

## ОТЗЫВ

официального оппонента Лёзина Ильи Александровича на диссертационную работу Липилиной Людмилы Владимировны на тему «Математические модели и методы анализа немарковских сетей массового обслуживания на основе гиперэкспоненциальных распределений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

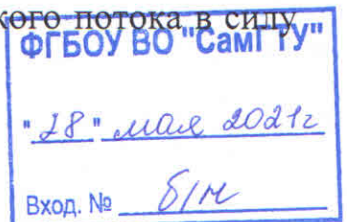
### Актуальность темы

Диссертационная работа Липилиной Л.В. посвящена исследованию немарковских сетей массового обслуживания. В условиях бурного развития информационных технологий на первое место выносятся вопросы оценки производительности сети. Возможность интеграции сервисов и повышения качества их предоставления в сети опирается на ее производительность. Однако методам оценки параметров производительности сетей уделяется недостаточное внимание.

В современной научной литературе довольно редко встречаются задачи анализа производительности сетей и, видимо, это связано с отсутствием единой методики для их анализа. Результаты современной теории массового обслуживания ограничены моделями M/D/1, M/M/1, M/M/M, M/G/1.

Реальные же трафики в современных компьютерных и телекоммуникационных сетях адекватно не могут быть описаны в рамках указанных моделей, в частности из-за не пуассоновских входных потоков. Для этого необходимо использовать СМО типа G/G/1 G/G/m, для расчета характеристик которых аналитические результаты в конечной форме для практического применения не известны. Поэтому тему диссертации, посвященной разработке новых СМО для описания немарковских сетей массового обслуживания и расчета их характеристик, можно считать актуальной.

**В первой главе** описана востребованность СМО и сетей МО при моделировании процессов функционирования телекоммуникационных и компьютерных сетей, транспорта, сферы обслуживания населения и др. Как пример отмечена особенность трафика в современных сетях, который можно рассматривать как неоднородный и отличающийся от пуассоновского потока, в силу





его сильной вариативности и использования в нем разнообразных сетевых приложений.

**Вторая глава** посвящена математическим моделям узла сети массового обслуживания в случае, когда коэффициенты вариаций временных интервалов поступления  $c_\lambda$  и времени обслуживания  $c_\mu$  больше или равны 1.

**Третья глава** посвящена математической модели узла сети МО в случае, когда коэффициенты вариаций временных интервалов: интервалов поступления  $c_\lambda$  и времени обслуживания  $c_\mu$  меньше 1. В качестве одной математической модели таких систем предлагается система массового обслуживания с запаздыванием.

В третьей главе, после рассмотрения математических моделей узлов сети МО, дается описание разработанного программного обеспечения расчета характеристик рассмотренных в работе СМО.

**Четвертая глава** посвящена исследованию математической модели потоков сети массового обслуживания на основе уравнений баланса потоков.

**Пятая глава** посвящена оценке адекватности разработанных моделей расчета сетей массового обслуживания применительно к реальным локальным вычислительным сетям.

### Научная новизна

1. Впервые предложена СМО  $H_2/H_2/1$  с гиперэкспоненциальными входными распределениями в качестве математической модели узла сети МО для описания ее функционирования, позволяющая в отличие от классической СМО  $M/M/1$  учитывать коэффициенты вариаций временных интервалов, большие единицы;
2. Впервые предложена новая СМО с запаздыванием во времени  $M^-/M^-/1$  со сдвинутыми экспоненциальными входными распределениями в качестве математической модели узла сети МО для описания его функционирования и позволяющая в отличие от классической СМО  $M/M/1$  учитывать коэффициенты вариаций временных интервалов, меньшие единицы;
3. Предложена система уравнений баланса потоков с использованием нескольких первых моментов распределений временных интервалов потоков для расчета характеристик немарковской сети МО, в которой в качестве узлов выступают предложенные СМО, позволяющая в отличие от марковской сети учитывать широкий диапазон изменения пара-

метров потоков, а также обеспечивающая относительную погрешность не более 5-6% (05.13.18, пункт 2);

4. Разработано программное обеспечение, с использованием которого проведены экспериментальные исследования сети МО как модели реальной компьютерной сети, результаты которых отличаются от результатов марковских сетей МО (05.13.18, пункт 2).

