

На правах рукописи

**Попов Валентин Геннадьевич**

**Разработка модели контакт-центра с учетом  
дифференциации по типам доступа**

Специальность 2.2.15 —  
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2026 г.

Работа выполнена в Ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ).

**Научный  
руководитель:**

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

**Официальные  
оппоненты:**

**Росляков Александр Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сети и системы связи» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет связи и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ),

**Гайдамака Юлия Васильевна**, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Теория вероятностей и кибербезопасности» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы» (ФГАОУ ВО РУДН),

**Ведущая  
организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (ФГБОУ ВО СПбГУТ)

Защита диссертации состоится «20» мая 2026 года в 15:00 на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 55.2.002.01 при Ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» по адресу: 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 8-а, МТУСИ, ауд. А-211.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МТУСИ:  
<https://dis.mtuci.ru/upload/srd/Dis-Popov/dis-Popov.pdf>

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор

М.В. Терешонок

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Контакт-центры играют важную роль в обеспечении качественного взаимодействия между организациями и клиентами, предоставляя доступ через различные каналы — от телефонной связи до цифровых систем самообслуживания. Эффективность их работы напрямую влияет на уровень удовлетворенности клиентов и репутацию компании. Однако при высокой нагрузке и многообразии типов запросов возникает ряд проблем: увеличение времени ожидания, перегрузка операторов, снижение качества обслуживания. Особенно остро стоит задача принятия во внимание различий в типах обращений, таких как голосовые и файловые запросы, обработка которых отличается с точки зрения подходов и требуемого времени. Отсутствие учета таких особенностей в существующих моделях снижает производительность систем и мешает рациональному распределению ресурсов.

В условиях цифровизации и внедрения технологий автоматизации становится необходимым комплексный подход к моделированию контакт-центров. Современные компании нуждаются в инструментах, позволяющих сбалансировать автоматизированное и операторское обслуживание, учитывая особенности различных каналов связи. Разработка моделей, учитывающих дифференциацию по типам доступа, является важной задачей, решение которой позволит повысить производительность контакт-центров, снизить затраты на их содержание и обеспечить высокий уровень клиентского сервиса. Именно эти вопросы обсуждаются в диссертации, что говорит об актуальности проведенного исследования.

**Степень разработанности темы.** Поставленная задача решалась на базе моделей и методов теории телетрафика, теории вероятностей, теории массового обслуживания и теории случайных процессов. К российским и зарубежным ученым, внесшим большой вклад в эти области, относятся: Г.П. Башарин, В.М. Вишневский, Ю.В. Гайдамака, В.Г. Карташевский, И.А. Кочеткова, В.А. Наумов, А.П. Пшеничников, А.В. Росляков, К.Е. Самуйлов, С.Н. Степанов, М.С. Степанов,

И.И. Цитович, T. Donald, V.B. Iversen, L. Kleinrock, K.W. Ross, J. Virtamo и др. Вопросы исследования возможностей, заложенных в механизмы управления процессом обслуживания клиентских запросов в современных колл- и контакт-центрах, исследовались в работах российских и зарубежных ученых, таких как: А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн, А.А. Зарубин, В.С. Елагин, А.В. Росляков, С.Н. Степанов, М.С. Степанов, И.В. Степанова, G. Koole, B. Legros, A. Mandelbaum, V. Mejrtra, R. Stollitz и др. Отдельные вопросы построения и исследования моделей контакт-центров рассматривались в диссертационных работах: С.В. Ваняшина, А.А. Зарубина, М.С. Степанова, Омара Мухаммеда и др.

Анализ публикаций и выполненных диссертационных исследований показал, что в большинстве теоретических работ либо изучалось действие какого-то одного фактора на процесс распределения ресурса в контакт-центре (например, возможность повторения заблокированного запроса, маршрутизация запроса между различными группами операторов и т.д.), либо процесс распределения ресурса рассматривался с избыточной детальностью, что в итоге затрудняло использование предложенных методов. В рамках данного исследования предполагается построить модель, которая, с одной стороны, отражала бы особенности построения современных многоканальных контакт-центров, а с другой — могла бы использоваться в практических приложениях.

**Цель работы.** Построение модели современного контакт-центра и её использование для анализа процессов обслуживания разнородных запросов (голосовых и файловых) с учетом дифференциации по типам доступа, группового характера поступления файлов, ограниченности ресурсов, возможности ожидания запроса в очереди, старения передаваемой информации и автоматизированного обслуживания.

**Научная задача исследования.** Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать модели контакт-центра с дифференциацией по типу доступа и с учетом наличия автоматизированного обслуживания клиентов;

- определить характеристики качества обслуживания поступающих клиентских запросов для предложенных моделей;
- построить алгоритмы оценки характеристик;
- сформулировать рекомендации по использованию разработанных алгоритмов для повышения эффективности клиентского обслуживания в современных контакт-центрах.

**Объект исследования.** Современный многоканальный контакт-центр, обрабатывающий голосовые и файловые запросы.

**Предмет исследования.** Алгоритмы распределения ресурсов в контакт-центре с учетом дифференциации запросов по типам доступа и использования автоматизированных систем.

#### **Научная новизна.**

1. Разработана математическая модель совместного обслуживания голосовых и файловых запросов в контакт-центре, учитывающая особенности современных справочно-информационных систем: групповое поступление файлов случайного размера, возможность ожидания обслуживания для файлов и время старения информации. В отличие от известных моделей, предложенная модель комплексно отражает ключевые особенности построения современных многоканальных контакт-центров, сохраняя при этом простоту и применимость для решения практических задач планирования.
2. Разработан рекурсивный алгоритм для оценки характеристик модели, позволяющий эффективно вычислять ключевые показатели качества обслуживания, таких как, доля потерянных голосовых и файловых запросов, зависимость потерь файлов от размера буфера ожидания, оптимальное соотношение между числом операторов и местами ожидания, а также эффект приоритетности файлов при использовании механизма ожидания. Алгоритм обеспечивает численную оценку характеристик через систему уравнений равновесия и рекурсивные зависимости между вероятностями состояний. В отличие от стандартных методов решения

систем уравнений равновесия, предложенный рекурсивный алгоритм позволяет эффективно и с минимальными вычислительными затратами рассчитывать стационарные вероятности состояний и ключевые показатели эффективности для моделей, включающих миллионы состояний.

