ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.01,
созданного на базе Федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук», по диссертации
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Аттестационное дело №_____

Решение диссертационного совета от 20 октября 2026 №7

О присуждении Горбуновой Анастасии Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы анализа и управления для стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием» по специальности 2.3.1 — «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 23 июня 2026 г., протокол № 3, диссертационным советом 24.1.224.01, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 747/нк от 22 июня 2016 г.

Соискатель Горбунова Анастасия Владимировна, 1986 года рождения, в 2010 году с отличием окончила магистратуру Российского университета дружбы народов, получив диплом магистра по направлению «Прикладная математика и информатика». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Анализ моделей массового обслуживания для оценки времени отклика в системе облачных вычислений» защитила в 2017 году в диссертационном совете на базе Российского университета дружбы народов. С 2019 года работает в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, в настоящее время в должности старшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН) на базе лабораторий № 69 (2019 – 2023 гг.) и № 27 (2023 – 2025 гг.).

Научный консультант — Лебедев Алексей Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», механико-математический факультет, кафедра теории вероятностей.

Официальные оппоненты:

1. Зейфман Александр Израилевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодский государственный университет».

Отзыв оппонента **положительный**. Имеются следующие замечания по работе:

1) В начале каждой главы диссертации раскрываются основные результаты, изложенные далее, однако в начале главы 3 анонс результатов практически не сделан, указан только тип системы, которому посвящена глава. Логично было более подробно описать основные результаты, по примеру других глав.
2) В главе 2 строится мета-гауссовская модель, использование которой предполагает получение оценок производительности системы с разделением и параллельным обслуживанием более простым методом по сравнению, например, с организацией имитационного моделирования. Стоило поподробнее изложить концепцию данной модели и основные этапы применения данного математического инструмента моделирования.
3) В тексте диссертации многократно используется английское словосочетание «fork-join» в качестве эквивалента для системы с

разделением и параллельным обслуживанием, хотя с этой целью можно было бы просто ввести аббревиатуру русскоязычного термина.

4) На стр. 246 в четвертой главе при формулировке теоремы появляется ссылка на формулу для математического ожидания времени отклика, а сама формула представлена далее по тексту при доказательстве самой теоремы. Следовало привести данную формулу раньше либо не приводить ее здесь, а сослаться на ее аналог из предыдущих глав.
5) Автор широко применяет методы и результаты из разных областей математики, неплохо было бы пояснять их поподробнее.

2. Моисеева Светлана Петровна, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Отзыв оппонента **положительный.** Имеются следующие замечания по работе:

1) Во введении следовало бы отразить существенные отличия предлагаемых моделей от результатов зарубежных и российских исследователей, а также согласованность с уже известными частными случаями. В частности, было бы уместно уделить больше внимания обзору научных публикаций за последние 10 лет. А также акцентировать внимание на особенностях и/или обобщениях, введенных автором.
2) Анализ реальных потоков передачи информации в современных сетях связи показывает, что входящие потоки не всегда соответствуют пуассоновской модели. Поэтому следовало было бы обосновать рассмотрение марковских моделей в диссертации.
3) В первой главе, посвященной применению методов машинного обучения к анализу сложных систем массового обслуживания, основной акцент смещен в сторону применения именно искусственных нейронных сетей. Так как обучение проводилось в том числе и на имитационных моделях, то

почему не рассматривались модели с коррелированными входящими потоками?

4) Одной из заслуживающих внимание характеристик систем с разделением и параллельным обслуживанием является время пребывания заявки в буфере синхронизации, полезно было бы проанализировать данную характеристику системы новыми предложенными в диссертационной работе методами тоже.
5) В пятой главе исследуется максимальное остаточное время обслуживания, т. е. максимум из остаточных времен обслуживания по всем занятым приборам на момент времени T, системы с разделением и параллельным обслуживанием для случая двух бесконечнолинейных подсистем. Рассмотрено несколько вариантов для входящего потока, точнее для интенсивности входящего потока, и различные распределения времени обслуживания. Вместе с тем, заслуживает отдельного рассмотрения случай с большим числом подсистем.

