

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Тарасова Вениамина Николаевича 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**

Системы массового обслуживания потоков требований случайного характера активно распространяются в наиболее инновационные области современных приложений, такие как, например, телекоммуникационные системы, объекты транспортной инфраструктуры, различные логистические объекты, а также различные пункты обслуживания населения.

В представленной на отзыв работе впервые предлагается математическая модель системы массового обслуживания (СМО), учитывающая неоднородность входящего потока, ограниченность ресурсов источника и максимальное время ожидания в очереди. Подобные системы находят применение в различных областях, включая мониторинг производственных линий (например, станки, автоматизированные линии и системы контроля качества), информационные технологии (облачные вычисления и системы сканирования данных), логистику, транспорт, здравоохранение, телекоммуникации и call-центры. Следовательно, разработка комплекса аналитических инструментов для замкнутой СМО с ограничением времени ожидания и трехкомпонентным потоком запросов обеспечит необходимый научно обоснованный подход к оценке и оптимизации функционирования таких систем, что является важным вкладом в данную область.

В работе изучаются эксплуатационные особенности стационарного и нестационарного режимов функционирования системы. При этом численным путем определяются значения числа обслуживающих устройств, при которых обеспечивается требуемая производительность системы, задаваемая ее относительной пропускной способностью. В результате подобного анализа становится ясно, как будет вести себя система при определенной совокупности входных параметров (внешних условий), и что нужно сделать еще на этапе

проектирования, чтобы система работала стабильно и предсказуемо. Поскольку проведенное в работе исследование носит ярко выраженный прикладной характер, изученная проблема является, на мой взгляд, весьма актуальной.

### **Содержание работы**

Диссертация включает введение, шесть глав, заключение, список литературы, включающий 96 литературных источников, и приложения. Общий объем диссертации составляет 162 страницы, включая 65 рисунков и 22 таблицы.

**В первой главе** рассмотрены актуальные исследовательские работы, имеющие отношение к СМО с ограничениями, проведен обзор результатов последних исследований. Выполнена постановка задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** построена математическая модель замкнутой СМО с трехкомпонентным потоком заявок и ограничением по времени ожидания заявки в очереди. Получены математические формулы для нахождения вероятностных, числовых и временных характеристик СМО в стационарном режиме работы.

**В третьей главе** с использованием языка программирования Python и метода Монте-Карло разработана имитационная модель рассматриваемой СМО, позволяющая определять числовые характеристики СМО в нестационарном режиме. Также получено аналитическое решение системы уравнений Колмогорова для частного случая  $P_N(t) \approx 0$ ,  $\lambda_0 = 0$ ,  $\nu = \mu$ .

**В четвертой главе** проведено численное моделирование различных режимов работы замкнутой СМО с трехкомпонентным потоком заявок и ограничением по времени ожидания заявки в очереди в стационарном режиме. Определены вероятностные, числовые и временные характеристики СМО. Рассмотрены случаи наличия и отсутствия в потоке «нетерпеливых заявок», на основании чего сделаны выводы о влиянии 0-й компоненты потока на основные характеристики системы.

**В пятой главе** представлен алгоритм, использующий численный метод Ньютона с адаптивной релаксацией и итерационный метод поиска по сетке для поиска эффективных режимов работы замкнутой СМО с трехкомпонентным потоком заявок и ограничением по времени ожидания заявки в очереди в стационарном режиме. По результатам вычислительных экспериментов построены графики зависимостей для ключевых параметров системы при обеспечении требуемого уровня обслуживания по параметру относительной пропускной способности и среднему времени ожидания.

**В шестой главе** даны практические рекомендации, которых следует придерживаться при применении результатов диссертационной работы к реальным объектам.

