

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертацию  
Осипова Олега Александровича «Сети массового обслуживания  
произвольной топологии с делением и слиянием требований»,  
представленную к защите на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ**

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗБРАННОЙ ТЕМЫ**

Теория и методы анализа сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований интенсивно развиваются в последние годы в связи с необходимостью использования данного класса сетей в качестве математических моделей реальных систем с параллельным и распределенным принципами функционирования, в качестве которых можно отметить GRID-системы, многопроцессорные системы, распределённые базы данных, компьютерные сети.

Во многих научных работах в этом направлении рассматриваются частные случаи топологии сетей обслуживания, а именно сети, состоящие из параллельных систем массового обслуживания. Для экспоненциальной сети, состоящей из двух параллельных одно-приборных систем обслуживания, был найден вид производящей функции стационарного распределения вероятностей состояний и математическое ожидание длительности пребывания требований в сети обслуживания. В случае сетей с большим числом параллельных обслуживающих систем предлагаются приближенные методы.

Диссертационная работа О. А. Осипова посвящена разработке методов анализа открытых сетей массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований. Поступающее в такую сеть обслуживания требование может многократно делиться на фрагменты, которые обслуживаются независимо друг от друга, переходят по системам сети обслуживания. Требование будет считаться выполненным только после того, как будет завершено обслуживание всех его фрагментов. После этого фрагменты объединяются в исходное обслуженное требование, которое покидает сеть обслуживания.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во *введении* описана общая постановка задач исследования, его актуальность.

*Первая глава* посвящена обзору известных результатов по теории сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований. Представлены приближённые и точные методы анализа сетей обслуживания.

Во *второй главе* описаны сети обслуживания с делением и слиянием требований произвольной топологии. Рассматривается открытая сеть обслуживания с пуассоновским входящим потоком. Для обеспечения функций деления и слияния фрагментов автором определяются следующие типы систем обслуживания: бесконечно-приборные базовые системы, дивайдеры (выполняют деление фрагментов), интеграторы (осуществляют объединение фрагментов). Предполагается, что длительность обслуживания фрагментов приборами базовой системы есть случайная величина с экспоненциальным распределением. С использованием матриц передач определяется маршрутизация фрагментов в сети обслуживания.

Доказано, что длительность пребывания требований в сети обслуживания имеет фазовое распределение, найдены его параметры.

Предложен метод нахождения стационарного распределения вероятностей состояний для сети обслуживания только с одним дивайдером и интегратором.

*Третья глава* посвящена сетям обслуживания, в которых интенсивности обслуживания фрагментов приборами базовых систем зависят от интенсивности поступающего потока. Указано, для анализа такой сети могут быть использованы методы, полученные автором в предыдущей главе. Применяя результаты имитационного моделирования, показано, что сети обслуживания, зависящие от нагрузки, могут быть использованы для приближённого анализа аналогичных сетей с делением и слиянием требований, в которых все базовые системы одно-приборные.

Рассмотрена задача минимизации длительности пребывания требований в сети обслуживания. Предполагается, что каждый фрагмент требования имеет вес, интенсивность обслуживания фрагмента прибором базовой системы зависит от веса. Решается задача оптимального распределения весов фрагментов. Приведён пример модели сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией в виде сети с делением и слиянием требований.

В *четвертой главе* описаны структура и функционал комплекса численного и имитационного моделирования сетей обслуживания с делением и слиянием требований. Рассмотрено несколько примеров, демонстрирующих работу комплекса.

*Заключение* резюмирует результаты, полученные в диссертационной работе, предложены возможные направления дальнейших исследований.

## НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В диссертационной работе изложены следующие новые результаты: впервые рассмотрен класс открытых сетей массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований; получен вид функции распределения для длительности времени пребывания требований в сети

обслуживания, а также алгоритм определения параметров этого распределения; разработан метод нахождения стационарного распределения вероятностей числа фрагментов в базовых системах сети обслуживания для случая элементарной сети; разработан метод аппроксимации для сетей обслуживания с одноприборными базовыми системами; рассмотрена задача оптимизации связанная с распределением субпотоков в модели сети передачи данных с протоколом многопутевой маршрутизации.

Диссертационная работа носит теоретический характер, полученные в ней результаты могут послужить основой для дальнейшего развития теории и методов анализа сетей массового обслуживания.