3. Орлов Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

Отзыв оппонента **положительный**, имеются следующие замечания по диссертации:

1) В главе 2, посвященной анализу характеристик системы с пуассоновским входным потоком и экспоненциальным распределением времени обслуживания на приборах, справедливость полученных аналитических выражений для математического ожидания и среднеквадратического отклонения времени пребывания заявки в системе проверялась и для довольно большого числа приборов или подсистем, равного 100 и 1000. Качество аппроксимации оказалось довольно хорошим, т. е. погрешность приближения была незначительной. Целесообразно было бы провести дополнительный анализ и проверить полученное приближение в случае

распределения Парето времени обслуживания для аналогичных больших значений числа подсистем.

2) Во второй главе при описании схемы функционирования систем с разделением и параллельным обслуживанием упоминается буфер синхронизации, стоило бы более подробно остановится на том, что подразумевается под термином «синхронизация».
3) Пятая глава диссертации посвящена анализу максимального остаточного времени обслуживания в системах с разделением и параллельным обслуживанием в случае отключения входящего потока по разным причинам. При этом остаточные времена обслуживания по всем приборам являются зависимыми. Для различных законов распределения времени обслуживания наряду с функцией распределения исследуемой характеристики, в отдельных случаях получены выражения для коэффициента корреляции Бломквиста. При этом было бы полезно проанализировать и другие коэффициенты корреляции – Пирсона, Спирмена или Кендалла.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМ ДВО РАН) – в своем **положительном** заключении, подписанном Цициашвили Гурами Шалвовичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником, руководителем научно-исследовательской группы вероятностных методов и системного анализа Института прикладной математики Дальневосточного отделения федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной математики» Дальневосточного отделения Российской академии наук, и утвержденном Гузевым Михаилом Александровичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук, указала:

«Основные результаты диссертации опубликованы в 20 научных работах, из которых 6 статей опубликовано в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК категории К1, 9 публикаций в журналах, индексируемых в БД Scopus и Web of Science, 5 статей в других сборниках, индексируемых в БД Scopus. Результаты диссертации в достаточной мере апробированы на профильных международных конференциях. Требования ВАК к оформлению диссертаций выполнены. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» по пунктам 1, 2, 4, 11. Автореферат в полной мере отражает содержание и основные положения диссертационного исследования.

Таким образом, диссертация «Методы и алгоритмы анализа и управления для стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием» Горбуновой Анастасии Владимировны, которая содержит значимые научные результаты в области системного анализа, касающиеся разработки новых методов и алгоритмов анализа и управления для стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, полностью соответствует требованиям к докторским диссертациям, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Диссертационная работа и отзыв на нее рассмотрены и утверждены на Общеинститутском семинаре ИПМ ДВО РАН (протокол № 5 от 17.09.2026 г.)».

Замечания:

1) Во введении говорится о том, что в литературе известно несколько типов систем с различными механизмами распараллеливания заявок, однако описывается только тот, который рассматривается в диссертации. Стоило

привести хотя бы краткие характеристики и других вариантов систем с параллельным обслуживанием.

2) На стр. 84 сказано, что времена пребывания подзаявок в подсистемах являются положительно ассоциированными случайными величинами, поэтому их максимум стохастически не больше максимума независимых случайных величин. Желательно было бы дать определение этого термина и дать ссылку на статью или статьи со свойствами таких случайных величин.
3) В разделе 2.6 Главы 2 довольно подробно описан процесс построения оценки квантилей времени отклика для случая разделения заявки на две подзаявки, сформулированы соответствующие утверждения, также в этом разделе приводятся результаты и для более общего случая разделения заявки на большее число подзаявок, однако вывод этого приближения уже не детализируется, что было бы интересно несмотря на аналогичный подход к решению, кроме того, стоило бы пронумеровать полученное выражение.
4) При описании известных результатов, а точнее формул для среднего времени отклика модели системы с разделением и параллельным обслуживанием с пуассоновским входящим потоком и показательным распределением времени обслуживания появляется понятие «тип подзаявок», которому ранее не было дано определение, стоило пояснить, что подразумевается под этим термином в данном контексте.
5) В четвертой главе определяется оптимальная интенсивность обслуживания на основании результатов, полученных в предыдущих главах, для двух типов подсистем. Возможно, следовало бы в этой главе сделать два основных раздела по числу типов систем, а основные результаты для каждой из систем уже изложить в соответствующих подразделах этих двух разделов.