3. Предложен подход к оценке числа операторов контакт-центра, основанный на внедрения автоматизации для снижения нагрузки. В отличие от существующих подходов к планированию ресурсов, данный подход количественно оценивает эффект от внедрения чат-ботов, предоставляя аналитическое обоснование для сокращения операционных расходов при гарантированном уровне сервиса.
4. Разработаны практические рекомендации по применению модели для решения задач и планирования ресурсов контакт-центра, включая определение минимально необходимого числа операторов, мест ожидания, оценку влияния чат-ботов на снижение нагрузки и создание условий для дифференцированного обслуживания запросов. В отличие от предыдущих исследований, разработанные рекомендации представляют собой структурированную методику, позволяющую с использованием модели определять нужные параметры системы (количество операторов, размер буфера) и управлять приоритетами для выравнивания потерь между разнотипными запросами, что обеспечивает непосредственное внедрение результатов работы в практику управления персоналом в контакт-центрах.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая ценность исследования состоит в построении и анализе комплекса моделей контакт-центра, учитывающих дифференциацию по типам доступа, совместное обслуживание голосовых и файловых запросов, использование систем самообслуживания (чат-ботов), а также в разработке алгоритмов для оценки ключевых показателей качества обслуживания в предложенных моделях. Практическая значимость работы заключается в обосновании возможности решения задач планирования и оптимизации ресурсов контакт-центров, включая определение минимально необходимого числа операторов, размера буфера

ожидания и оценку влияния автоматизации на снижение нагрузки на персонал, что позволяет повысить эффективность работы и снизить операционные затраты. Результаты диссертации использованы в учебном процессе на кафедре «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ и внедрены в компании ООО «НТЦ АРГУС». Реализация результатов работы подтверждена соответствующими актами.

**Методология и методы исследования.** В работе были использованы инструменты теории вероятностей, а также методы вычислительной математики и математического моделирования.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Разработанная модель контакт-центра, учитывающая наличие чат-бота и среднее время обслуживания клиентского запроса на этой стадии, позволяет оценить эффект от внедрения средств автоматизации на требуемый по нагрузке и качеству обслуживания объем ресурсов справочной службы. В зависимости от используемых входных параметров, необходимое число операторов сокращается до 2 раз. Упрощенная модель, не учитывающая время обслуживания чат-ботом, позволяет вести оценку характеристик для любых значений структурных параметров.
2. Разработанная модель совместного обслуживания голосовых и файловых запросов помогает проанализировать различные варианты использования ресурса для предоставления клиентского сервиса при дифференциации по типу доступа. Сравнительный анализ показал, что запросы с группой файлов требуют большего числа операторов по сравнению с одиночными запросами или голосовыми сообщениями, что следует учитывать при планировании численности штата современного контакт-центра. В зависимости от используемых входных параметров необходимое количество операторов в случае группового поступления больше на 25%, чем при поступлении пуассоновского одиночного потока.
3. Модель с возможностью ожидания для файловых запросов показывает значительное изменение потерь. При наличии буфера ожидания потери

файловых запросов снижаются в среднем на 40%. Это показывает, что грамотное распределение ресурса в контакт-центре помогает снижать негативный эффект перегрузки клиентскими запросами.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Работа соответствует паспорту специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» по направлению исследований в части пунктов: № 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».

**Степень достоверности и апробация результатов.** Полученные теоретические результаты обоснованы доказательствами с использованием методов математического моделирования и теории массового обслуживания, подтверждены численными экспериментами. Достоверность положений и выводов диссертации подтверждается апробацией работы, на международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (2021, 2022 гг.), на международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» (2022 г.), на международной научно-технической конференции «Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications» (2022, 2023, 2024, 2025 г.), на IX международной конференции "Информационные технологии и технические средства управления" (2025 г.).

Кроме того, результаты исследования обсуждались на кафедре «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ. По материалам диссертации опубликованы 9 работ, в том числе 2 — в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, и 4 — в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus. Также, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Основное содержание работы.** Диссертация состоит из введения, четырех

разделов, заключения, списка литературы и двух приложений. Основная часть изложена на 142 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков и 1 таблицу; список литературы состоит из 120 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснованы выбор темы диссертации, ее актуальность, научная новизна, перечислены цели и основные задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** представлен комплексный анализ современных контакт-центров как ключевого инструмента для взаимодействия с клиентами. Рассмотрена архитектура контакт-центров, ее базовые структурные элементы и их функции, а также основные характеристики, клиентского обслуживания.

Особое внимание уделено проблемам практического применения контакт-центров, включая несбалансированное распределение ресурсов между каналами связи, недостаточную адаптацию к высоким нагрузкам, ограниченную интеграцию автоматизированных решений и отсутствие эффективных механизмов обслуживания запросов, поступающих группами. Игнорирование этих проблем приводит к увеличению времени ожидания, потере клиентских запросов и снижению качества обслуживания.

Проведен анализ современных тенденций развития контакт-центров, таких как внедрение искусственного интеллекта, чат-ботов, облачных технологий и систем анализа данных. Определены различные архитектурные решения и уровни поддержки, от обработки базовых запросов до решения сложных технических задач.

**Второй раздел диссертации** посвящен описанию модели контакт-центра с учетом ограниченных ресурсов чат-бота.

Модель вводит понятие ограниченных ресурсов чат-бота, под которыми понимаются не только каналы связи, но и ключевые вычислительные мощности: vCPU, оперативная память, лимиты сессий и пропускная способность API. Этот

подход позволяет перейти от упрощенного анализа к комплексной оценке производительности системы в условиях меняющейся нагрузки и ограниченных ресурсов, что повышает практическую ценность модели для проектирования реальных контакт-центров.

