

УТВЕРЖДАЮ

Врио проректора по научной
деятельности и цифровизации
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»,
доктор технических наук, доцент

В.М. Бабушкин

«24» 02 * 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева–КАИ» на диссертационную работу Хасанова Нияза Аделевича «Моделирование замкнутых систем массового обслуживания с трехкомпонентным потоком заявок и ограничением по времени ожидания заявки в очереди», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертационного исследования.

В работе Хасанова Н.А. впервые подвергнута анализу многоканальная система обслуживания с обратной связью, в которой присутствует трехкомпонентный входящий поток требований и установлены лимиты на продолжительность нахождения запроса в очереди. Подобные системы находят широкое применение при анализе работы различных технических комплексов, включая сети телекоммуникаций и вычислительной техники, транспортные узлы, логистические структуры, сервисные отрасли и другие.

Согласно президентскому указу №145 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», одним из приоритетов научно-технического прогресса в стране является развитие интеллектуальных телекоммуникационных сетей.

В реалиях четвертой промышленной революции, отличающейся интеграцией информационных технологий в производственные циклы, масштабной автоматизацией деловых операций и использованием искусственного интеллекта, существенно возрастает важность задач, направленных на повышение результативности технологических операций и технических устройств.

Одним из основных способов оценки продуктивности подобных систем является вероятностное моделирование, базирующееся на теории массового обслуживания. Исследование моделей обслуживания с ограничениями по управляющим параметрам не только совершенствует существующие методы и процессы, но и создает возможности для дальнейших исследований. Это вносит вклад в развитие как теоретических, так и прикладных областей науки.

В теории массового обслуживания (ТМО) наиболее детально изучены открытые системы, опирающиеся на упрощенные представления о входящих заявках. Закрытые системы массового обслуживания (СМО), напротив, остаются значительно менее проработанными, особенно в плане разработки математических моделей для их описания. В частности, для закрытых СМО практически отсутствуют комплексные модели, способные адекватно отображать системы, где заявки проявляют различное поведение: часть ожидает обслуживания, часть требует немедленного исполнения, а часть покидает очередь по истечении определенного времени ожидания. Анализ и настройка таких систем часто базируются на упрощенных допущениях о поведении заявок и ограничениях системы, что не всегда соответствует реальным условиям. Сочетание закрытости, ограничений по времени ожидания и трехкомпонентного потока заявок, характерное для многих реальных систем, слабо отражено в существующих исследованиях. Отсутствие аналитических методов для закрытых СМО с указанными ограничениями создает разрыв между теоретическими разработками и практической реализацией, усложняя проектирование и эффективное управление такими системами. Это вынуждает либо использовать упрощенные модели, дающие значительные погрешности, либо прибегать к ресурсоемкому имитационному моделированию для каждой конкретной конфигурации.

В представленной работе впервые предложена математическая модель СМО с разнородным входящим потоком, ограниченным ресурсом источника и лимитом на время ожидания в очереди. Данные системы находят применение в мониторинге производственных процессов (таких как станки, автоматизированные линии, системы контроля качества), в IT-инфраструктуре (включая облачные вычисления и системы облачного сканирования данных), в логистике, транспорте, медицинских учреждениях, телекоммуникациях и call-центрах. Таким образом, разработка инструментария для анализа характеристик закрытой СМО, учитывающей ограничение на время ожидания и трехкомпонентный поток заявок, предоставит необходимый научно обоснованный подход для оценки функционирования и конфигурирования подобных систем.

Содержание работы.

Представленное диссертационное исследование комплексно рассматривает теоретические и практические аспекты, относящиеся к системам обслуживания заявок. Работа структурирована на несколько основных разделов, каждый из которых является существенным для углубленного понимания рассматриваемой проблематики.

Введение определяет вектор всего исследования, обозначая значимость выбранной темы, главную цель и конкретные задачи, а также применяемые методы и общий план работы.

Основная часть диссертации включает в себя шесть глав, каждая из которых фокусируется на отдельном направлении изучения и разработки моделей для систем массового обслуживания.

В первой главе представлен анализ современных научных исследований, затрагивающих СМО с ограничениями, и дан обзор актуальных результатов в этой области. Сформулирована цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе разработана математическая модель замкнутой СМО с трехкомпонентным входящим потоком и лимитом на время ожидания заявки в очереди. Выведены математические выражения для расчета вероятностных, количественных и временных характеристик СМО в установившемся режиме функционирования.

