

## 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 Станкевич Елены Петровны «Математическое моделирование сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Присутствовали 14 из 21 членов диссертационного совета, из них 4 доктора 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, 05.13.11 (технические науки);

3. Скворцов А. В., ученый 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. Костюк Ю. Л., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки);

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

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

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

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

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

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

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

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

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 12, против – 1, недействительных бюллетеней – 1) диссертационный совет принял решение присудить Е. П. Станкевич ученую 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 ученой степени кандидата наук  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_**

решение диссертационного совета 13.06.2019 № 200

О присуждении **Станкевич Елене Петровне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «**Математическое моделирование сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков**» по специальности **05.13.18** – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 04.04.2019 (протокол заседания № 198) 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 **Станкевич Елена Петровна**, 1982 года рождения.

В 2005 году соискатель окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

В 2012 году соискатель очно окончила аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Работает в должности старшего преподавателя 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:

**Задорожный Владимир Николаевич**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», кафедра «Математические методы и информационные технологии в экономике», профессор

**Рожкова Светлана Владимировна**, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение математики и информатики, профессор  
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Казанский национальный исследовательский технологический университет**», г. Казань, в своем положительном отзыве, подписанном **Титовцевым Антоном Сергеевичем** (кандидат технических наук, кафедра интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами, доцент) и **Кирпичниковым Александром Петровичем** (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра

интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами, заведующий кафедрой), указала, что среди задач управления сетями обслуживания особое место занимают задачи распределения потоками требований в силу существенного значения результатов решения данных задач для обеспечения необходимого качества функционирования сетей обслуживания. В связи с этим направление исследований, связанное с разработкой математических моделей сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований с различными способами распределения потоков и методов анализа таких сетей, является актуальным, представляется интересным и перспективным как в теоретическом, так и в прикладном отношении. Е. П. Станкевич впервые предложены математические модели замкнутых сетей массового обслуживания с распределением потоков, позволяющие учитывать: эффект групповых переходов требований, изменения маршрутизации групп требований между узлами и кластерами, изменения вероятностей завершения обслуживания требований в зависимости от состояния кластеров, блокировки переходов и изменения интенсивностей обслуживания в узлах сети, что более адекватно описывает реальные системы; разработаны оригинальные модификации методов распределения потоков в замкнутых сетях массового обслуживания с одиночными переходами требований для сетей обслуживания с групповыми переходами требований, позволяющие провести анализ вероятностных характеристик моделей сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков; разработан комплекс проблемно-ориентированных программ и алгоритмов для численного анализа замкнутых сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков, с помощью которого проведено исследование эффективности методов распределения потоков в рассматриваемых сетях обслуживания. Разработанные модификации методов распределения потоков в сетях массового обслуживания с групповыми переходами требований и методы анализа таких сетей позволяют производить анализ и расчет характеристик реальных технических систем, адекватными моделями которых являются сети массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков. Разработанный автором

комплекс проблемно-ориентированных программ и алгоритмов для анализа сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков может использоваться для выполнения расчётов соответствующих характеристик реальных систем.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ (из них 1 статья в латвийском научном журнале, переводная версия которого входит в Web of Science, 1 статья в российском научном журнале, входящем в Web of Science, 2 статьи в российском научном журнале, входящем в ZbMATH), в сборниках материалов международных научных конференций и всероссийского симпозиума опубликовано 6 работ; свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ получено 2. Общий объем публикаций – 7,6 а.л., авторский вклад – 2,86 а.л.

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

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. Митрофанов Ю. И. Анализ неоднородных сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований / Ю. И. Митрофанов, Е. С. Рогачко, **Е. П. Станкевич** // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2011. – Т. 11, вып. 3, ч. 1. – С. 41–46. – 0,75 / 0,25 а.л.

2. Митрофанов Ю. И. Динамическое распределение нагрузки в замкнутых сетях массового обслуживания с групповыми переходами требований / Ю. И. Митрофанов, Е. С. Рогачко, **Е. П. Станкевич** // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – Т. 12, вып. 1. – С. 22–28. – 1,00 / 0,33 а.л.

*ZbMATH:*

Mitrophanov Yu. I. Dynamic load allocation in closed queueing networks with batch movements / Yu. I. Mitrophanov, E. S. Rogachko, **E. P. Stankevich** // *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya Seriya. Seriya Matematika, Mekhanika, Informatika.* – 2012. – Vol. 12, № 1. – P. 22–28.

3. Митрофанов Ю. И. Сети массового обслуживания с групповыми переходами требований, блокировками и кластерами / Ю. И. Митрофанов, В. И. Долгов, Е. С. Рогачко, **Е. П. Станкевич** // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* – 2013. – Т. 13, вып. 2, ч. 2. – С. 20–31. – 1,38 / 0,34 а.л.