Математическое представление модели выглядит следующим образом (Рисунок 1). Пуассоновский поток запросов поступает в контакт-центр с интенсивностью  $\lambda$ . В модели есть  $n$  категорий запросов – от базовых до более сложных. Принадлежность к определенной категории определяется через соответствующую вероятность  $p_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ . Кроме того, в модель вводится набор вероятностей  $f_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ . Он определяет долю запросов из каждой категории, для которых потребуется обслуживание со стороны оператора. Время обслуживания запроса чат-ботом имеет экспоненциальное распределение с параметром  $\mu_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  в зависимости от типа запроса. Часть запросов, которые не получают необходимого обслуживания через чат-бот, перенаправляется на следующий этап.

С вероятностью  $1 - f_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  запрос успешно обслуживается чат-ботом и покидает систему. Обозначим количество операторов через  $\nu$ , а длину очереди –  $w$ .

Время обслуживания оператором имеет экспоненциальное распределение с параметром  $\mu$ . Нежелание клиента ждать учитывается с помощью параметра  $\sigma$ , который обозначает интенсивность выхода запроса из очереди.

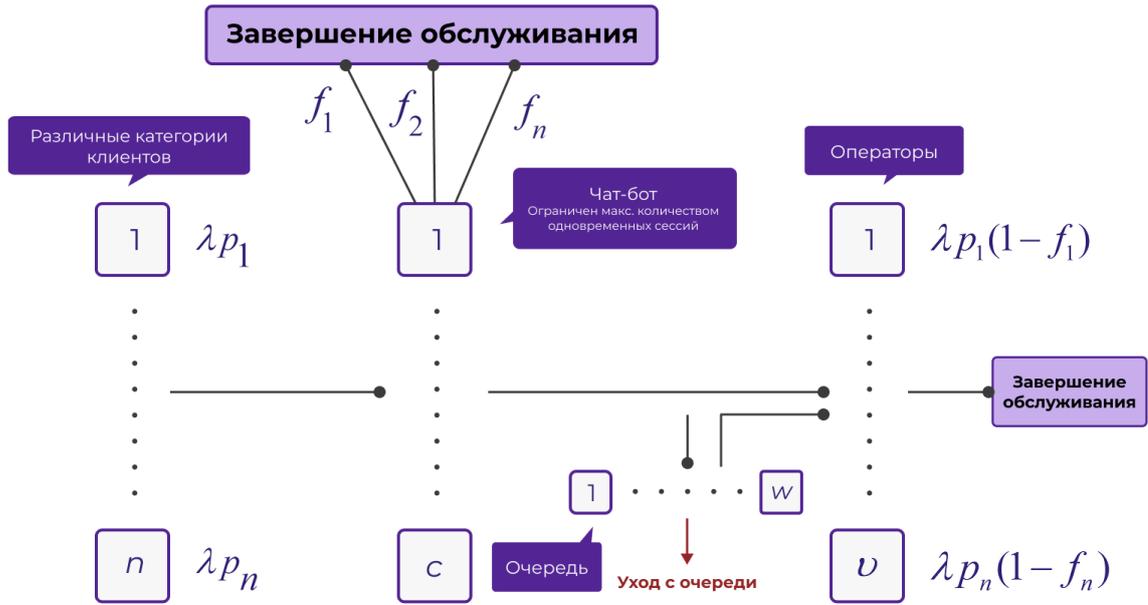


Рисунок 1 — Математическая модель контакт-центра с ограниченными ресурсами чат-бота

Пусть  $i_k(t)$  – количество клиентских запросов  $k$  типа,  $k=1,2,..n$ , обслуживаемых чат-ботом на данный момент времени  $t$ . Также мы обозначаем как  $i(t)$  количество клиентских запросов, находящихся на втором этапе в момент времени  $t$ . Изменение состояние системы описывается случайным процессом  $r(t) = (i_1(t), \dots, i_n(t), i)$ , определенным в пространстве конечных состояний  $S$ . Это пространство включает в себя все возможные комбинации  $(i_1, \dots, i_n, i)$ , где каждый компонент изменяется в заданных пределах. Поскольку все случайные величины, реализованные в модели, имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга, то процесс  $r(t)$  можно рассматривать как марковский процесс.

Характеристики обслуживания запросов клиентов для рассматриваемой модели определяются следующими выражениями:

Интенсивность потока заявок, поступающих на второй этап обслуживания:

$$\Lambda_o = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) i_k \mu_k f_k. \quad (1)$$

Интенсивность, с которой запросы клиентов покидают систему после завершения обслуживания в чат-боте, но им отказывают во втором этапе обслуживания из-за отсутствия свободных операторов и мест ожидания:

$$\Lambda_{bl,o} = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | i = v+w} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) i_k \mu_k f_k. \quad (2)$$

Интенсивность, с которой клиенты покидают очередь из-за нежелания ждать:

$$\Lambda_{bl,w} = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | i = v+w} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) (i - v) \sigma. \quad (3)$$

Соотношение запросов клиентов, потерянных на втором этапе обслуживания по различным причинам:

$$\pi_o = \frac{\Lambda_{bl,o} + \Lambda_{bl,w}}{\Lambda_o}. \quad (4)$$

Проведем численный эксперимент для оценки количества операторов, необходимых для обслуживания входящих запросов клиентов со следующими значениями входных параметров (низкая интенсивность):

$$\begin{aligned} \lambda &= 10; f_1 = 0,7; f_2 = 0,3; p_1 = 0,3; p_2 = 0,7; \\ \mu_1 &= 1; \mu_2 = 1; \mu = 0,5; c = 10; \\ w &= 5; \sigma = 1. \end{aligned}$$

Результаты расчетов приведены на Рисунке 2 (левый график). Они показывают, что использование чат-бота позволяет значительно сократить необходимое количество операторов. Для достижения указанного качества обслуживания при низкой интенсивности входящих запросов необходимо 16 операторов, во втором 10.

