

## Отзыв официального оппонента

на диссертацию Попова Валентина Геннадьевича на тему «Разработка модели контакт-центра с учетом дифференциации по типам доступа» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

### Актуальность темы диссертационного исследования

Современные контакт-центры являются критически важным звеном в процессах обслуживания клиентов телекоммуникационных, финансовых, транспортных и других компаний. Рост числа каналов взаимодействия (голосовые вызовы, текстовые запросы, файловые обмены), внедрение систем автоматизации (чат-боты, голосовые помощники) и повышенные требования к качеству обслуживания (QoS) приводят к существенному усложнению задач планирования ресурсов.

Отдельно стоит выделить проблему совместной обработки разнородных запросов – голосовых и файловых. Большинство существующих моделей либо рассматривают эти типы изолированно, либо не учитывают важные факторы, такие как поступление файлов группами, ограниченность буфера ожидания для файлов, устаревание информации в файлах, а также наличие этапа самообслуживания для голосовых запросов.

В своей диссертации Попов В.Г. предлагает комплекс математических моделей, которые позволяют количественно оценивать влияние указанных факторов на производительность контакт-центра, обоснованно определять необходимое число операторов, размер очередей голосовых/файловых вызовов и оценивать эффект от внедрения чат-ботов. Таким образом, тема исследования является актуальной как с научной, так и с практической точки зрения.

## Краткая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы (120 наименований) и двух приложений. Основной текст изложен на 142 страницах, содержит 27 рисунков и 1 таблицу.

**Во введении** обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, приведены научная новизна и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** выполнен комплексный анализ архитектур современных контакт-центров, выявлены основные проблемы в области моделирования процессов клиентского обслуживания, которые требуют научно обоснованного решения. Отдельно рассмотрены особенности обработки файловых запросов, поступающих группами.

**Во втором разделе** предложена математическая модель контакт-центра с произвольным числом категорий клиентов и двумя типами обслуживающего ресурса (операторы и вычислительные ресурсы) и очередью для клиентских запросов, ожидающих обслуживания оператором, в котором предусмотрена обязательная предобработка запроса клиента чат-ботом. Построен составной марковский процесс, описывающий число запросов каждой категории, обслуживаемых чат-ботом, и суммарное число запросов в очереди и на обслуживании, получены выражения для расчета потерь клиентских запросов из-за нехватки ресурсов чат-бота и из-за нетерпеливости клиентов. С использованием численных экспериментов показано, что внедрение современных средств автоматизации позволяет значительно сократить необходимое число операторов.

**В третьем разделе** для модели раздела 2 разработан алгоритм оценки доли потерянных запросов, проведен расчет минимального числа операторов при заданных интенсивности поступления, интенсивности обслуживания запроса, вероятностях успешного завершения обслуживания запроса на этапе предобработки чат-ботом для клиентов каждой категории, интенсивности

нетерпеливости клиента, числе мест для ожидания в ограничениях на долю потерянных запросов. Количественный эффект от применения предобработки запроса клиента чат-ботом показан для частного случая с помощью сравнения моделей с предобработкой и без предобработки запроса клиента чат-ботом.

**В четвертом разделе** разработана модель совместного обслуживания запросов двух категорий (голосовые и файловые) с учетом предобработки голосовых запроса клиента чат-ботом и буфера файловых запросов для ожидания освобождения оператора. Учтены такие особенности работы контакт-центров, как групповое поступление файлов, ограниченный размер буфера ожидания для файлов, устаревание информации файла (аналог нетерпеливости клиента из модели раздела 2), приоритизация категорий запросов при распределении ресурса. Модель исследована в предположении заданного распределения случайной длины поступающих групп файлов, экспоненциально распределенного времени устаревания информации файла с заданным параметром, ограничивающим среднее время ожидания файла в буфере, приоритета файловых запросов при распределении операторов. Построен составной марковский процесс, описывающий суммарное число запросов обеих категорий на обслуживании операторами и файловых запросов в буфере ожидания, в предположении глобального баланса разработан рекурсивный алгоритм для вычисления стационарных вероятностей модели. Проведены численные эксперименты, количественно показывающие эффект наличия очереди для файлов при пуассоновском потоке групп файлов с заданным распределением длины группы. Кроме того, проиллюстрирована процедура выравнивания потерь между потоками трафика разных категорий.