*ZbMATH:*

Mitrophanov Yu. I. Queueing networks with batch movements of customers, blocking and clusters / Yu. I. Mitrophanov, V. I. Dolgov, E. S. Rogachko, **E. P. Stankevich** // *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya Seriya. Seriya Matematika, Mekhanika, Informatika.* – 2013. – Vol. 2, № 2, pt. 2. – P. 20–31.

4. Митрофанов Ю. И. Анализ сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и управлением потоками между кластерами / Ю. И. Митрофанов, Е. С. Рогачко, **Е. П. Станкевич** // *Автоматика и вычислительная техника.* – 2015. – № 4. – С. 45–57. – 0,9 / 0,3 а.л.

*в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:*

Mitrofanov Yu. I. Analysis of queueing networks with batch movements of customers and control of flows among clusters / Yu. I. Mitrofanov, E. S. Rogachko, **E. P. Stankevich** // *Automatic Control and Computer Sciences.* – 2015. – Vol. 49, № 4. – P. 221–230. – DOI: 10.3103/S0146411615040094.

5. Митрофанов Ю. И. Метод анализа замкнутых сетей массового обслуживания с дискретным временем, групповыми переходами требований и динамическим управлением интенсивностями обслуживания / Ю. И. Митрофанов, В. И. Долгов, Е. С. Рогачко, **Е. П. Станкевич** // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* – 2017. – Т. 17, вып. 1. – С. 96–108. – DOI: 10.18500/1816-9791-2017-17-1-96-108. – 1,63 / 0,40 а.л.

*Web of Science:*

Mitrofanov Yu. I. Method for Analysis of Closed Queueing Networks with Discrete Time, Batch Movements of Customers and Dynamic Control of Service Rates / Yu. I. Mitrophanov, V. I. Dolgov, E. S. Rogachko, **E. P. Stankevich** // *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya Seriya. Seriya Matematika, Mekhanika, Informatika.* – 2017. – Vol. 17, № 1. – P. 96–108.

На автореферат поступило 6 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **Д. Ю. Петров**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры «Электронные приборы и системотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., *с замечанием*: неясно, зачем в начале второй главы вводилась экспоненциальная сеть массового обслуживания, хотя в дальнейшем фактически рассматривались только сети обслуживания с дискретным временем.
2. **Е. В. Пройдакова**, канд. физ.-мат. наук, доц., доцент кафедры программной инженерии Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, *с замечаниями*: кроме описания модели сети массового обслуживания с групповыми переходами требований и одним классом требований в разделе 2.3 желательно было бы привести и метод анализа данных сетей обслуживания; в автореферате отсутствует описание алгоритмов и программ для вычисления стационарных характеристик исследуемых сетей обслуживания.
3. **М. Пагано**, профессор факультета информационной инженерии Университета г. Пизы, Италия, *с замечаниями*: не приведены результаты численных экспериментов, которые показывали бы эффективность разработанных автором методов распределения потоков; в автореферате приведены методы распределения потоков только в сетях обслуживания с одним классом требований, без внимания остались сети обслуживания с несколькими классами требований.
4. **Е. В. Панкратова**, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории автоматизированных систем массового обслуживания Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, *с замечанием*: следовало провести сравнительный анализ эффективности методов распределения потоками посредством изменения маршрутизации групп требований между узлами

и между кластерами в сетях массового обслуживания с групповыми переходами требований. 5. **К. Ю. Войтиков**, канд. техн. наук, доцент кафедры дискретной математики Московского физико-технического института (национального исследовательского университета), *с замечанием*: в автореферате не уделено должного внимания описанию программы алгоритмов для вычисления стационарных характеристик сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков, а также анализу результатов исследования эффективности предложенных методов. 6. **Г. Ш. Цициашвили**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий лабораторией вероятностных методов и системного анализа Института прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток, *с замечанием*: в тексте автореферата приведены области практического использования предложенных математических моделей, но не подкреплены конкретными примерами.