Увеличим интенсивность входящих запросов  $\lambda$ , количество единиц ресурса чат-бота  $c$ , время, необходимое чат-боту для обслуживания запросов второго типа  $\mu_2$ , и длину очереди  $w$ . Полученные результаты показаны на Рисунке 2 (правый график). Новые значения входных параметров для расчета, следующие:

$$\begin{aligned} \lambda &= 20; f_1 = 0,7; f_2 = 0,3; p_1 = 0,3; p_2 = 0,7; \\ \mu_1 &= 1; \mu_2 = 0,5; \mu = 0,5; c = 15; \\ w &= 10; \sigma = 1. \end{aligned}$$

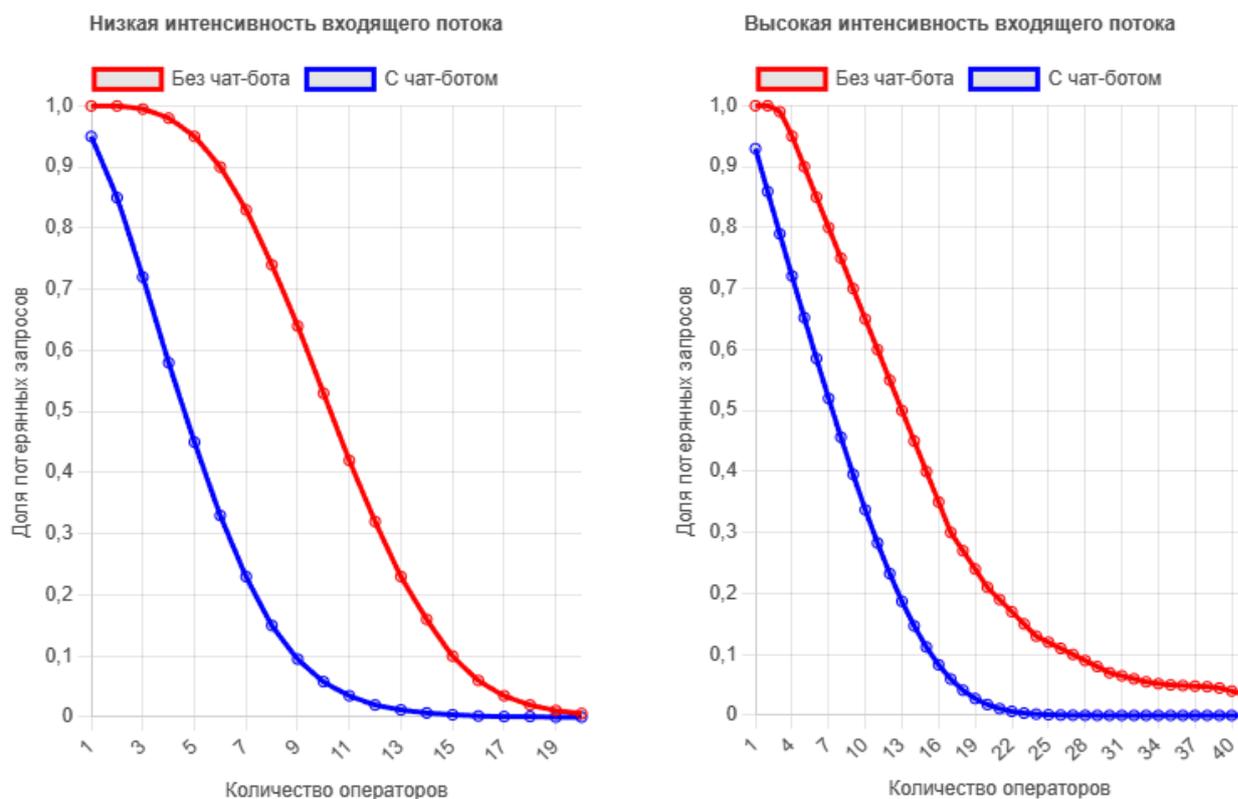


Рисунок 2 — Зависимость значения  $\pi_0$  от количества операторов (низкая и высокая интенсивность)

**Третий раздел диссертации** посвящен модели контакт-центра с учетом наличия чат-бота. Она рассматривается как важный частный случай более общей модели, предназначенной для анализа гибридных систем обслуживания. В то время как общая модель позволяет исследовать комплексные сценарии с ограниченными ресурсами и сложными дисциплинами обслуживания, данная частная модель фокусируется на ключевом аспекте — двухэтапной обработке входящих обращений с автоматизированной фильтрацией. Такой подход позволяет получить базовое решение для широко распространенного на практике сценария, что создает фундамент для последующего анализа и верификации более сложных и общих конфигураций контакт-центров.

Математическое представление модели выглядит следующим образом (Рисунок 3). Поток запросов поступает в контакт-центр с интенсивностью  $\lambda$ . Он состоит из запросов от различных  $n$  категорий клиентов. Каждая категория определяется вероятностью  $p_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  принадлежности к рутинным или

сложным запросам. В модель вводится набор вероятностей  $f_k$ ,  $k=1,2,..n$ . Он определяет долю запросов из каждой категории, для которых потребуется обслуживание со стороны оператора.

С вероятностью  $1-f_k$ ,  $k=1,2,..n$  запрос считается успешно обслуженным чат-ботом и покидает систему. Процесс обслуживания операторами моделируется как система массового обслуживания с конечной очередью. Количество операторов обозначается через  $v$ , а количество мест ожидания через  $w$ .

Время обслуживания операторами подчиняется экспоненциальному распределению с параметром  $\mu$ . Нежелание клиента ждать учитывается с помощью параметра  $\sigma$ , который обозначает интенсивность выхода запроса из очереди.

