

## **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 17 ноября 2016 года публичной защиты диссертации Панкратовой Екатерины Владимировны «Исследование математических моделей неоднородных бесконечнолинейных СМО» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

На заседании присутствовали 19 из 21 утверждённых членов диссертационного совета, в том числе 5 докторов физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

1. Поддубный В.В., доктор технических наук, профессор, 05.13.18, председатель диссертационного совета
2. Сущенко С.П., доктор технических наук, профессор, 05.13.11, заместитель председателя диссертационного совета
3. Скворцов А.В., доктор технических наук, профессор, 05.13.11, ученый секретарь диссертационного совета
4. Воробейчиков С.Э., доктор физико-математических наук, доцент, 05.13.18
5. Горцев А.М., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
6. Горчаков Л.В., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18
7. Дмитриев Ю.Г., доктор физико-математических наук, доцент, 05.13.18
8. Домбровский В.В., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
9. Замятин А.В., доктор технических наук, доцент, 05.13.11
10. Кистенев Ю.В., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18
11. Костюк Ю.Л., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
12. Кошкин Г.М., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18
13. Лившиц К.И., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
14. Матросова А.Ю., доктор технических наук, профессор, 05.13.11
15. Нагорский П.М., доктор физико-математических наук, ст. науч. сотр., 05.13.18
16. Назаров А.А., доктор технических наук, профессор, 05.13.11
17. Смагин В.И., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
18. Тарасенко В.Ф., доктор технических наук, профессор, 05.13.11
19. Янковская А.Е., доктор технических наук, профессор, 05.13.18

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

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Е.В. Панкратовой учёную степень кандидата физико-математических наук.

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

решение диссертационного совета от 17.11.2016 г., № 171

О присуждении **Панкратовой Екатерине Владимировне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Исследование математических моделей неоднородных бесконечнолинейных СМО»** по специальности **05.13.18** – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 09.09.2016 г., протокол № 166, диссертационным советом Д 212.267.08 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012 г.).

Соискатель **Панкратова Екатерина Владимировна**, 1986 года рождения.

В 2009 году соискатель окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет».

В 2016 году соискатель очно окончила аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории математического моделирования отделения компьютерных наук Сибирского физико-технического института имени академика В.Д. Кузнецова в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре теории вероятностей и математической статистики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Моисеева Светлана Петровна**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра теории вероятностей и математической статистики, профессор.

Официальные оппоненты:

**Фархадов Маис Паша оглы**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, лаборатория автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов, заведующий лабораторией,

**Семенова Дарья Владиславовна**, кандидат физико-математических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра высшей математики № 1 (на момент назначения официальным оппонентом – базовая кафедра вычислительных и информационных технологий), доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Российский университет дружбы народов**», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном **Гайдамака Юлией Васильевной** (кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра прикладной информатики и теории вероятностей, доцент), **Севастьяновым Леонидом Антоновичем** (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра прикладной информатики и теории вероятностей, профессор), **Воскресенским Леонидом Геннадьевичем** (доктор химических наук, профессор, факультет физико-математических и естественных наук, декан), указала, что в современной научной литературе исследования неоднородных немарковских

систем массового обслуживания с непуассоновскими входящими потоками и неэкспоненциальным обслуживанием представлены лишь отдельными работами и являются актуальной научной проблемой. Диссертация содержит новые научные результаты в области разработки методов исследования неоднородных бесконечнолинейных моделей массового обслуживания, а именно: автором предложены математические модели неоднородных бесконечнолинейных СМО с различными типами обслуживающих приборов, для их исследования предложено новое асимптотическое условие эквивалентного роста времени обслуживания на приборах различного типа, впервые показано, что при условии предельно редких изменений состояний управляющей МАР-потокот цепи Маркова асимптотическая характеристическая функция числа занятых приборов в неоднородной бесконечнолинейной СМО имеет вид взвешенной суммы пуассоновских распределений, предложена модификация метода просеянного потока для исследования немарковских неоднородных СМО. Гетерогенные СМО могут быть использованы в качестве математических моделей работы реальных информационных систем и сетей связи, например, гибридного канала, компоненты которого имеют разные характеристики производительности и надежности в работе в зависимости от воздействия внешних факторов и требований конечных пользователей. Разработанный комплекс проблемно-ориентированных программ имитационного моделирования и численного анализа распределений для оценки области применимости полученных асимптотических результатов позволяет решать ряд практически значимых задач при проектировании реальных телекоммуникационных систем.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 16 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 2, свидетельств о регистрации программных продуктов – 2, публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций – 12 (из них 3 публикации в сборниках материалов конференций, индексируемых Web of Science и Scopus). Общий объем публикаций – 6,5 п.л., авторский вклад – 3,86 п.л.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых

должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Убонова Е. Г. Гауссовская аппроксимация для системы массового обслуживания  $MPP/M/\infty$  с разнотипным обслуживанием / Е. Г. Убонова, **Е. В. Панкратова** // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 11/2. – С. 225–229. – 0,3 / 0,15 п.л.