В отзывах отмечается, что поскольку методы теории массового обслуживания широко используются для создания адекватных математических моделей разнообразных систем, в том числе таких, как вычислительные системы и сети, телекоммуникационные сети, сети передачи данных, транспортные системы и т.д., в настоящее время задачи повышения качества функционирования и эффективности управления дискретными стохастическими системами с сетевой структурой и групповыми переходами объектов обработки продолжают оставаться в центре внимания специалистов в теории массового обслуживания. Е. П. Станкевич предложены математические модели замкнутых сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований; для сетей обслуживания с групповыми переходами требований предложены методы распределения потоков, использование которых позволяет улучшить характеристики качества функционирования сетей; получены аналитические выражения для вычисления стационарного распределения вероятностей состояний сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований, в том числе с распределением потоков; разработано программное обеспечение, реализующее численный анализ исследуемых сетей, и проведено исследование эффективности

методов распределения потоков в рассматриваемых сетях обслуживания; для сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований без распределения потоков, для сетей обслуживания с блокировками и распределением потоков посредством изменения вероятностей завершения обслуживания требований в зависимости от состояния кластеров получена мультипликативная форма стационарного распределения, что значительно уменьшает вычислительную сложность, так как в сетях обслуживания с групповыми переходами требований пространство состояний векторов перемещений имеет большую мощность. Разработанные методы распределения потоков в сетях обслуживания с групповыми переходами требований позволяют улучшить показатели качества функционирования указанных сетей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **В. Н. Задорожный** является высококвалифицированным специалистом в области теории массового обслуживания; **С. В. Рожкова** является известным специалистом в области теории вероятностей и ее приложений; на базе **Казанского национального исследовательского технологического университета** создана научная школа по математическому моделированию и методам интеллектуализации современных социальных, экономических, медико-биологических, экологических систем.

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

*предложены* модели замкнутых сетей массового обслуживания, которые отличаются от известных моделей тем, что узлы сети обслуживания являются многолинейными системами массового обслуживания, длительности обслуживания требований имеют геометрическое распределение, в дискретные моменты времени из нескольких узлов сети одновременно могут выходить в другие узлы группы обслуженных требований, каждое требование в группе выходящих из узлов требований независимо от других требований переходит в другие узлы согласно маршрутной матрице;

*предложены* модификации способов распределения потоков в сетях массового обслуживания с групповыми переходами требований (посредством изменения маршрутизации групп требований; изменения вероятностей завершения обслуживания требований в зависимости от состояния кластеров; изменения маршрутизации требований между кластерами; блокировок переходов и изменения интенсивностей обслуживания в узлах сети), которые обобщают ранее известные способы распределения потоков в сетях массового обслуживания с одиночными переходами требований;

*получены* выражения для вычисления основных стационарных характеристик рассматриваемых сетей массового обслуживания.

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

*предложены* модели сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков, которые позволяют расширить круг задач, решаемых в теории сетей массового обслуживания за счет использования в сетях распределения потоков, улучшающих характеристики качества функционирования сетей;

*получены* мультипликативные формы стационарных распределений вероятностей состояний сетей массового обслуживания с групповыми переходами, в том числе с распределением потоков посредством блокировок переходов и изменения вероятностей завершения обслуживания требований в зависимости от состояния кластеров.

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

*получены* выражения для расчета стационарных вероятностей состояний сетей обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков, которые могут использоваться для вычисления характеристик качества функционирования и анализа телекоммуникационных и вычислительных систем, производственных и торговых систем, систем управления запасами, транспортных сетей с целью повышения их производительности и выработки рекомендаций при их проектировании;

*получены* мультипликативные формы стационарных вероятностей состояний сетей обслуживания с групповыми переходами, использование которых позволяет существенно уменьшить вычислительную сложность при расчете характеристик сетей.

### **Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.**

Предложенные модели сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков расширяют класс анализируемых стохастических систем, так как позволяют учитывать специфику функционирования систем, связанную с групповыми переходами объектов обработки. К таким стохастическим системам можно отнести вычислительные системы и сети, сети передачи данных, гибкие производственные системы, транспортные системы.

Полученные результаты могут быть использованы для решения задач проектирования, исследования и оптимизации дискретных стохастических систем и в учебном процессе Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского.

### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

Достоверность результатов исследования обеспечивается математически корректными выводами и доказательствами теорем, представленными в работе; результатами вычислительных экспериментов с использованием программных реализаций предложенных моделей и формул для расчета стационарных характеристик сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков.

**Личный вклад соискателя состоит в:** совместной с научным руководителем постановке цели и задач исследования; самостоятельном получении всех результатов, изложенных в работе: выводе всех формул, формулировке и доказательстве всех представленных в диссертации теорем, разработке программ и алгоритмов для вычисления стационарных характеристик замкнутых сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований

и различными способами распределения потоков; формулировке выводов по проделанной работе; подготовке публикаций и личном участии в апробации работы.

Диссертация отвечает критериям, установленным 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 сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований и распределением потоков, имеющей значение для развития теории сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований.

На заседании 13.06.2019 диссертационный совет принял решение присудить **Станкевич Е. П.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 доктора 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 – 12, против – 1, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель

диссертационного совета



Поддубный Василий Васильевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Скворцов Алексей Владимирович

13.06.2019