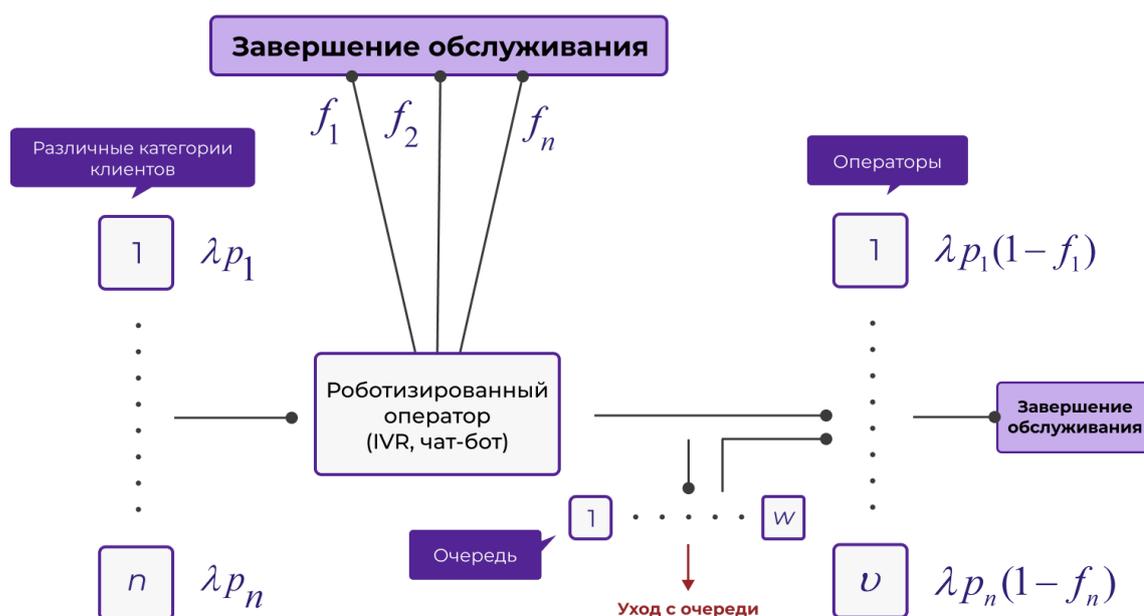


Рисунок 3 — Математическая модель контакт-центра с чат-ботом

Пусть  $p(i)$  — доля времени, когда модель находится в состоянии, где обслуживается и ожидает  $i$  запросов. Доля потерянных запросов совпадает с долей времени, проведенного моделью в состоянии  $(v+w)$ , и определяется выражением:

$$\pi_c = \pi_t = p(v+w). \quad (5)$$

Проведем численный эксперимент со следующими значениями входных параметров:

$$v = 20; w = 5; \mu = 1/45; \lambda = 1/3.$$

Результат показал (Рисунок 4), что без использования чат-бота минимальное необходимое количество операторов, обеспечивающих заданное качество обслуживания, составляет 18 (левый график). Внедрение автоматизации позволяет значительно снизить нагрузку на операторов. При использовании чат-бота минимально необходимое количество операторов сокращается на 6 человек (правый график), по сравнению с вариантом без автоматизации.

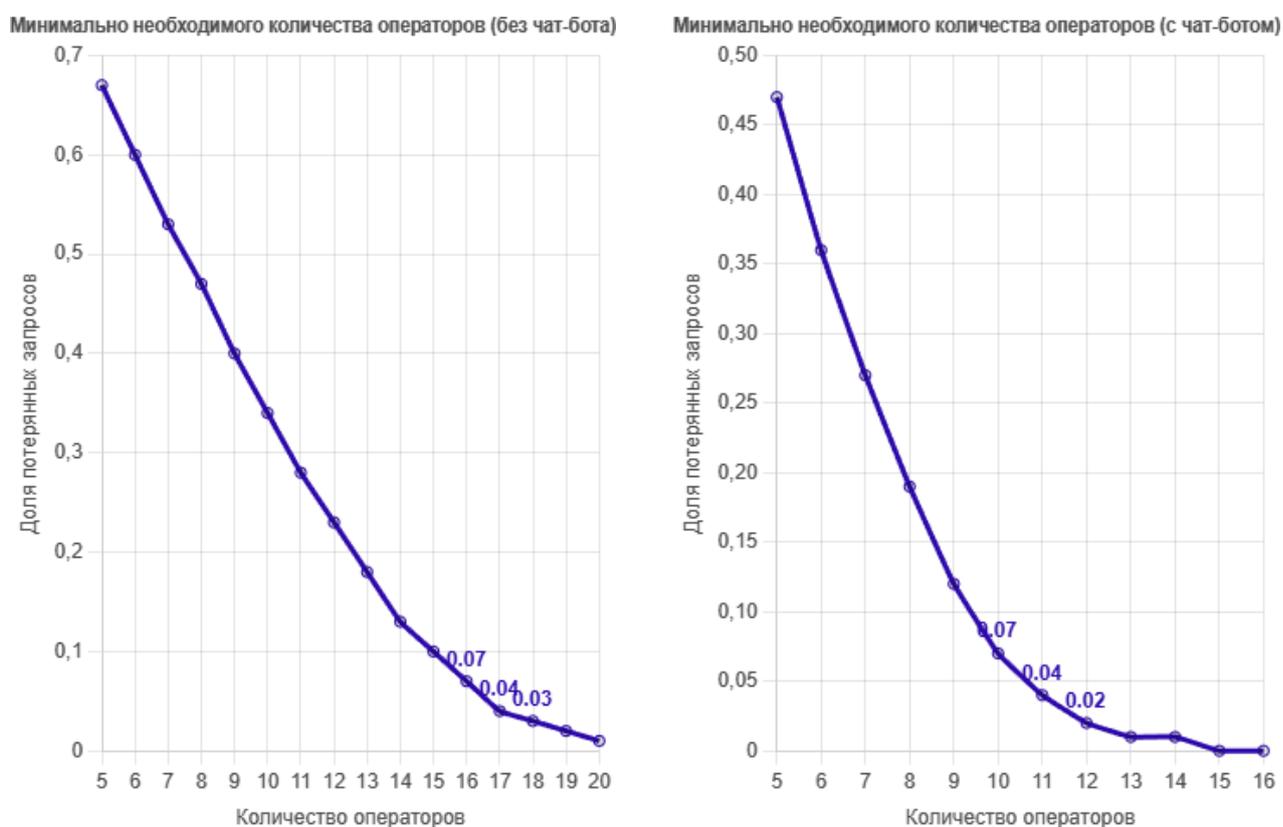


Рисунок 4 — Расчет минимально необходимого количества операторов (без чат-бота и с чат-ботом)

**Четвертый раздел диссертации** посвящен модели контакт-центра совместного обслуживания голосовых и файловых запросов.

Файловые запросы в контакт-центрах, включающие документы, медиафайлы и отчеты, характеризуются групповым поступлением случайного размера, что требует гибкого масштабирования ресурсов. Для эффективного управления нагрузкой применяются адаптивные стратегии: мгновенная обработка при доступности операторов, приоритетное распределение с учетом критичности

операций и аварийное кэширование при перегрузках. Ключевым элементом является система ограниченного ожидания с концепцией «времени старения» файлов, устанавливающая отраслевые лимиты актуальности данных. В сочетании с оптимальной буферизацией, алгоритмами прогнозирования пиков и географическим распределением задач, данный подход позволяет минимизировать потери данных и обеспечить стабильное качество обслуживания при растущих объемах информации.

