

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.08, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 13 июня 2019 года публичной защиты диссертации Осипова Олега Александровича «Сети массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Присутствовали 15 из 21 членов диссертационного совета, из них 5 докторов наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки):

1. Поддубный В. В., председатель диссертационного совета, доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки);

2. Сущенко С. П., заместитель председателя диссертационного совета, доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки);

3. Скворцов А. В., учёный секретарь диссертационного совета, доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки);

4. Бубенчиков А. М., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18 (физико-математические науки);

5. Воробейчиков С. Э., доктор физико-математических наук, доцент, 05.13.18 (физико-математические науки);

6. Горцев А. М., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки);

7. Дмитриев Ю. Г., доктор физико-математических наук, доцент, 05.13.18 (физико-математические науки);

8. Костюк Ю. Л., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки);

9. Лившиц К. И., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки);

10. Матросова А. Ю., доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки);

11. Моисеев А. Н., доктор физико-математических наук, 05.13.18 (физико-математические науки);

12. Нагорский П. М., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18 (физико-математические науки);

13. Назаров А. А., доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки);

14. Смагин В. И., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки);

15. Тарасенко В. Ф., доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки).

**Заседание провёл председатель диссертационного совета доктор технических наук, профессор Поддубный Василий Васильевич.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение учёной степени – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить О. А. Осипову учёную степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.08,  
созданного на базе федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,  
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_**

решение диссертационного совета 13.06.2019 № 199

О присуждении **Осипову Олегу Александровичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Сети массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований»** по специальности **05.13.18** – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 04.04.2019 (протокол заседания № 197) диссертационным советом Д 212.267.08, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Осипов Олег Александрович**, 1993 года рождения.

В 2018 году соискатель очно окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» с выдачей диплома об окончании аспирантуры.

Работает в должности ассистента кафедры системного анализа и автоматического управления в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре системного анализа и автоматического управления федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, **Тананко Игорь Евстафьевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», кафедра системного анализа и автоматического управления, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

**Войтишек Антон Вацлавович**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория стохастических задач, ведущий научный сотрудник

**Цициашвили Гурами Шалвович**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук, лаборатория вероятностных методов и системного анализа, заведующий лабораторией

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Российский университет дружбы народов**», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном **Гайдамака Юлией Васильевной** (доктор физико-математических наук, доцент, кафедра прикладной информатики и теории вероятностей, профессор), **Севастьяновым Леонидом Антоновичем** (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра прикладной информатики и теории вероятностей, профессор) и **Воскресенским Леонидом Геннадьевичем** (доктор химических наук, профессор, факультет физико-математических и естественных наук, декан), указала, что в настоящее время информационные системы с параллельной и распределённой

обработкой данных получают всё большее распространение. Структурная и функциональная специфика систем такого класса требует разработки новых эффективных моделей и методов для использования при решении задач анализа, синтеза и оптимизации. Таким образом, тема диссертационного исследования О. А. Осипова, посвященного стохастическим моделям систем с распределённым и параллельным принципами функционирования, а именно сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований (fork-join queueing networks), является актуальной. Рассматриваемые им сети имеют произвольную топологию, что является важным отличием от известных в настоящее время результатов, которые в своём большинстве посвящены только случаю топологии параллельных систем обслуживания. О. А. Осиповым предложены математические модели сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований, позволяющие учитывать произвольную топологию, многократное деление и объединение фрагментов, зависимость маршрутизации от типа фрагментов, а также наличие сложных взаимосвязей между фрагментами одного требования, что позволяет повысить адекватность представления реальных систем с параллельным и распределённым принципами функционирования; показано, что длительность пребывания требований в сети массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований в случае бесконечноприборных базовых систем имеет фазовое распределение; получена форма стационарного распределения вероятностей состояний элементарной сети обслуживания с бесконечноприборными базовыми системами; для сетей обслуживания с одноприборными базовыми системами предложен подход для приближенного нахождения стационарных характеристик; проведено исследование точности получаемых характеристик посредством разработанного комплекса программ имитационного и численного анализа сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований. Результаты исследования могут быть использованы для анализа и расчета характеристик стохастических систем с параллельным и распределённым принципами функционирования (GRID-системы, многопроцессорные системы, распределённые базы данных, компьютерные сети). Разработанный автором комплекс

проблемно-ориентированных программ и алгоритмов моделирования процессов массового обслуживания может использоваться для выполнения расчетов соответствующих характеристик реальных технических систем.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы (из них 1 статья в российском научном журнале, входящем в Web of Science), в сборниках материалов международной научной конференции, международного научного форума (электронный сборник), всероссийских конференций и симпозиума опубликовано 5 работ; свидетельство о регистрации программы для ЭВМ получено – 1. Общий объем публикаций – 3,33 а.л., авторский вклад – 2,53 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук:

1. **Осипов О. А.** Система обслуживания с делением и слиянием требований, в которой требование занимает все свободные обслуживающие приборы / О. А. Осипов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика. Информатика. Физика. – 2018. – Т. 26, № 1. – С. 28–38. – DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-1-28-38. – 0,75 а.л.