В заключении обобщены результаты проведенного исследования и сделаны соответствующие выводы. В приложениях представлены доказательства успешного внедрения научных разработок в реальную практику.

## Научная новизна

1. Разработана математическая модель совместного обслуживания голосовых и файловых запросов в контакт-центре, которая, в отличие от известных аналогов, комплексно учитывает следующие особенности: поступление файлов группами случайного размера, ограниченный размер буфера ожидания для файлов, устаревание информации файла с заданным порогом «свежести». Модель сохраняет баланс между детальностью и вычислительной простотой, что делает её пригодной для решения практических задач планирования штата операторов в контакт-центрах.
2. Предложен рекурсивный алгоритм оценки характеристик модели, позволяющий эффективно вычислять стационарные вероятности состояний для пространств состояний большой размерности. Алгоритм даёт возможность оценивать ключевые показатели качества обслуживания: долю потерянных голосовых и файловых запросов, зависимость потерь от размера буфера, необходимое соотношение между числом операторов и мест ожидания, эффект от назначения файлам приоритета в обслуживании.
3. Разработан подход к оценке необходимого числа операторов контакт-центра с учётом внедрения средств автоматизации (чат-ботов). В отличие от существующих методов, он обеспечивает количественную оценку снижения нагрузки на персонал при заданном уровне сервиса и позволяет аналитически обосновать сокращение операционных расходов. Показано, что учёт времени обслуживания на стадии чат-бота даёт более точные результаты по сравнению с упрощёнными моделями.
4. Сформулированы практические рекомендации по применению модели для планирования ресурсов. К ним относятся: определение минимального числа операторов и размера буфера, оценка влияния чат-ботов, а также метод выравнивания потерь между типами запросов разных категорий (голосовыми и файловыми) путём изменения

приоритетов или числа операторов. Рекомендации доведены до уровня конкретной методики, что подтверждается актами внедрения.

### **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлена корректным применением методов теории вероятностей, теории случайных процессов, теории массового обслуживания и теории телетрафика.

### **Практическая ценность**

Практическая ценность работы заключается в разработке методик и алгоритмов, которые могут быть использованы непосредственно при планировании ресурсов в современных контакт-центрах. Предложенные модели позволяют определить минимально необходимое число операторов в зависимости от интенсивности и структуры входящего потока, что даёт возможность снизить эксплуатационные затраты на персонал без ухудшения качества обслуживания. Показана количественная оценка эффекта от внедрения автоматизации, демонстрирующая, насколько использование чат-бота сокращает потребность в операторах, что может служить обоснованием инвестиций в подобные решения. Модель также позволяет рассчитать оптимальный размер буфера ожидания для файловых запросов с учётом ограниченного времени старения информации и обеспечить выравнивание потерь между разнородными типами запросов. Результаты внедрены в компании ООО «НТЦ АРГУС» и в учебный процесс МГУСИ, что подтверждено соответствующими актами.

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы были представлены на международных и российских научно-технических конференциях. По теме диссертации опубликовано 9 работ, из них 2 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ, 4 – в изданиях, индексируемых в Scopus, получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

## Замечания по диссертационной работе

Несмотря на высокий научный уровень и практическую значимость выполненного исследования, по диссертационной работе имеется ряд замечаний.