Математическое представление модели выглядит следующим образом (Рисунок 5). Контакт-центр обслуживает пуассоновский поток запросов интенсивности  $\lambda$ , разделенных на две сервисные категории. С вероятностью  $p_v$  запрос поступает голосовой запрос. Поступление запросов этого потока подчиняется закону Пуассона с интенсивностью  $\lambda p_v$ . Запрос обрабатывается роботизированным оператором. Время обслуживания у робота моделируется с помощью случайной величины  $\xi$  с функцией распределения  $B(x)$ . Обозначим через  $h$  среднее значение  $\xi$ . После завершения обслуживания у робота с вероятностью  $b_v$  обслуживание голосового запроса считается завершенным, а с дополнительной вероятностью  $1 - b_v$  продолжается у оператора, если имеются свободные операторы. Если таковых нет, то голосовой запрос считается потерянным. Обозначим через  $\nu$  общее число операторов.

С вероятностью  $p_f$  запрос поступает файловый запрос. Поступление накопленных групп файлов подчиняется закону Пуассона с интенсивностью  $\lambda p_f$ . С вероятностью  $f_s$  поступившая группа содержит  $s$  файлов,  $s = 1, \dots, b$ . Если по условиям формирования входного потока файлов они поступают по одному, то в этом случае предполагается, что  $f_1 = 1$ . Обозначим через  $w$  число мест ожидания для файлов, не попавших на обслуживание. Примем, что  $b = \nu + w$  и  $\sum_{s=1}^b f_s = 1$ . Обозначим через  $\bar{b}$  среднее число файлов в поступившей группе  $\bar{b} = \sum_{s=1}^b f_s s$ .

Время пребывания в очереди ожидания начала обслуживания ограничено случайной величиной, имеющей экспоненциальное распределение с параметром

$\sigma$ . Если за это время файл не попал на обслуживание, то он считается потерянным. Это время можно интерпретировать как время старения информации, содержащейся в файле.

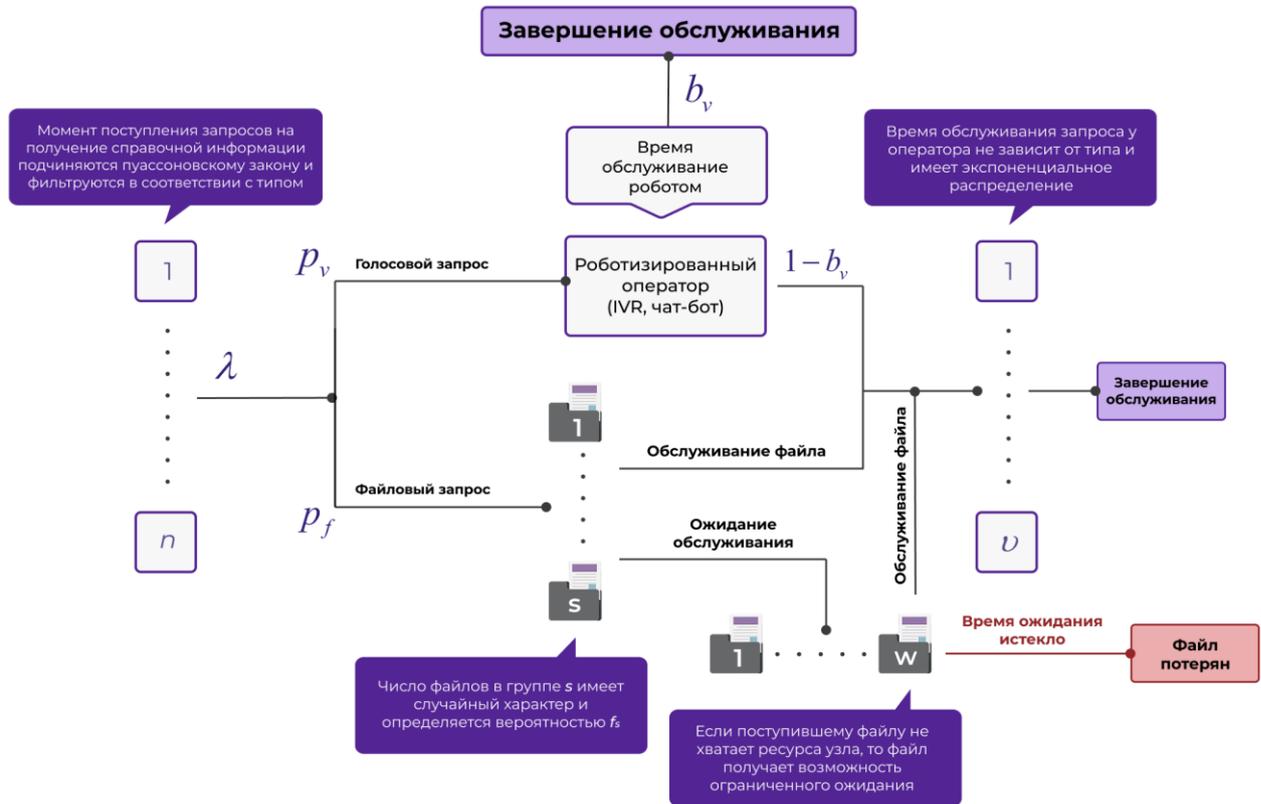


Рисунок 5 — Математическая модель контакт-центра с учетом совместного обслуживания голосовых запросов и запросов в виде файлов

Для того чтобы воспользоваться введенными определениями для численной оценки значений характеристик необходимо составить и решить систему уравнений равновесия (СУР). Есть две формы записи СУР: одна — удобна для представления СУР на алгоритмических языках программирования, другая — для проведения алгебраических преобразований с целью установления рекурсивных зависимостей между отдельными вероятностями состояний.

