

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.107.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16 сентября 2024 г., № ____

О присуждении **Соколову Александру Михайловичу**, гражданину
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Аналитические и программные методы оценки характеристик производительности вычислительных систем с приоритетным обслуживанием» по специальности 2.3.5. – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей» принята к защите 24 июня 2024 года (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.1.107.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, приказ Минобрнауки России о выдаче разрешения на создание диссертационного совета № 1179/нк от 12.10.2022 г.).

Соискатель Соколов Александр Михайлович, рожденный 30.10.1995, в 2019г. окончил магистратуру ФГФОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», факультет «Радиотехники и кибернетики», специальность 03.04.01 «Прикладная математика и физика»; в 2023 г. окончил аспирантуру ФГБУН Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (далее ИПУ РАН) по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», специальность 05.13.15 «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети». В настоящее время работает научным сотрудником в лаборатории № 69 «Телекоммуникационных систем» ИПУ РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории № 69 «Телекоммуникационных систем» ИПУ РАН. **Научный руководитель** – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего лабораторией № 69 «Телекоммуникационных систем» ИПУ РАН **Вишневский Владимир Миронович**.

Официальные оппоненты:

Гайдамака Юлия Васильевна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Теории вероятностей и кибербезопасности» ФГАОУ ВО РУДН имени Патриса Лумумбы,

Степанов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Сети связи и системы коммутации» ФГБОУ ВО МТУСИ

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова» Российской академии наук в своем положительном отзыве, подписанном ведущим научным сотрудником, заведующим кафедрой «Информационные системы и телекоммуникации», доктором физико-математических наук, профессором РАН **Кузьминым Львом Викторовичем**, и утвержденным и.о. директора ИРЭ РАН, кандидатом физико-математических наук **Корниенко Владимиром Николаевичем**, указала, что в процессе работы над диссертацией соискатель разработал новые модели и метод исследования характеристик производительности систем с приоритетным обслуживанием.

Заключение ведущей организации имеет следующие замечания:

- 1) Хотя в диссертации анонсируется возможность применения разработанных моделей приоритетных систем для оценки производительности современных сетевых протоколов (последние дополнения протокола 802.11, MQTT и др.), но конкретно применение не приводится.
- 2) В главе 2 отсутствует четкое и понятное описание имитационной модели, включая описание важных аспектов: событий, предусмотренных в модели, методов расчета статистики и использующихся структур данных для оптимизации времени работы модели.
- 3) В автореферате диссертации дано слабое описание разработанной математической модели системы для потоковых вычислений, не представлена ссылка на используемые в работе методы восстановления ММАР-потока и РН-распределений.
- 4) Не обоснован выбор оптимизационного алгоритма Адама при обучении искусственной нейронной сети для получения оценки времени отклика системы.
- 5) В диссертации присутствуют стилистические и орфографические ошибки.

Отмечено, что указанные замечания не снижают ценности работы и не оказывают решающего влияния на положительную оценку диссертационной работы Соколова А.М.

В отзывах оппонентов имеются следующие замечания:

В отзыве Ю.В. Гайдамаки:

1. В главе 1 не приведено подробное описание программной реализации численного расчета двухприоритетной системы массового обслуживания с входным ММАР-поток.
2. В главе 2 при реализации комбинированного метода не описано, каким образом подбирались гиперпараметры для моделей машинного обучения.
3. Валидация имитационной модели произведена с помощью аналитического решения, когда в системе предусмотрено наличие двух приоритетов. В разделе не описано, как производилась валидация имитационной модели для общего случая, когда в системе предусмотрено более двух приоритетов.
4. На некоторых графиках диссертации подписи осей оформлены не по ГОСТу, например, неправильно обозначено время в секундах (с).

В отзыве М.С. Степанова:

1. В главе 1 впервые исследована модель двухприоритетной системы массового обслуживания с входным ММАР-поток, РН-распределением времени обслуживания, а также буфером конечной емкости. Реализован алгоритм вычисления стационарных характеристик производительности системы. Однако, учитывая сложность программной реализации, не ясно каким образом осуществлялась валидация реализованного алгоритма.
2. Время передачи заявки из буфера на сервер в реальных системах является конечной величиной, а не нулевой, как предполагается в математической модели. В связи с этим не ясно, насколько адекватно модель, представленная в главах 1 и 2, описывает процесс функционирования балансирующего нагрузки и системы распределенных вычислений, описанных в главе 4.
3. В главе 3 не приведено сравнение эффективности разработанного программного комплекса с другими существующими решениями для распределенных вычислений.
4. Диссертационная работа содержит ряд орфографических и пунктуационных ошибок.

Однако, указанные выше замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Основные результаты по теме диссертации изложены в 15 печатных изданиях, 3 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, из них 2 — по специальности 2.3.5 категории К1, 7 — в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 5 — в тезисах докладов. Зарегистрирована 1 программа для ЭВМ.