1. Литературный обзор по теме диссертационной работы выполнен на достаточном уровне, чтобы обосновать актуальность работы и отличие ее результатов от известных результатов других авторов. Обзор мог быть расширен за счет работ по системам с повторными вызовами российских и зарубежных авторов, включая Фалин Г.И, Назаров А.А., Wilkinson R.I., Cohen J.W., Artalejo J. R.
2. В диссертационной работе недостаточно полно отражена верификация разработанных моделей. Упоминается, что численные результаты согласуются с ожидаемым поведением системы, однако отсутствует прямое сравнение с результатами имитационного моделирования или с данными, полученными на реальных контакт-центрах. Такое сравнение повысило бы убедительность полученных выводов.
3. В разделах 2-4 диссертационной работы среди прочих показателей качества обслуживания клиентов получены аналитические выражения для вероятностей потери клиентского запроса по той или иной причине. На схемах системных моделей контакт-центров (рис. 2.1, 3.1, 4.1) и описывающих их математических моделей (рис. 2.2, 3.2, 4.2) желательно показать пунктирными стрелками и подписать вероятности потери клиентского запроса по каждой из возможных причин.
4. В моделях разделов 2 и 3 вероятности поступления запроса каждой категории ( $p_1, \dots, p_n$ ) и вероятности успешного завершения обслуживания запроса каждой категории на этапе чат-бота ( $f_1, \dots, f_n$ ) предполагаются заданными. Желательно уточнить, как получить эти значения.

5. В разделе 3, где разработан алгоритм нахождения минимального числа операторов контакт-центра, желательно строго сформулировать задачу оптимизации – целевая функция, ограничения.
6. В разделе 4, посвященном совместному обслуживанию голосовых и файловых запросов, вводится предположение об экспоненциальном распределении времени устаревания информации. В тексте не обсуждается, насколько это допущение соответствует реальным условиям функционирования контакт-центров, где время актуальности файлов может определяться детерминированными или иными законами распределения.
7. Также в четвертом разделе приоритет в обслуживании отдается файловым запросам. Было бы полезно привести примеры из практики, которые обосновывали бы указанное предположение.
8. В работе имеется ряд опечаток и стилистических неточностей. Например, для исчисляемых существительных желательно вместо термина «количество» использовать термин «число» - «число операторов», «число мест ожидания» и т.п.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, ее научной новизны и практической значимости.

### **Заключение**

Диссертационная работа Попова Валентина Геннадьевича «Разработка модели контакт-центра с учетом дифференциации по типам доступа» является завершенным научным исследованием, выполненным автором самостоятельно на высоком теоретическом уровне. В работе решена актуальная научная задача – построен и проанализирован комплекс математических моделей контакт-центров, учитывающих дифференциацию по типам доступа, совместное обслуживание голосовых и файловых запросов, групповой характер поступления файлов, ограниченность ресурсов,

возможность ожидания для запросов разных типов, «старение» информации, а также наличие чат-ботов.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» по пунктам: № 1 «Разработка, и совершенствование методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций», № 5 «Исследование путей совершенствования управления информационными потоками», № 6 «Развитие и разработка новых методов доступа абонентов к ресурсам сетей, систем и устройств телекоммуникаций». Автореферат диссертации соответствует основному содержанию работы.

Работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Попов Валентин Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

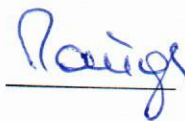
Официальный оппонент,

Гайдамака Юлия Васильевна,

д.ф.-м.н., проф., профессор кафедры теории

вероятностей и кибербезопасности РУДН

27.04.2026



Ю.В. Гайдамака

Сведения об оппоненте:

Гайдамака Юлия Васильевна, гражданка Российской Федерации, доктор физико-математических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики» (2017), профессор по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики» (2021), профессор кафедры теории вероятностей и кибербезопасности ФГАОУ ВО РУДН.

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6

+7(495) 955-09-99, gaydamaka-yuv@rudn.ru

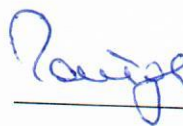
Федеральное государственное автономное образование учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.

<http://www.rudn.ru>, +7(499) 936-87-87, [rudn@rudn.ru](mailto:rudn@rudn.ru)

Я, Гайдамака Юлия Васильевна, даю согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Попова Валентина Геннадьевича, и их дальнейшую обработку.

27.04.2026



Ю.В. Гайдамака

Подпись Гайдамаки Ю.В. удостоверяю  
Зарядов Иван Сергеевич,  
к.ф.-м.н., ученый секретарь Ученого совета  
факультета физико-математических  
и естественных наук РУДН

27.04.2026



И.С. Зарядов