2. Моисеева С. П. Исследование бесконечнолинейной системы массового обслуживания с разнотипным обслуживанием и входящим потоком марковского восстановления / С. П. Моисеева, **Е. В. Панкратова**, Е. Г. Убонова // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 2 (35). – С. 46–53. – 0,72 / 0,24 п.л.

Публикации в сборниках материалов конференций, индексируемых Web of Science и Scopus:

1. **Pankratova E.** Queueing System  $MMP|M/\infty$  with  $n$  Types of Customers / E. Pankratova, S. Moiseeva // Communications in Computer and Information Science. – 2014. – Vol. 487 : Information Technologies and Mathematical Modeling : Proceedings of the 13th International Scientific Conference, ITMM 2014, named after A.F. Terpugov. Anzhero-Sudzhensk, Russia, November 20–22, 2014. – P. 356–366. – 1,1 / 0,55 п.л. – DOI: 10.1007/978-3-319-13671-4\_41

2. **Pankratova E.** Queueing System with Renewal Arrival Process and Two Types of Customers / E. Pankratova, S. Moiseeva // 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT 2014) : Proceedings. St. Petersburg, October 06–08, 2014. – St. Petersburg, 2015. – P. 514–517. – 0,3 / 0,15 п.л. – DOI: 10.1109/ICUMT.2014.7002154

3. **Pankratova E.** Queueing System  $GI|GI/\infty$  with  $n$  Types of Customers / E. Pankratova, S. Moiseeva // Communications in Computer and Information Science. – 2015. – Vol. 564 : Information Technologies and Mathematical Modeling. Queueing Theory and Applications : Proceedings of the 14th International Scientific Conference, ITMM 2015, named after A.F. Terpugov. Anzhero-Sudzhensk, Russia, November 18–22, 2015. – P. 216–225. – 1 / 0,5 п.л. – DOI: 10.1007/978-3-319-25861-4\_19

На автореферат поступило 7 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **А.Н. Дудин**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий научно-исследовательской

лабораторией прикладного вероятностного анализа Белорусского государственного университета, г. Минск, *с замечаниями* редакционного характера. 2. **В.В. Рыков**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва, *с замечаниями* о некорректности применения некоторых понятий и выражений. 3. **А.В. Зорин**, канд. физ.-мат наук, доц., доцент кафедры программной инженерии, старший научный сотрудник Центра прикладной теории вероятностей на базе кафедры программной инженерии Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, *с замечаниями* о необходимости пояснения в автореферате, какие задачи управления или оптимизации потребуют знания совместного закона распределения для числа требований разных типов в системе и отсутствии ссылки на источник формулы. 4. **Т.В. Любина**, канд. физ.-мат. наук, начальник организационно-технического отдела филиала Кемеровского государственного университета в г. Анжеро-Судженске, *без замечаний*. 5. **М.Ю. Киселева**, канд. техн. наук, экономист 1 категории отдела бюджетного планирования и отчетности АО «Транснефть – Центральная Сибирь», г. Томск, *без замечаний*. 6. **М. Пагано**, профессор инженерного факультета Университета г. Пиза, Италия, *с замечанием* о необходимости более подробного описания применения исследованных моделей в действующих компьютерных сетях. 7. **В.И. Перминов**, д-р физ.-мат. наук, доц., профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Национального исследовательского Томского политехнического университета, *с замечанием* об отсутствии в автореферате описания комплекса программ имитационного моделирования и численного анализа.

В отзывах указано, что актуальность диссертационной работы Е.В. Панкратовой обусловлена постоянным ростом требований к эффективности устройств, применяемых в системах передачи и обработки информации, сокращению сроков исследования и разработки новых телекоммуникационных систем и сетей. Автором осуществлен комплексный анализ такой актуальной научной проблемы как исследование систем массового обслуживания с неоднородными обслуживаемыми приборами и непуассоновскими входящими

потоками разнотипных заявок, а именно, рекуррентным, МАР и ММРР потоками. Построены модели гетерогенных систем массового обслуживания, разработан метод многомерного динамического просеивания для асимптотического анализа таких моделей. Предложенные автором модели, методы и методики исследования систем существенно расширили класс бесконечнолинейных моделей, доступных эффективному анализу. Кроме того, рассматриваемые модели могут применяться для описания процессов в мультисервисных сетях связи и телекоммуникационных системах, а также различных социально-экономических процессов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **М.П.о. Фархадов** является известным российским ученым в области теории массового обслуживания; **Д.В. Семенова** является высококвалифицированным специалистом в области теории вероятностей и ее приложений; на кафедре прикладной информатики и теории вероятностей **Российского университета дружбы народов** работает научная школа по математическому моделированию и анализу телекоммуникационных систем и сетей.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*решена* задача анализа неоднородных бесконечнолинейных (гетерогенных) СМО с входящими МАР и рекуррентным потоками разнотипных заявок;

*предложено* новое асимптотическое условие эквивалентного роста времени обслуживания на приборах различного типа, применение которого для исследования систем типа  $МАР | M^{(n)} | \infty$  и  $GI | M^{(n)} | \infty$  позволило доказать, что распределение числа занятых приборов в них можно аппроксимировать многомерным гауссовским;

*доказано*, что при условии предельно редких изменений состояний управляющей МАР-поток цепи Маркова асимптотическая характеристическая функция числа занятых приборов в системе  $МАР | M^{(n)} | \infty$  имеет вид взвешенной суммы пуассоновских распределений;

*предложена* модификация метода просеянного потока, позволяющая выполнять анализ многомерных процессов в немарковских неоднородных СМО с входящими ММРР и GI потоками.