## **Научная новизна и теоретическая значимость результатов**

Основные результаты, обладающие научной новизной и определяющие теоретическую ценность диссертационного исследования:

- Разработана новая математическая модель замкнутой СМО с трехкомпонентным входным потоком заявок, отличающаяся сочетанием свойств известных моделей замкнутых СМО с ограниченным временем ожидания заявки в очереди, модели Энгсета, а также классической модели многоканальной замкнутой СМО.
- Получены выражения для расчета вероятностных, числовых и временных характеристик СМО в стационарном режиме функционирования, позволяющие получать численные значения ключевых характеристик СМО.
- Разработан численный алгоритм поиска эффективных режимов работы СМО, отличающийся возможностью определения требуемых сочетаний входных данных для достижения заданной эффективности функционирования СМО, критерием которой является относительная пропускная способность системы.
- Выявлено, что при добавлении во входной поток «нетерпеливых» заявок характер зависимости интенсивности обслуживания от суммарной интенсивности входного потока при фиксированной величине относительной пропускной способности меняется со степенного на линейный.
- Разработана имитационная модель СМО с использованием языка программирования Python, основанная на методе Монте-Карло и позволяющая производить вычисление характеристик системы в нестационарном режиме функционирования.
- Разработан комплекс специализированных программных средств для проведения вычислительных экспериментов, отличающийся возможностью расчета характеристик замкнутых СМО и оценки её эффективности.

## **Практическая ценность полученных результатов**

Представленные в работе результаты могут быть использованы в различных предметных областях, таких как телекоммуникационные, транспортные системы, производство, логистика, сфера обслуживания и др., а также при проектировании различного рода объектов, работающих по принципу систем массового обслуживания.

## **Степень обоснованности и достоверности полученных результатов**

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректностью постановок задач, строгостью выполнения математических выкладок, а также проверкой полученных решений на соответствие известным частным случаям, описанным другими авторами.

## **Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати**

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, зарегистрирован программный продукт.

### **Замечания по содержанию диссертации**

По содержанию работы можно высказать следующие замечания:

1. Задача диссертационного исследования ограничена изучением только марковских моделей СМО с трехкомпонентным входным потоком заявок и ограниченным временем ожидания обслуживания заявки в очереди.

2. В работе проводится анализ модели в предположении пуассоновских потоков. Представляется интересным проанализировать характеристики систем для рекуррентных входящих потоков, хотя бы с помощью имитационного моделирования.

3. В выводах по главам следовало бы указать ссылки на опубликованные работы автора. В заключении диссертации стоило бы сделать выводы по всей диссертационной работе в целом, то есть отразить то, что отличает работу от ранее выполненных исследований по теме диссертации.

4. В диссертации отсутствует список условных обозначений, что затрудняет восприятие работы.

Тем не менее, указанные замечания не снижают общего уровня диссертационной работы. В работе предложен и разработан комплекс инструментов для исследования объектов и систем, работающих по принципу систем массового обслуживания. Проведено комплексное исследование режимов работы СМО с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 9 научных трудах и доложены на ряде научных конференций. Автореферат правильно отражает основные положения и результаты диссертационной работы. По форме как диссертация, так и автореферат, соответствуют требованиям ВАК.

Следует отметить, что направленность диссертационного исследования на построение математических моделей, использование численных методов и разработка на этой основе комплекса программ, позволяют уверенно отнести его к специальности 1.2.2.

## Общее заключение по диссертации

Представленная диссертационная работа обладает научной новизной, теоретической и практической ценностью, является законченной и самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой решается актуальная для ряда предметных областей задача комплексного исследования замкнутых систем массового обслуживания с трехкомпонентным потоком заявок и ограничением по времени ожидания заявки в очереди, которая заключается в создании математических моделей, численных методов и алгоритмов, и разработке на их основе комплекса программ для определения требуемого количества обслуживающих устройств, необходимого и достаточного для обеспечения требуемой производительности при определенной совокупности начальных условий, что имеет существенное значение для развития страны.

Считаю, что диссертационная работа Хасанова Нияза Аделевича «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 (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции)), а Хасанов Нияз Аделевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент, профессор кафедры информатики и робототехнических систем ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», доктор технических наук, (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор

20.02.2026

Тарасов Вениамин Николаевич

Подпись В.Н. Тарасова заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ПГУТИ

к.э.н.



Н.А. Стефанова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики».

Адрес: 443010, Российская Федерация, Самары, ул. Л. Толстого, 23.

Тел.: +7 (846) 228 00 13. E-mail: v.tarasov@psuti.ru

Вход. № 05-8841  
« 12 » 03 2026 г.  
подпись