2. **Осипов О. А.** Анализ RQ-сети массового обслуживания с делением и слиянием требований / О. А. Осипов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 43. – С. 49–55. – DOI: 10.17223/19988605/43/6. – 0,72 а.л.

*Web of Science:* **Osipov O. A.** Analysis of fork / join queueing networks with retrials / O. A. Osipov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie vychislitel'naja tehnik i informatika – Tomsk state university journal of control and computer science. – 2018. – № 43. – P. 49–55.

3. **Осипов О. А.** Сети массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований: случай бесконечноприборных систем обслуживания / О. А. Осипов, И. Е. Тананко // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика. – 2017. – № 4. – С. 43–58. – DOI: 10.26456/vtpmk188. – 1,18 / 0,59 а.л.

*Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:*

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662807. Анализ сетей массового обслуживания с разделением и слиянием требований и управлением потоками / **Осипов О. А.** (RU); правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (RU). Заявка № 2014662807; дата поступления – 15.10.2014; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ – 09.12.2014.

На автореферат поступило 5 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **М. Пагано**, профессор факультета информационной инженерии Университета г. Пизы, Италия, *с замечанием:* в применении СеМО с делением и слиянием требований для моделирования сетей передачи данных с многопутевой маршрутизацией на примере протокола МРТСР не обсуждается влияние механизмов управления перегрузкой на потоки между пользователями; по отношению к значениям расстояния Колмогорова в таблице 1 стоит исследовать область применимости предложенной аппроксимации. 2. **Е. В. Панкратова**, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, *с замечаниями:* отсутствуют выводы в конце каждой главы диссертационной работы, наличие которых способствовало бы более законченному и систематизированному восприятию изложенного материала; недостаточно ясна интерпретация численных экспериментов, а именно: не обосновано использование расстояния Колмогорова в качестве меры оценки близости распределений; не определено допустимое значение погрешности; в приведенных таблицах виден нелинейный характер

изменения расстояния Колмогорова в зависимости от изменения интенсивности входящего потока, однако этому не дана авторская оценка. 3. **Т. В. Быкова**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Прикладная математика и системный анализ» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., *с замечанием*: исходя из выражений, приведенных в теореме 1, следует, что задача вычисления параметров фазового распределения будет иметь достаточно большую вычислительную сложность, однако, в автореферате об этом не указано.

4. **Д. В. Кондратов**, д-р физ.-мат. наук, доц., заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий в управлении Поволжского института управления имени П.А. Столыпина – филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Саратов, *с замечаниями*: было бы интересно увидеть сравнение результатов, полученных с использованием модели в виде сети массового обслуживания, с реальными характеристиками сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией; в автореферате не поясняются результаты, приведенные в таблице 1 для расстояния Колмогорова.

5. **В. Н. Задорожный**, д-р техн. наук, доц., профессор кафедры «Математические методы и информационные технологии в экономике» Омского государственного технического университета, *с замечаниями*: на с. 13 выражением 6 вводится обозначение для множества смежных базовых систем (в которые фрагменты переходят непосредственно с выхода дивайдера), а далее при описании элементарной сети это обозначение модифицируется без пояснения связи нового обозначения с первоначально введенным; в описании выполненных имитационных экспериментов (с. 21) хотелось бы видеть данные о том, насколько широкий круг экспериментов (и с сетями каких размеров) послужил основанием для вывода о небольших погрешностях проверяемого приближения.

В отзывах указывается, что актуальность темы исследования обусловлена тем, что реальным системам (многопроцессорные системы, GRID-системы, распределённые базы данных, сети передачи данных) в большинстве случаев свойственна сложная структура, а процесс выполнения задач в них может включать