Практическая значимость определяется тем, что рассматриваемые в диссертационной работе модели могут использоваться для решения задач анализа, оптимизации и синтеза реальных систем с параллельным и распределённым принципами функционирования.

### ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечивается корректным использованием математического аппарата теории вероятностей, теории случайных процессов, теории сетей массового обслуживания, использованием методов имитационного моделирования систем и сетей массового обслуживания.

Результаты апробированы на международных и всероссийских научных конференциях.

### ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

1. Поскольку у заявки нет задержек в узлах сети, рассмотренной в главе 2, то удобно выписать случайную величину суммарного времени обслуживания заявки и рассмотреть сеть как систему массового обслуживания типа  $M|G|\infty$ . Это позволяет воспользоваться известными результатами вычисления пуассоновского распределения стационарного числа заявок в сети (см. параграф 31 монографии А.А. Боровкова «Вероятностные процессы в теории массового обслуживания», Москва: Наука, 1971).

2. В гл. 2 случайное время пребывания заявки можно представить суперпозицией операций суммирования и максимизации случайных величин. Построение таких формул удобно было бы проводить, например, для рекурсивно определяемых сетей обслуживания. Мне представляется, что модели рекурсивно определяемых сетей более конструктивны, чем предложенное автором описание правил, которым сети должны подчиняться. Приходится отметить также несколько нечеткий стиль изложения материала, когда, например, вводятся матрицы  $A$  и др. без описания их свойств.

3. В гл. 2 при доказательстве того, что свертка двух фазовых распределений также является фазовым распределением, хотелось бы увидеть оценку вычислительной сложности определения параметров свертки.

4. В третьей главе рассматриваются сети с конечным числом приборов в узлах. Учитывая, что во второй главе исследуются сети с бесконечным числом приборов в узлах, в данной главе естественно было бы рассмотреть сети с числом приборов в узлах, пропорциональным интенсивности входного потока, которая устремляется к бесконечности. Тогда можно было бы воспользоваться результатами главы II монографии Боровкова А. А. «Асимптотические методы в теории массового обслуживания» (Москва: Наука, 1980). И как следствие можно получить эффект устремления к нулю среднего стационарного числа заявок в очереди.

5. В четвертой главе обращает на себя внимание следующий факт. Пусть у нас имеется сеть с единственным узлом, бесконечным числом каналов, делением заявок, например, на две части и их слиянием после обслуживания. Тогда вследствие случайных факторов фрагменты заявок могут выходить после обслуживания в порядке, не соответствующем их поступлению, что приводит к дополнительному простоям фрагментов в ожидании своей «половинки».

Значит, возможны две стратегии: каждый фрагмент дожидается своей «половинки» и соединяется только с ней или фрагменты соединяются по мере их выхода с обслуживания. При более детальном анализе сети это обстоятельство следовало бы отметить. Мне кажется, здесь возможны достаточно серьезные изменения показателей эффективности сети массового обслуживания. Результаты вычислительного эксперимента в этой части были бы полезными.

6. В качестве недостатка работы можно отметить, что в главе 3 вне рамок диссертационного исследования остался вопрос об аналитической оценке точности для предложенного приближенного метода анализа сетей обслуживания с одно-приборными базовыми системами.

Указанные замечания не являются существенными и не могут повлиять на общую положительную оценку диссертации О.А. Осипова.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа «Сети массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, ее основные положения, полученные результаты и выводы обоснованы и соответствуют необходимым критериям актуальности, новизны, теоретической и практической значимости.

Считаю, что диссертационная работа О. А. Осипова удовлетворяет всем требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней»,

утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертационным работам, а ее автор Осипов Олег Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент  
 заведующий лабораторией вероятностных  
 методов и системного анализа Федерального  
 государственного бюджетного учреждения  
 науки Института прикладной математики  
 Дальневосточного отделения  
 Российской академии наук,  
 (690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7;  
 +7 (423) 231-33-30; admin@iam.dvo.ru;  
 http://www.iam.dvo.ru),  
 доктор физико-математических наук (05.13.01  
 – Системный анализ, управление  
 и обработка информации),  
 профессор

*Цициашвили*

Гурами Шалвович Цициашвили

29 апреля 2019 г.

Подпись Г. Ш. Цициашвили удостоверяю

Ученый секретарь ИПМ ДВО РАН,  
 кандидат физико-математических наук



*В. А. Святуха*

В. А. Святуха