Соискатель имеет всего более 60 опубликованных научных работ. По теме диссертации соискателем опубликовано 20 научных работ, из них – 15

статей в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК категории К1 и приравненных к ним, а именно: 6 статей в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК (категория К1), 9 публикаций в журналах, индексируемых в Scopus (Q1, Q2, Q3); и 5 статей в других сборниках, индексируемых в Scopus.

Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, в диссертации отсутствуют. Диссертация не нарушает п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Автор подробно указал личный вклад в опубликованные с соавторами работы.

Наиболее значимые работы Горбуновой А.В. по теме диссертации:

1. Горбунова А.В. Нелинейная аппроксимация квантилей распределения времени отклика fork-join системы массового обслуживания с подсистемами M|M|1 // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2025. № 72. С. 16–27. ВАК (К1).
2. Горбунова А.В. Об особенностях управления скоростью обслуживания в fork-join системах с распределением Парето времени обслуживания // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2024. № 4. С. 53–62. ВАК (К1).
3. Горбунова А.В., Лебедев А.В. Квантили распределения времени отклика в fork-join системах с распределением Парето времени обслуживания // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2024. № 3. С. 5–16. ВАК (К1).
4. Горбунова А.В. Оценки копулы и квантилей распределения времени отклика системы с разделением и параллельным обслуживанием заявок и распределением Парето времени обслуживания // Управление большими системами: сборник трудов. 2024. № 112. С. 7–29. ВАК (К1).

5. Горбунова А.В., Лебедев А.В. О новом подходе к оценке квантилей времени отклика системы с разделением и параллельным обслуживанием заявок // Управление большими системами: сборник трудов. 2024. № 108. С. 6–21. ВАК (К1).
6. Вишневский В.М., Горбунова А.В. Применение методов машинного обучения к решению задач теории массового обслуживания // Информационные технологии и вычислительные системы. 2021. № 4. С. 70–82. ВАК (К1).
7. Gorbunova A.V., Lebedev A.V. On the Features of Service Rate Control in Fork-Join Queueing System // Automation and Remote Control. 2024. Vol. 85, Issue 12. P. 1184–1198. Scopus (Q3).

   Горбунова А.В., Лебедев А.В. Об особенностях управления скоростью обслуживания в системах с разделением и параллельным обслуживанием заявок // Автоматика и телемеханика. 2024. № 12. С. 70–88.
8. Gorbunova A.V., Lebedev A.V. Correlations of the Sojourn Times of Subtasks in Fork-Join Queueing Systems with $M|M|1$-type Subsystems // Advances in Systems Science and Applications. 2024. Vol. 24. No. 2. P. 1–18. Scopus (Q3).
9. Gorbunova A.V., Lebedev A.V. Copulas and Quantiles in Fork-Join Queueing Systems // Advances in Systems Science and Applications. 2024. Vol. 24, No. 1. P. 1–19. Scopus (Q3).
10. Gorbunova A.V., Lebedev A.V. Nonlinear Approximation of Characteristics of a Fork-Join Queueing System with Pareto Service as a Model of Parallel Structure of Data Processing // Mathematics and Computers in Simulation. 2023. Vol. 214. P. 409–428. Scopus (Q1).
11. Gorbunova A.V., Lebedev A.V. On Estimating the Characteristics of a Fork-Join Queueing System with Poisson Input and Exponential Service Times // Advances in Systems Science and Applications. 2023. Vol. 23, No. 2. P. 99–114. Scopus (Q3).

12. Горбунова А.В., Вишневский В.М. Оценка времени отклика среды для вычислений с интенсивным использованием данных // Информационно-управляющие системы. 2022. № 4. С. 12–19. Scopus (Q3).
13. Gorbunova A.V., Vishnevsky V.M. The Analysis of Big Data Centers Performance // Advances in Systems Science and Applications. 2022. Vol. 22, No. 3. P. 70–83. Scopus (Q3).
14. Gorbunova A.V., Lebedev A.V. Bivariate Distributions of Maximum Remaining Service Times in Fork-Join Infinite-Server Queues // Problems of Information Transmission. 2020. Vol. 56, No. 1. P. 73–90. Scopus (Q2).