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

*Предложено* оригинальное асимптотическое условие эквивалентного роста времени обслуживания на приборах разного типа, что является развитием асимптотических методов для исследования неоднородных СМО вида  $MAR | M^{(n)} |_{\infty}$  и  $GI | M^{(n)} |_{\infty}$ ;

*получены* аналитические выражения для основных вероятностных характеристик числа занятых приборов каждого типа в системах с входящими MAR и рекуррентным потоками, и типами обслуживающих приборов и экспоненциальным временем обслуживания. Выявлены корреляционная связь между компонентами многомерного случайного вектора – числа занятых приборов каждого типа и факторы, влияющие на ее усиление;

*разработаны* модификации процедур метода просеянного потока и метода асимптотического анализа в условии эквивалентного роста времени обслуживания на приборах для анализа многомерных процессов в гетерогенных СМО вида  $MMPP | GI^{(n)} |_{\infty}$  и  $GI | GI^{(n)} |_{\infty}$ .

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

*разработан* программный комплекс имитационного моделирования и численного анализа, который позволяет выполнять расчет параметров вероятностных законов распределений для числа заявок в системе, получать соответствующие эмпирические распределения, построенные на основе результатов имитационного моделирования, производить расчет оптимального числа приборов систем.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Результаты работы могут быть использованы при проектировании процессов в мультисервисных сетях связи, телекоммуникационных системах, для моделирования работы гибридного канала, расчета его характеристик производительности и надежности в работе. Также актуальным представляется использование гетерогенных систем для математического моделирования многофункциональных социальных контакт-центров.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*корректность* выводов и доказательств теорем;



*согласованность* результатов, полученных для разных моделей между собой, с известными в теории массового обслуживания результатами, а также с результатами многочисленных экспериментов с применением имитационного моделирования и численного анализа;

*высокую* точность применяемого асимптотического метода для различных значений управляющих параметров рассматриваемых систем.

**Научная новизна результатов исследования заключается в том, что:**

*предложены* новые математические модели неоднородных (гетерогенных) бесконечнолинейных СМО с различными типами обслуживающих приборов, позволяющие учитывать неоднородность поступающих заявок, требующих различного времени обслуживания, что более адекватно описывает реальные информационные системы;

*получены* аналитические выражения для основных вероятностных характеристик числа занятых приборов каждого типа в системах  $MAR|M^{(n)}|\infty$  и  $GI|M^{(n)}|\infty$ , что позволило выявить корреляционную связь между компонентами многомерного случайного вектора – числа занятых приборов каждого типа и факторы, влияющие на ее усиление;

*предложено* новое асимптотическое условие эквивалентного роста времени обслуживания на приборах различного типа, применение которого для исследования систем типа  $MAR|M^{(n)}|\infty$  и  $GI|M^{(n)}|\infty$  позволило доказать, что распределение числа занятых приборов в них можно аппроксимировать многомерным гауссовским;

*показано*, что при условии предельно редких изменений состояний управляющей MAR-поток цепи Маркова асимптотическая характеристическая функция числа занятых приборов в системе  $MAR|M^{(n)}|\infty$  имеет вид взвешенной суммы пуассоновских распределений;

*предложена* модификация метода просеянного потока, позволяющая, в отличие от существующих подходов, выполнять анализ многомерных процессов в гетерогенных СМО вида  $MMPP|GI^{(n)}|\infty$  и  $GI|GI^{(n)}|\infty$ , что позволяет проблеме исследования немарковских СМО с разнотипным обслуживанием (с произвольными функциями распределения времени обслуживания) свести

к задаче анализа многомерного просеянного нестационарного потока, решение которой проводится методом асимптотического анализа в условии эквивалентного роста времени обслуживания на приборах.

**Личный вклад соискателя состоит в:** самостоятельном получении теоретических результатов: выводе всех формул, формулировке и доказательстве всех представленных в диссертации теорем; разработке комплекса проблемно-ориентированных программ и алгоритмов моделирования процессов массового обслуживания, проведении статистического и численного анализа полученных результатов; подготовке публикаций и личном участии в апробации работы.

Диссертация соответствует критериям, предусмотренным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи исследования математических моделей неоднородных бесконечнолинейных СМО с входящими непуассоновскими потоками заявок, имеющей значение для развития теории массового обслуживания.

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

На заседании 17.11.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить **Панкратовой Е.В.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 5 докторов физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель


диссертационного совета

Ученый секретарь

диссертационного совета

17ноября 2016 г.



 Поддубный Василий Васильевич

 Скворцов Алексей Владимирович