Определим состояние модели символом  $(i)$ , где  $i$  — суммарное число операторов занятых на обслуживание голосовых запросов и запросов в форме файлов, а также число ожидающих файлов. Обозначим через  $S$  пространство состояний модели  $i \in S, i = 0, 1, \dots, v + w$ . Динамика изменения состояний во времени описывается случайным марковским процессом  $r(t)$ , определенным на

пространстве состояний  $S$ . Марковские свойства  $r(t)$  следуют из положений конструктивного определения марковского процесса.

Предположим, что стали известными значения  $p(i)$  доли времени пребывания модели в состоянии  $(i)$ , где  $i = 0, 1, \dots, \nu + w$ . Приведем формальные определения характеристик обслуживания поступающих запросов через значения стационарных вероятностей  $p(i)$ .

Величина  $\pi_\nu$  доли голосовых запросов, потерянных из-за занятости операторов, определяется из соотношения:

$$\pi_\nu = p(\nu) + \dots + p(\nu + w). \quad (6)$$

Значение  $\pi_f$  доли потерянных запросов в форме файлов определяется из равенства:

$$\pi_f = \frac{\text{интенсивность потерянных файлов}}{\text{интенсивность поступивших файлов}}. \quad (7)$$

Обозначим через  $\Lambda_b$  интенсивность потока файлов, которые будут потеряны из-за нахождения справочного узла в состоянии, когда заняты все операторы и места ожидания:

$$\Lambda_b = \lambda p_f \sum_{i=0}^{\nu+w-1} p(\nu + w - i) \sum_{s=i+1}^{\nu+w} f_s(s - i). \quad (8)$$

Обозначим через  $\Lambda_\ell$  интенсивность потока файлов, которые будут потеряны из-за старения передаваемой информации. Величина  $\Lambda_\ell$  определяется из равенства:

$$\Lambda_\ell = \sum_{i=\nu+1}^{\nu+w} p(i)(i - \nu)\sigma. \quad (9)$$

Общая интенсивность поступающего потока файлов определяется из выражения  $\lambda p_f \bar{b}$ . Воспользовавшись полученными выше результатами, находим соотношение для оценки значения  $\pi_f$ :

$$\pi_f = \frac{\Lambda_b + \Lambda_\ell}{\lambda p_f \bar{b}}. \quad (10)$$

Проведем численный эксперимент со следующими значениями входных параметров:

$$\nu = 20; p_v = 0,8; p_f = 0,2; b = 3;$$

$$f_s = 1/3; s = 1,2,3; \bar{b} = 2; b_v = 0,5;$$

Результат показывает, что без возможности использования очереди, потери файловых запросов выше, чем голосовых запросов из-за группового характера поступления файлов (Рисунок 6).

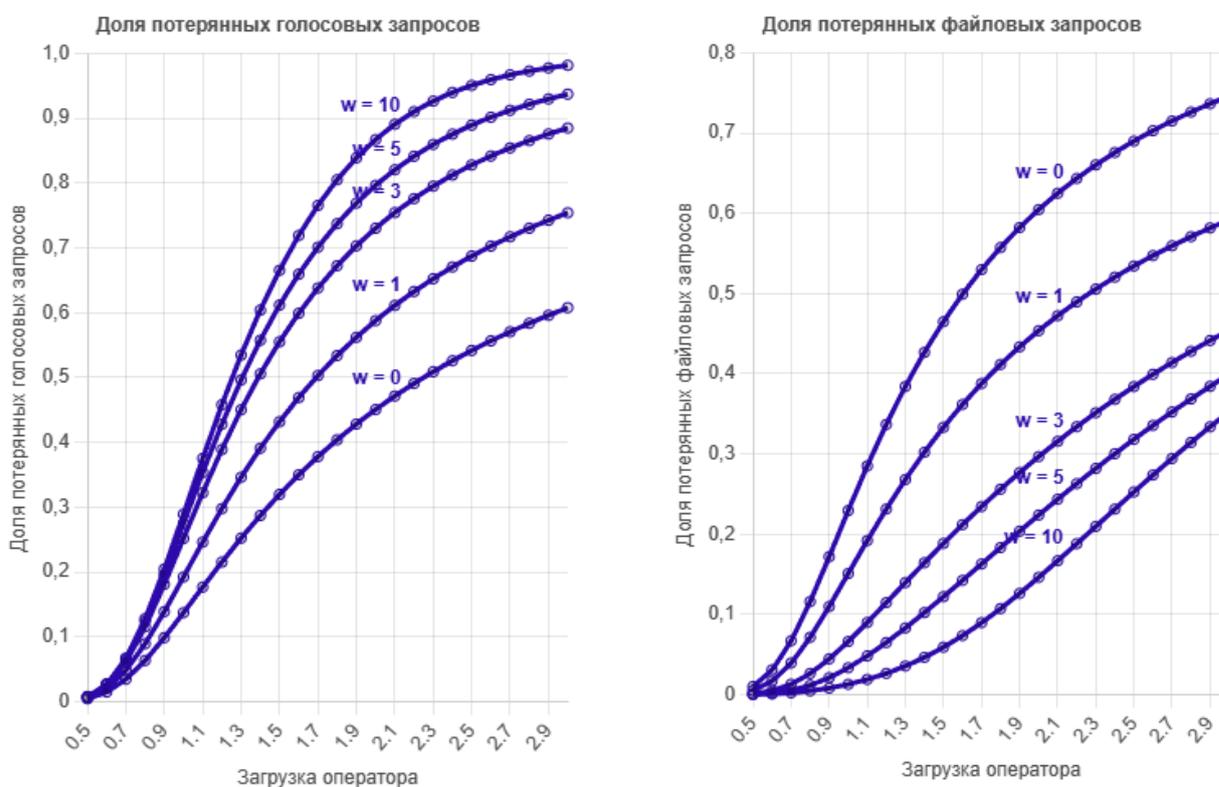


Рисунок 6 — Значения доли потерянных голосовых и файловых запросов  $\pi_v$  с ростом потенциальной загрузки оператора  $\rho$  и изменением числа мест ожидания  $w$

При введении очереди потери файловых запросов уменьшаются, но увеличиваются потери голосовых запросов из-за того, что приоритет в обслуживании отдается файловым запросам (Рисунок 7).