    Горбунова А.В., Лебедев А.В. Двумерные распределения максимальных остаточных времен обслуживания в бесконечнолинейных системах с разделением заявок // Проблемы передачи информации. 2020. Т. 56, Вып. 1. С. 80–98.
15. Gorbunova A.V., Vishnevsky V.M. Estimating the Response Time of a Cloud Computing System with the Help of Neural Networks // Advances in Systems Science and Applications. 2020. Vol. 20, No. 3, P. 105–112. Scopus (Q3).

На автореферат поступило девять положительных отзывов, которые подписали:

1. Бычков Игорь Вячеславович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления имени В. М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук (ИДСТУ СО РАН); Феоктистов Александр Геннадьевич, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории комплексных информационных систем ИДСТУ СО РАН. В отзыве имеются следующие замечания:

    1) Более четкое соотнесение выносимых на защиту положений с аспектами их новизны и эффектами, достигаемыми при практическом применении данных результатов, позволило бы ярче подчеркнуть и

согласовать научную и практическую значимость диссертационного исследования в целом.

2) Как следует из автореферата, машинное обучение является важным инструментом построения интеллектуальной модели оценки характеристик систем с разделением и параллельным обслуживанием для любых промежуточных значений входных параметров из заданного интервала. Однако методы и средства проведения такого машинного обучения в автореферате не раскрыты.
3) Из текста автореферата не совсем ясно, рассматривается ли только однофазное обслуживание заявок или разработанные модели и методы могут быть также применены к моделям с многофазным обслуживанием. Может ли происходить многоуровневое разделение заявки на разных фазах обслуживания?
4) К сожалению, в автореферате отсутствует детальный сравнительный анализ результатов применения разработанных моделей и метода с результатами использования моделей и методов подобного назначения. Подведение итогов такого анализа позволило бы более полно оценить эффективность и практическую значимость выполненных разработок.

2. Клочков Владислав Валерьевич, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по стратегическому развитию Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского». В качестве замечаний отмечено:

1) Одной из актуальным с практической точки зрения проблем остается моделирование систем массового обслуживания с неоднородными каналами, имеющими различную производительность, т.е. ожидаемое время обслуживания, и/или различные распределения времени обслуживания заявок.

Также в задачах моделирования реальных СМО весьма актуальным является моделирование нестационарных, переходных процессов (например, «запуска» системы), а не только оценка характеристик стационарного состояния системы. Судя по автореферату, в диссертации такие задачи не решались (за исключением оценки остаточного времени обслуживания после выключения входящего потока как примера нестационарной постановки).

Интересно, как диссертант оценивает перспективы применения развиваемых им подходов к решению таких, практически очень актуальных задач.

2) Диссертант подчеркивает, что развиваемые им подходы к приближенному моделированию сложных систем массового обслуживания весьма экономичны с точки зрения вычислительной трудоемкости. Хотелось бы видеть и сравнительные количественные оценки ускорения расчетов, сокращения их объема, в сравнении с традиционными методами.

   Также в этой методологической работе целесообразно ввести четкую классификацию методов моделирования СМО рассматриваемого класса (включая авторские) – начиная с точных аналитических формул, и заканчивая прямым имитационным компьютерным статистическим моделированием (методом Монте-Карло).

3. Козицин Иван Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры анализа систем и решений Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)». По тексту автореферата имеются следующие замечания:

1) Было бы полезно свести в единую таблицу диапазоны параметров и максимальные относительные погрешности основных приближений, в том числе для квантилей высокое уровня. Это облегчило бы

сопоставление методов и выбор подходящей оценки для конкретной задачи.

2) В задаче выбора оптимальной интенсивности обслуживания желательно подробнее отразить, как погрешность аппроксимации среднего времени отклика влияет на найденное оптимальное решение и соответствующее значение стоимости. Такое уточнение усилило бы практическую обоснованность рекомендаций по управлению системой.