В третьей главе создана имитационная модель исследуемой СМО с применением языка программирования Python и метода Монте-Карло. Данная модель позволяет определять числовые параметры СМО в нестационарном режиме. Кроме того, найдено аналитическое решение системы уравнений Колмогорова для конкретного случая параметров.

В четвертой главе выполнено численное моделирование разнообразных режимов работы замкнутой СМО с трехкомпонентным потоком заявок и ограничением на время ожидания в очереди в стационарном режиме. Вычислены вероятностные, числовые и временные показатели СМО. Изучены сценарии с наличием и отсутствием в потоке "нетерпеливых заявок", и сделаны выводы о влиянии нулевой компоненты потока на основные параметры системы.

В пятой главе представлен алгоритм, использующий численный метод Ньютона с адаптивной релаксацией и итерационный метод поиска по сетке, для нахождения оптимальных режимов функционирования замкнутой СМО с трехкомпонентным потоком и ограничением по времени ожидания заявки в очереди в стационарном режиме. На основе результатов вычислительных экспериментов построены графические зависимости ключевых параметров системы при заданном уровне обслуживания по относительной пропускной способности и среднему времени ожидания.

В шестой главе предложены практические рекомендации, которые необходимо учитывать при применении результатов диссертационной работы к реальным системам.

В заключении диссертации представлены основные результаты исследования и перспективы дальнейшего развития данной темы.

В приложении приводятся пример оценки соответствия входного потока распределению Пуассона и времени обслуживания экспоненциальному распределению, акт о внедрении результатов диссертационной работы, а также свидетельство о регистрации электронного ресурса, что подтверждает практическую значимость проведенного исследования.

Научная новизна.

Представленная на отзыв работа содержит ряд новых результатов:

1. Предложена новая математическая модель для анализа замкнутой СМО с тремя типами входящих запросов. Её уникальность заключается в интеграции свойств классических замкнутых СМО с ограничением времени ожидания в очереди, модели Энгсета и стандартной многоканальной замкнутой СМО. С использованием аналитических методов выведены формулы для вычисления вероятностных показателей, числовых и временных характеристик системы в стационарном режиме работы, обеспечивающие возможность получения количественных оценок основных параметров СМО.
2. Представлен вычислительный алгоритм для оптимизации режимов функционирования СМО, особенностью которого является возможность определения необходимых комбинаций исходных данных для достижения желаемого уровня эффективности СМО, измеряемого относительной пропускной способностью системы. Установлено, что при включении в поток входящих запросов «нетерпеливых» заявок, тип зависимости интенсивности обслуживания от общей интенсивности входящего потока при заданном значении относительной пропускной способности трансформируется из степенной в линейную.
3. Создана имитационная модель СМО с применением языка программирования Python, базирующаяся на методе Монте-Карло. Эта модель позволяет выполнять расчет характеристик системы в переходном (нестационарном) режиме работы.
4. Спроектирован специализированный программный комплекс для проведения вычислительных экспериментов, выделяющийся способностью вычислять характеристики замкнутых СМО и оценивать её производительность.

Теоретическая значимость и практическая значимость.

Теоретическая ценность работы заключается в углублении математической базы теории массового обслуживания. Область практического

использования изысканий охватывает множество секторов, таких как промышленность, сфера торговли, администрирование производственных мощностей и процессов, телекоммуникации, а также транспорт и складирование. Выводы исследования релевантны для систем, в которых гетерогенные потоки запросов оказывают заметное влияние на результативность сервиса. В подобных системах нередки ситуации с неоднородными видами требований, обуславливающих необходимость дифференцированного подхода к организации обслуживания. Часть разработанных методик может быть включена в образовательные программы теоретической и практической направленности, в частности, в курсы по теории очередей в классических учебных заведениях и по теории телетрафика в специализированных университетах.

Достоверность и обоснованность результатов.

Достоверность диссертационных выводов достигается путем точной формулировки исследовательских вопросов, аккуратного проведения математических операций, а также подтверждения адекватности найденных ответов путем их сравнения с установленными примерами, представленными в работах других исследователей.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в известных печатных изданиях, в том числе 4 статьях, опубликованных в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, 4 работах в журналах и сборниках трудов всероссийских и международных конференций, зарегистрированном программном продукте.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации.