### **Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики**

Теоретическая и практическая значимость результатов состоит в том, что в диссертации получены численные и аналитические методы анализа немарковских сетей массового обслуживания, которые наиболее приближенно описывают реальные компьютерные сети.

Использование предложенных моделей массового обслуживания  $H_2/H_2/1$  и  $M^- / M^- / 1$  для оценки показателей производительности узлов сетей МО позволяет учитывать особенности потоков, когда коэффициенты вариаций интервалов между требованиями входящего потока и времени их обслуживания могут быть как меньше, так и больше единицы.

### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Разработанные методы и модели реализованы в виде программного комплекса «Программный комплекс расчета характеристик систем массового обслуживания типа  $H_2/H_2/1$ ,  $H_2/M/1$  и  $M/M/1$  с запаздыванием во времени» и позволяют использовать его в проектных организациях, специализирующихся в сетевых технологиях для оптимизации как структуры, так и показателей производительности телекоммуникационных и компьютерных сетей.

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

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается совпадением результатов экспериментов в частном случае с данными марковских (экспоненциальных) сетей, согласованностью результатов вычислительных экспериментов с квадратичной зависимостью среднего времени ожидания от коэффициентов вариаций временных интервалов, что соответствует теории СМО  $G/G/1$ .



## 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.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 20 научных трудах, из которых 7 работ, опубликованы в журналах из перечня ВАК; 1 работа – в журнале, индексируемом Web of Science.

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

## Замечания и вопросы по диссертации

1. Страница 18: опечатка, отсутствие знаков пунктуации.
2. Страница 34: после формулы 2.7 идёт расчёт значения второй производной в точке. В идущей вслед за этим формуле имеется опечатка, вместо расчёта значения присваивается выражение самой второй производной, которое затем приравнивается к значению этого выражения в точке  $s=0$ .
3. Для аппроксимации потоков в случае, когда коэффициент вариации интервала потока больше 1, используется гиперэкспоненциальный закон распределения. При этом нет уверенности, что данный закон подходит для неограниченного ряда случаев.
4. Страница 36: на рисунке 2.2 приведена таблица с расчетами оценок моментов и коэффициентов по выборке, при этом названия параметров отличаются: "начальный момент 1-го порядка" вместо "выборочное среднее", "дисперсия" вместо "выборочная дисперсия".
5. Страница 44 и 45: значения коэффициенты вариации и симметрии заданы для примера как 4 и 7, но нет обоснования выбора именно этих значений, хотя можно было воспользоваться значениями из таблицы на рисунке 2.2.
6. Страница 56: выражения преобразования Лапласа для функции распределения времени ожидания и функции плотности не отличаются.
7. В главе 5 проведено сравнение моделирования с результатами моделирования внешним программным обеспечением Riverbed Modeler IT GURU, но отсутствует сравнение с реальным трафиком.

## Заключение

Диссертационная работа Липилиной Людмилы Владимировны «Математические модели и методы анализа немарковских сетей массового обслуживания на основе гиперэкспоненциальных распределений» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение крупной научной проблемы в области математического моделирования – проблемы описания немарковских сетей массового обслуживания.

Диссертационная работа «Математические модели и методы анализа немарковских сетей массового обслуживания на основе гиперэкспоненциальных распределений» 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 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (по пунктам: 1) «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»; 2) «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей»), а ее автор, Липилина Людмила Владимировна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки).

Официальный оппонент:

Лёзин И.А.

24.05.2021



Подпись <u>Лёзин И.А.</u> удостоверяю.
Начальник отдела сопровождения деятельности ученых советов Самарского университета
<u>И.П. Васильева</u> Васильева И.П.
<u>24 мая</u> 20 <u>21</u> г.

С ответом ознакомлена 28.05.2021 г. Липилина Л.В.