4. Муромцев Дмитрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». По тексту автореферата замечаний не имеется.

5. Парсегов Сергей Эрнестович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Научного центра информационных технологий и искусственного интеллекта Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус». В качестве замечаний и пожеланий отмечено, что «хотелось бы видеть описание программной реализации предложенных методов. Также представляет интерес анализ чувствительности найденного оптимального режима к погрешности используемых аппроксимаций характеристик времени отклика, особенно для систем с числом подсистем больше двух. В частности, было бы полезно оценить, насколько погрешность исходной аппроксимации влияет на положение найденного оптимума и значение целевой функции».

6. Пауль Светлана Владимировна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор научно-образовательного центра «Высшая ИТ школа» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет». В качестве замечаний отмечено, что

«в автореферате описан четырехэтапный комплексный метод оценки характеристик, однако последовательность и взаимосвязь этапов, особенно между визуальным анализом и последующей оптимизацией, изложены схематично. Желательно было бы привести блок-схему или более развернутое алгоритмическое описание, демонстрирующее, как именно результаты визуализации влияют на выбор структуры аппроксимирующей формулы».

7. Сараев Павел Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет». К автореферату имеются следующие замечания:

1) Следовало четче сформулировать границы применимости предложенных методов в зависимости от значений параметров распределений.
2) Необходимо подробнее обосновать выбор применяемых архитектур нейронных сетей.

8. Угольницкий Геннадий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и программирования Института математики, механики и компьютерных наук им. И. И. Воровича ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет». В качестве замечания отмечено, что «хотелось бы видеть более четкое формальное описание комплексного метода в виде алгоритма с указанием входов, выходов и критериев остановки. В текущей версии метод описан словесно, что оставляет некоторый простор для интерпретации».

9. Хохлов Юрий Степанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры математической статистики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова». В отзыве указаны следующие замечания:

1) Следовало бы более подробно остановиться на ограничениях применимости предложенных методов для систем с большим числом подсистем (K > 20) и при значениях параметров, выходящих за рамки рассмотренных интервалов.
2) Не вполне ясно, насколько предложенные методы чувствительны к выбору типа нейросетевой архитектуры и размера обучающей выборки.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области системного анализа, теории массового обслуживания, теории вероятностей и случайных процессов, статистического моделирования и анализа данных, а также методов машинного обучения, что подтверждается их исследованиями и публикациями в высокорейтинговых научных журналах.

Выбор ведущей организации основан на том, что ИПМ ДВО РАН является одним из ведущих отечественных научных учреждений в области прикладной математики, теории массового обслуживания и вероятностных методов, в котором работают специалисты в области системного анализа, математического моделирования, численных методов, методов оптимизации и машинного обучения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– разработан новый метод анализа систем с разделением и параллельным обслуживанием на основе машинного обучения, результатом применения которого является обученная интеллектуальная модель, позволяющая оценить характеристики для любых промежуточных значений входных параметров из заданного интервала; возможности метода продемонстрированы на примере оценки математического ожидания и дисперсии времени отклика системы;

– разработан новый комплексный метод анализа систем с разделением и параллельным обслуживанием, включающий в себя множественную

регрессию, визуальный анализ данных, имитационное моделирование и метод оптимизации, результатом применения которого являются аналитические выражения для оценки характеристик системы с разделением и параллельным обслуживанием, в частности, математического ожидания, дисперсии времени отклика системы.

– впервые **получены** точные формулы для коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмена, а также аналитическое приближение коэффициента корреляции Кендалла между временами пребывания в подсистемах системы с разделением и параллельным обслуживанием с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальным распределением времен обслуживания;

– впервые **разработана** мета-гауссовская модель, позволяющая оценивать характеристики времени отклика системы с разделением и параллельным обслуживанием с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальным распределением времен обслуживания: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, квантили;

– **разработан** новый метод оценки квантилей распределения времени отклика систем с разделением и параллельным обслуживанием с пуассоновским входящим потоком на основе элементов теории копул и их диагональных сечений;