несколько этапов обработки, а также многократное деление и объединение получаемых при этом подзадач. На сегодняшний день аналитические результаты по исследованию сетей с делением и слиянием требований известны лишь для классических моделей сетей параллельного обслуживания. О. А. Осиповым предложены математические модели СеМО с делением и слиянием требований, позволяющие учитывать произвольную топологию, многократное деление и объединение фрагментов и зависимость маршрутизации от типа фрагментов; доказано, что длительность пребывания требований в случае бесконечноприборных базовых систем имеет фазовое распределение, для нахождения стационарного распределения вероятностей предложено использовать специальную сеть размещений, которая является сетью Джексона; для сети, состоящей из одноприборных систем, предложен подход для приближенного нахождения стационарных характеристик, который позволяет использовать ранее полученные автором результаты для бесконечноприборных систем. Рассмотренные в диссертации модели позволяют учитывать произвольную топологию, многократное деление и объединение фрагментов, зависимость маршрутизации от типа фрагментов, а также наличие сложных взаимосвязей между фрагментами одного требования, что позволяет повысить адекватность представления реальных систем с параллельным и распределённым принципами функционирования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **А. В. Войтишек** является высококвалифицированным специалистом в области теории вероятностей и методов Монте-Карло; **Г. Ш. Цициашвили** является высококвалифицированным специалистом в области теории сетей массового обслуживания; на базе **Российского университета дружбы народов** создана научная школа по теории массового обслуживания и математической теории телетрафика.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие новые научные результаты:**

*предложены* математические модели сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований, позволяющие учитывать произвольную топологию, многократное деление и объединение фрагментов, зависимость

маршрутизации от типа фрагментов, а также наличие сложных взаимосвязей между фрагментами одного требования, что позволяет повысить адекватность представления реальных систем с параллельным и распределённым принципами функционирования;

*доказано*, что длительность пребывания требований в сети массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований в случае бесконечноприборных базовых систем имеет фазовое распределение. Разработаны алгоритмы, позволяющие найти численные значения параметров фазового распределения длительности пребывания требований в сети обслуживания;

*получена* форма стационарного распределения вероятностей состояний элементарной сети обслуживания с бесконечноприборными базовыми системами. Для определения стационарного распределения предложено использовать специальную сеть размещений;

*разработан* алгоритм построения сети размещений для элементарной сети обслуживания. Показано, что сеть размещений является сетью Джексона. Найдена связь между стационарными распределениями исходной сети с делением и слиянием требований и соответствующей сети размещений;

*предложен* подход для приближенного анализа сети обслуживания с одноприборными базовыми системами. Проведено исследование точности получаемых характеристик посредством разработанного комплекса программ имитационного и численного анализа сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

*изложены* модели, существенно расширяющие круг задач, решаемых в теории массового обслуживания, поскольку они позволяют рассмотреть особенности структуры и функционирования сетей обслуживания, возникающие в случае произвольной топологии сетей и связанные прежде всего с усложнением применяемых методов маршрутизации фрагментов, возможностью многократного деления и объединения фрагментов, а также наличием зависимостей между фрагментами одного требования;

*получен* вид функции распределения длительности пребывания требований в сети обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований. Указанная характеристика сети обслуживания является ключевым показателем качества обслуживания для реальных систем, моделируемых посредством моделей теории массового обслуживания;

*найден* стационарное распределение вероятностей состояний элементарной сети обслуживания с бесконечноприборными базовыми системами путём построения соответствующей сети размещений;

*показано*, что сеть размещений является сетью Джексона, что существенно уменьшает вычислительную сложность нахождения стационарного распределения.

**Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что:**

*предложена* математическая модель сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией в виде сети массового обслуживания с делением и слиянием требований произвольной топологии;

*разработан* программный комплекс имитационного моделирования и численного анализа, позволяющий получать оценки для стационарных характеристик сети обслуживания, а также получать соответствующие эмпирические распределения, построенные на основе результатов имитационного моделирования.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.**

Предложенные математические модели могут быть применены для решения задач проектирования сети передачи данных с заданной пропускной способностью, расчёта характеристик производительности GRID-системы и оптимизации её архитектуры, нахождения условий для обеспечения заданного уровня качества обслуживания пользователей распределённой базы данных.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

Достоверность полученных точных результатов обеспечивается корректными доказательствами всех приведённых в работе утверждений. Достоверность приближённых методов подтверждают результаты имитационного моделирования.

**Личный вклад соискателя состоит в:** совместной с научным руководителем постановке цели и задач исследования; самостоятельном исследовании рассматриваемых моделей, получении аналитических результатов для них, разработке программ численного и имитационного моделирования; формулировке выводов по проделанной работе; подготовке публикаций и апробации результатов работы.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней для диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, заключающейся в исследовании математических моделей сетей массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований и имеющей значение для развития теории массового обслуживания.

На заседании 13.06.2019 диссертационный совет принял решение присудить **Осипову О. А.** учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки), из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета



Учёный секретарь  
диссертационного совета

Василий Васильевич Поддубный

Алексей Владимирович Скворцов

13.06.2019