университета  
*И.П. Васильева*  
Васильева И.П.  
20.11.22 г.



с отрывом ознакомилась Ахметшина Э.Г. / Ахметшина Э.Г.  
16.11.2022