Наиболее значимые публикации из числа рецензируемых изданий:

1. Исследование характеристик приоритетной мультисервисной системы ММАР/РН/М/Н с использованием метода Монте-Карло / В. Вишневский, В. Клименок, А. Ларионов, А. Мухтаров, **А. Соколов** // Управление большими системами. — 2023. — No 103. — С. 6—39.
2. Архитектура распределенной системы для потоковых вычислений с контейнеризацией и приоритизацией задач / **А. Соколов**, А. Ларионов, В. Вишневский, А. Мухтаров // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2023. — Т. 4. — С. 5—18.
3. Performance evaluation of the priority multi-server system mmap/ph/m/n using machine learning methods / V. M. Vishnevsky, V. I. Klimenok, **A. M. Sokolov**, A. A. Larionov // Mathematics. — 2021. — Vol. 9, no. 24.

Диссертация Соколова Александра Михайловича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать **как научное достижение**, имеющее важные теоретическое и прикладное значения. Автореферат диссертации в достаточном объеме отражает основные результаты, полученные в работе. Таким образом, диссертационная работа Соколова А.М. «Аналитические и программные методы оценки характеристик производительности вычислительных систем с приоритетным обслуживанием» соответствует пункту 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов, все отзывы положительные.

1. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, заведующего кафедрой «Автоматизации систем вычислительных комплексов» ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова, профессора, члена-корреспондента РАН **Смелянского Р.Л.** содержит следующие замечания:

- В автореферате на странице 3 используется термин «характеристики производительности», но нигде не дано определения этого термина. Там же сказано: «*При проектировании систем важным аспектом являются характеристики производительности: время отклика, время до начала обслуживания заявки, среднее число заявок в системе, среднее число заявок в очереди и др.*». Однако это весьма разные характеристики производительности систем. Например, понятие времени отклика вычислителя и время отклика монитора суть разные и требуют разных методов оценки. Если время отклика для вычислителя — это время выполнения некоторого приложения, вы-

числения функции, выполнения программы, тут важный аспект – исходные данные. Характеристику «и др.» комментировать затрудняюсь.

- Далее на стр. 3 сформулировано утверждение *«для любого неотрицательного распределения случайной величины $A(t)$ можно подобрать РН-распределение сколь угодно близкое к распределению $A(t)$ в условиях слабой сходимости.»* для которого не указано никакого обоснования.
- В первой главе слабо описаны технические детали расчета аналитической модели приоритетной системы, включая методы получения стационарных вероятностей приоритетной системы и валидацию расчетов.
- В четвертой главе в качестве примеров систем с приоритетным обслуживанием приведены балансировщик сетевой нагрузки и система для организации асинхронной очереди задач. В дальнейшем рекомендуется рассмотреть применение модели приоритетной системы для исследования сетевых протоколов, например, MQTT (Message queuing telemetry transport), а также протоколов стандарта беспроводной связи 802.11.

2. Отзыв на автореферат кандидата технических наук заведующей кафедрой «Сети и системы фиксированной связи» МТУСИ, доцента **Антоновой В.М.** содержит следующие замечания:

- В описании главы 3 не приведено сравнение разработанного программного комплекса с существующими решениями. Не описаны основные преимущества его использования.
- В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертации, но не отмечены направления и перспективы развития дальнейших исследований в данной области.

3. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Теории вероятностей и математической статистики» ФГАОУ ВО ТГУ, профессора **Моисеевой С.П.** содержит следующие замечания:

- В работе предлагается анализ систем с коррелированным входящим потоком (маркированный MAP-поток), но в автореферате нет иллюстративных примеров, демонстрирующих влияние значений коэффициента корреляции на характеристики системы.
- На рис.3 не совсем понятно, что показывают графики посередине. Изменение размера очереди от размера буфера? Вероятно, по вертикали средний размер очереди?

4. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора кафедры «Вычислительных машин, систем и сетей» МЭИ, профессора **Абросимова Л.И.** содержит следующие замечания:

- При описании имитационной модели недостаточно подробно описаны методы и оптимизации, применяемые для ускорения получения численных результатов с помощью имитационного моделирования.
- Также в автореферате описана аналитическая модель системы для потоковых вычислений, но не приведены формулы для расчета основных характеристик производительности.
- Приведенная аналитическая модель системы для потоковых вычислений не учитывает различные типы приоритизации, предусмотренные в самой системе.
- В качестве дальнейшего развития рекомендуется использовать метод имитационного моделирования для получения характеристик производительности системы потоковых вычислений с приоритизацией задач.

5. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова ВШЭ, доцента **Кучерявого Е.А.** содержит следующие замечания:

- В тексте автореферата не приведено четкое описание имитационной модели, в частности, какие типы событий обрабатываются.
- В описании третьей главы отсутствует упоминание о рассмотренной в диссертации математической модели системы для потоковых вычислений.
- Оси некоторых графиков оформлены не по ГОСТу: секунды в автореферате обозначаются как (с).

6. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора кафедры «Сетей, связи и передачи данных» СПбГУТ им. проф. Бонч-Бруевича, профессора **Парамонова А.И.** содержит следующие замечания:

- Автору следовало бы отметить достоинства разработанных моделей и методов по сравнению с известными или оценить эффект от их использования.
- Автор не поясняет причин выбора Python в качестве средства реализации дискретно-событийной модели, в то время как существуют достаточно много готовых систем дискретно-событийного моделирования, которые могли бы сократить трудоемкость построения модели.

7. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории «Стохастического моделирования информационно-вычислительных и телекоммуникационных систем» ФГБУН Федерального исследовательского центра КарНЦ РАН, **Румянцева А.С.** содержит следующие замечания:

- В автореферате при описании результатов первой главы следовало бы указать, каково описание фазового пространства цепи Маркова и определить саму исследуемую цепь, поскольку в матрично-аналитических моделях, как

правило, размерность матриц зависит от вида фазовой компоненты двумерной цепи.

- Не вполне понятно, какие распределения использованы при построении дискретно-событийной модели во второй главе, и если эти распределения такие же, как в первой, то почему автор ограничился ими, поскольку метод позволяет исследовать системы с произвольными распределениями управляющих последовательностей. Можно также отметить, что для построения интервальных оценок автор мог бы воспользоваться методом регенеративного имитационного моделирования.
- Было бы интересно применить результаты первых двух глав к системе распределенных вычислений, разработанной в третьей главе.

Во всех отзывах отмечено, что замечания не снижают теоретической и практической значимости полученных результатов и не влияют на положительную оценку диссертационного исследования, а Соколов А.М. заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован профилем их научной деятельности и профессиональных интересов, подтвержденных публикациями в рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **изучены и проанализированы** результаты исследований существующих моделей и алгоритмов вычисления стационарных характеристик вычислительных систем с приоритетным обслуживанием;

– **разработана** аналитическая модель двухприоритетной мультисервисной системы вида MMAP/PH/N/R с приоритетным обслуживанием для оценки ее стационарных характеристик производительности;

– **разработана** дискретно-событийная модель для получения оценок стационарных характеристик производительности вычислительной системы большой размерности с приоритизацией заявок;

– **разработан** комбинированный метод для получения быстрых оценок стационарных характеристик производительности вычислительной системы с приоритетным обслуживанием, базирующийся на методе имитационного моделирования и методах машинного обучения;

– **предложена** архитектура системы и программный комплекс для потоковых вычислений с контейнеризацией и приоритизацией задач, позволяющий ускорить процесс получения численных результатов, в том числе результатов моделирования;

– **разработана** аналитическая модель с групповым поступлением заявок для исследования системы потоковых вычислений, получены формулы для стационарных характеристик производительности;

– **реализованы** алгоритмы расчета характеристик производительности двухприоритетной вычислительной системы, а также системы с групповым поступлением заявок;

– **произведен** анализ применимости дискретно-событийной модели вычислительной системы с приоритетным обслуживанием для получения оценок характеристик производительности системы с сетевым балансирующим устройством нагрузки, а также вычислительной системы для распределенных вычислений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что аналитические и имитационные модели, разработанные в диссертации, могут эффективно использоваться для оценки характеристик производительности многолинейных вычислительных систем с приоритетным обслуживанием;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики определяется тем, что разработанные модели, алгоритмы и метод позволяют оценивать показатели производительности вычислительных систем с приоритетным обслуживанием и подтверждается актами о внедрении:

– модели, разработанные в диссертации, внедрены в процесс проектирования, анализа и разработки программного обеспечения для высокопроизводительных вычислительных платформ АО НИИ «Центропрограммсистем»;

– теоретические и практические результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс базовой кафедры «Инфокоммуникационные системы и сети» Физтех-школы «Радиотехники и компьютерных технологий» ФГАОУ ВО МФТИ ГУ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **теория и подходы**, используемые при разработке моделей, алгоритмов и метода оценки характеристик производительности, основываются на адекватных постановках задач и согласуются с данными публикаций по тематике исследований. Разработанные модели, алгоритмы и метод, применяемые для расчета стационарных характеристик производительности систем с приоритетным обслуживанием, успешно прошли апробацию, что подтверждается соответствующими актами о внедрении и публикацией результатов диссертации в рецензируемых изданиях.

– **научные результаты**, представленные в диссертации, не противоречат общепринятым концепциям и положениям, научные выводы подтверждаются аналитическими расчетами, результатами имитационного моделирования и проведенных экспериментальных исследований.

Все исследования, представленные в диссертационной работе, проведены **лично соискателем** в процессе научной деятельности. Из совместных публикаций в диссертацию включен тот материал, который непосредственно принадлежит соискателю.

На заседании 16 сентября 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Соколову А.М. ученую степень кандидата технических наук за решение актуальной научно-технической задачи по разработке аналитических и программных методов оценки характеристик производительности вычислительных систем с приоритетным обслуживанием.

При проведении тайного голосования по вопросу о присуждении Соколову Александру Михайловичу ученой степени кандидата технических наук, из 16 человек, входящих в состав совета, присутствовали и голосовали 15 членов диссертационного совета, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации. Результаты голосования: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. директора по научной работе
д.т.н.



Краснова С.А.

Зам. председателя диссертационного
совета 24.1.107.03, д.т.н.

Мещеряков Р. В.

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.107.03, д.т.н.

Барабанова Е. А.

16 сентября 2024 года