Рекомендуется использовать результаты диссертационного исследования Хасанова Н. А. в деятельности ряда предприятий, в том числе, ООО «НПФ Геоник» в части решений для анализа загруженности сервисных ресурсов и выявления факторов, ограничивающих эффективность обслуживания оборудования.

Также рекомендуется дальнейшее развитие данного научного направления на базе организации, где выполнена диссертация, и на базе ведущих отраслевых вузов, занимающихся разработкой данной темы, в направлении создания математических моделей, методов и комплексов программ для исследования и разработки объектов, функционирующих по принципу систем массового обслуживания.

Замечания по диссертации.

1. В главе 2 материал следовало бы дополнить анализом влияния параметров обслуживания на характеристики. Например, привести результаты имитационного моделирования при аппроксимации времени обслуживания различными законами распределения.

2. В главе 3 автор представляет аналитическое решение системы уравнений Колмогорова методом производящих функций для нестационарного режима. Однако это решение получено для частного случая при трех существенных допущениях: вероятность состояния $P_N(t) \approx 0$ (система никогда не заполняется полностью), отсутствие заявок 0-го типа ($\lambda_0 = 0$), равенство интенсивностей обслуживания и ухода из очереди ($\nu = \mu$). Следовало бы более детально обсудить, является ли этот частный случай лишь тестовым примером для верификации имитационной модели, или же он описывает какой-то важный класс реальных задач.

3. В главе 4 автор приводит расчеты не только средних значений, но и дисперсий, а также коэффициентов вариации. Это является сильной стороной работы, так как позволяет оценить стабильность системы. Было бы полезно провести анализ чувствительности, показывающий, как изменение входных параметров влияет не только на средние характеристики, но и на их вариабельность. Это усилило бы практическую ценность работы, так как для многих систем важна не только средняя производительность, но и её предсказуемость (низкая дисперсия).

4. В главе 5 диссертации алгоритмы поиска значений параметров, соответствующих эффективным режимам, следовало бы представить в виде блок-схем, а не в виде кодов, что способствовало бы лучшему восприятию работы.

Несмотря на высказанные замечания, общее качество представленной на отзыв научной работы оценивается как высокое, а замечания носят преимущественно рекомендательный характер. В диссертации глубокий теоретический анализ удачно дополнен убедительными результатами численного моделирования. Полученные выводы являются значимыми и хорошо обоснованными. Автор продемонстрировал отличное владение современными методами теории массового обслуживания и их практическим применением. Проведенная работа заслуживает высокой оценки. Ключевые результаты были своевременно опубликованы в специализированных научных журналах и получили известность среди экспертов в области теории массового обслуживания. Автореферат адекватно и всесторонне отражает содержание диссертации. Как диссертация, так и автореферат полностью соответствуют установленным требованиям ВАК.

Общее заключение.

Диссертационная работа Хасанова Нияза Аделевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена нетривиальная научная задача комплексного исследования замкнутых систем массового обслуживания с трехкомпонентным потоком заявок и ограничением по времени ожидания заявки в очереди, связанная с разработкой математических моделей, методов, алгоритмов и комплекса программ, позволяющих определить количество обслуживающих устройств, необходимое и достаточное для обеспечения требуемой производительности при определенной совокупности начальных условий, что имеет существенное значение для развития страны.

Таким образом, диссертационная работа «Моделирование замкнутых систем массового обслуживания с трехкомпонентным потоком заявок и ограничением по времени ожидания заявки в очереди» соответствует критериям, предъявляемым в отношении кандидатских диссертаций, которые установлены п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, в действующей редакции), а ее автор, Хасанов Нияз Аделевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ» «24» февраля 2026 г., протокол № 2.

Заведующий кафедрой
автоматизированных систем обработки
информации и управления,
кандидат технических наук,
(специальность 05.13.05),
доцент


24.02.2026г.

Шлеймович
Михаил
Петрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ»

Адрес: 420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

Тел.: +7 (843) 231 01 09.

e-mail: kai@kai.ru.

http://www.kai.ru.

Подпись 
заверяю. Начальник управления
делами производства и контроля



Вход. № 05-8840
« 12 » 03 2026 г.
подпись 