– **разработан** новый метод оценки квантилей распределения времени отклика систем с разделением и параллельным обслуживанием с различными вариантами распределений для входящего потока и распределением со степенным хвостом времен обслуживания на примере распределения Парето на основе аппроксимации распределения времени отклика распределением Фреше и метода моментов;

– **разработаны** новая модель и на ее основе метод определения оптимальной интенсивности обслуживания для систем с разделением и параллельным обслуживанием на примере систем с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальным распределением или распределением Парето времен обслуживания;

– **разработан** новый метод определения характеристик остаточного времени обслуживания систем с разделением и параллельным обслуживанием с двумя бесконечнолинейными подсистемами и различными распределениями времени обслуживания; метод основан на нахождении функции распределения максимумов остаточных времен обслуживания, что позволяет вычислить моменты остаточного времени обслуживания, а также определить соответствующие копулы и коэффициент Бломквиста.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– **разработан** комплекс алгоритмов и методов системного анализа, а также управления системой с разделением и параллельным обслуживанием; для анализа впервые **предложены** метод на основе машинного обучения, комплексный метод с использованием множественной регрессии, метода оптимизации и визуального анализа данных;

– впервые **получены** точные выражения для коэффициентов корреляции между временами пребывания подзаявок в подсистемах системы с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальным распределением времен обслуживания на приборах, а также приближенные формулы для оценки коэффициентов корреляции между временами пребывания подзаявок в подсистемах системы с пуассоновским входящим потоком и распределением Парето времен обслуживания на приборах;

– **получены** оценки для копул времен пребывания подзаявок в подсистемах системы с разделением и параллельным обслуживанием;

– **предложена** модель управления для систем с разделением и параллельным обслуживанием, которая позволяет определить оптимальное значение интенсивности обслуживания в зависимости от интенсивности входящего потока;

– **получены** формулы для функции распределения остаточного времени обслуживания системы с разделением и параллельным обслуживанием с двумя бесконечнолинейными подсистемами с различными вариантами распределений для времени обслуживания на приборах.

Значение полученных результатов исследования **для практики подтверждается тем, что** системы массового обслуживания с разделением и параллельным обслуживанием широко используются для моделирования различного рода процессов, в рамках которых происходит разделение или распараллеливание задач, в частности, в области информационных технологий при моделировании процесса функционирования высокопроизводительных вычислительных сред, использующих для повышения производительности различные методы распараллеливания. Определение характеристик систем с разделением и параллельным обслуживанием: моментов и квантилей времени отклика, корреляций между временами пребывания подзаявок, а также оптимальной интенсивности обслуживания по критерию финансовых показателей, позволяет корректно спроектировать систему и спрогнозировать ее поведение.

Достоверность представленных результатов диссертационного исследования, подтверждается строгими математическими доказательствами теорем, лемм и утверждений, согласованностью теоретических результатов с результатами вычислительных экспериментов, проведенных с помощью компьютерного моделирования, а также экспертизой научных статей, опубликованных в ведущих научных российских и международных изданиях, апробацией и обсуждением результатов на международных и российских научных конференциях и семинарах.

В работах, опубликованных в соавторстве, **личный вклад** соискателя является определяющим. Постановка задач и общее направление исследований определялись научным консультантом. Автору диссертации принадлежат: разработка методов, получение аналитических результатов, проведение вычислительных экспериментов, текстовое оформление статей, математические выкладки, анализ результатов и формулировка выводов.

Соискатель Горбунова А. В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию, удовлетворившую авторов вопросов.

На заседании 20 октября 2026 года диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., и принял решение присудить Горбуновой А. В. ученую степень доктора физико-математических наук за значимые научные результаты в области системного анализа, касающиеся разработки новых методов и алгоритмов анализа и управления для стохастических систем с разделением и параллельным обслуживанием.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 26 человек, из них 7 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвующих в заседании, из 36 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» присуждение ученой степени – 25, «против» присуждения ученой степени – 1, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета 24.1.224.01
д. т. н., профессор, академик РАН Ю. С. Попков

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.224.01
д. т. н., доцент И. В. Смирнов

«20» октября 2026 г.