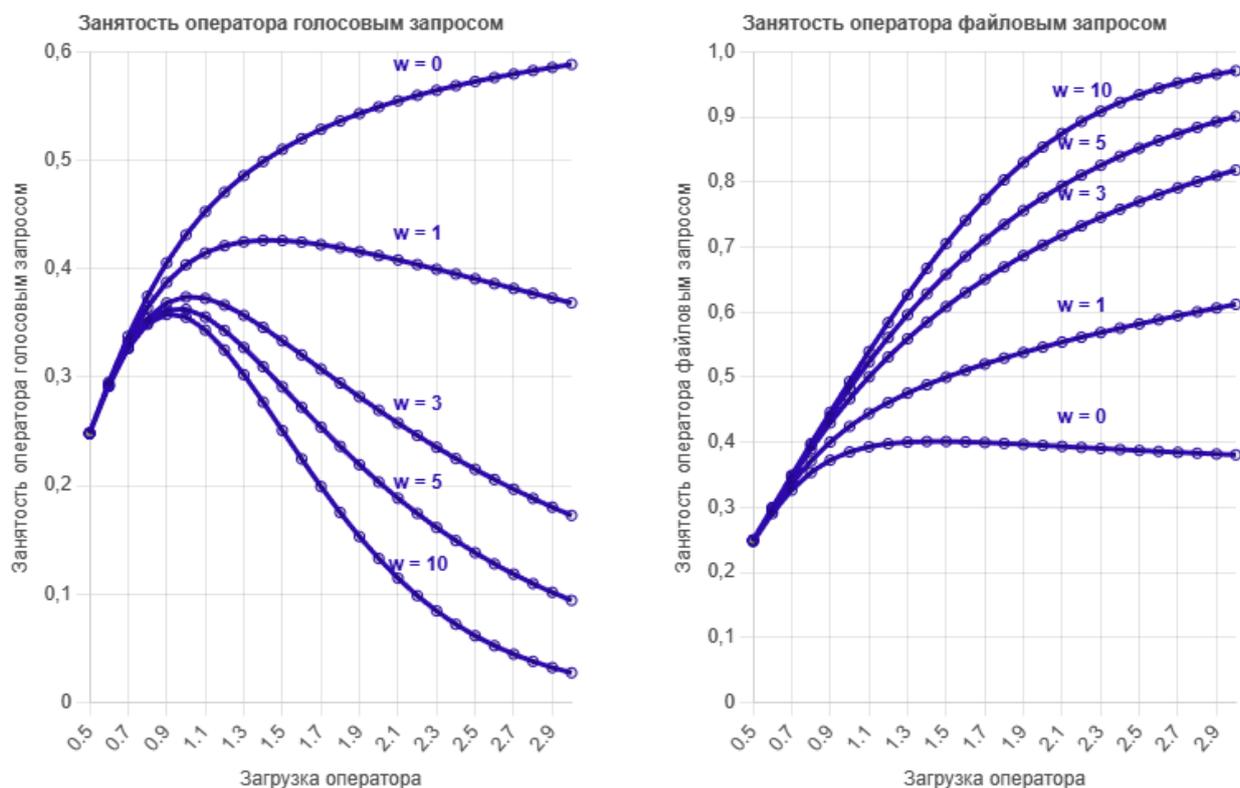


Рисунок 7 — Среднее число голосовых и файловых запросов  $\delta_v$ , обслуженных одним оператором с ростом потенциальной загрузки оператора  $\rho$  и изменением числа мест ожидания  $w$

Далее результат показал, что при групповом поступлении файлов требуется больше операторов чтобы достичь того же уровня потерь что и при одиночно поступлении файлов (Рисунок 8).

Зависимость оценки числа операторов, обеспечивающих потери запросов на требуемом уровне

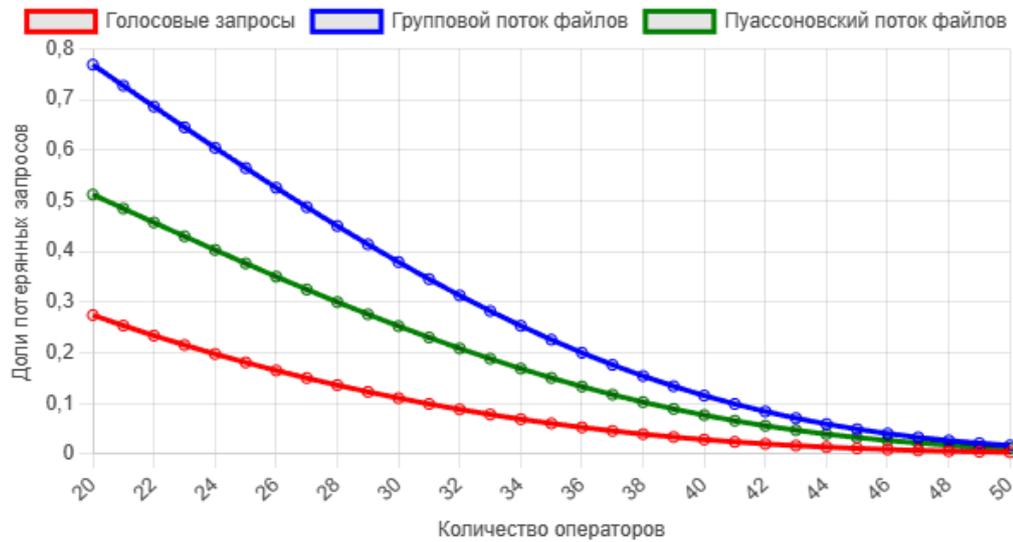


Рисунок 8 — Зависимость оценки числа операторов, обеспечивающих потери запросов на уровне 0.05, для разных сценариев формирования входного потока файлов

На Рисунке 9 отображено что при увеличении количества операторов потери уменьшаются, но экономическая эффективность требует нахождения баланса между качеством обслуживания и затратами на операторов.

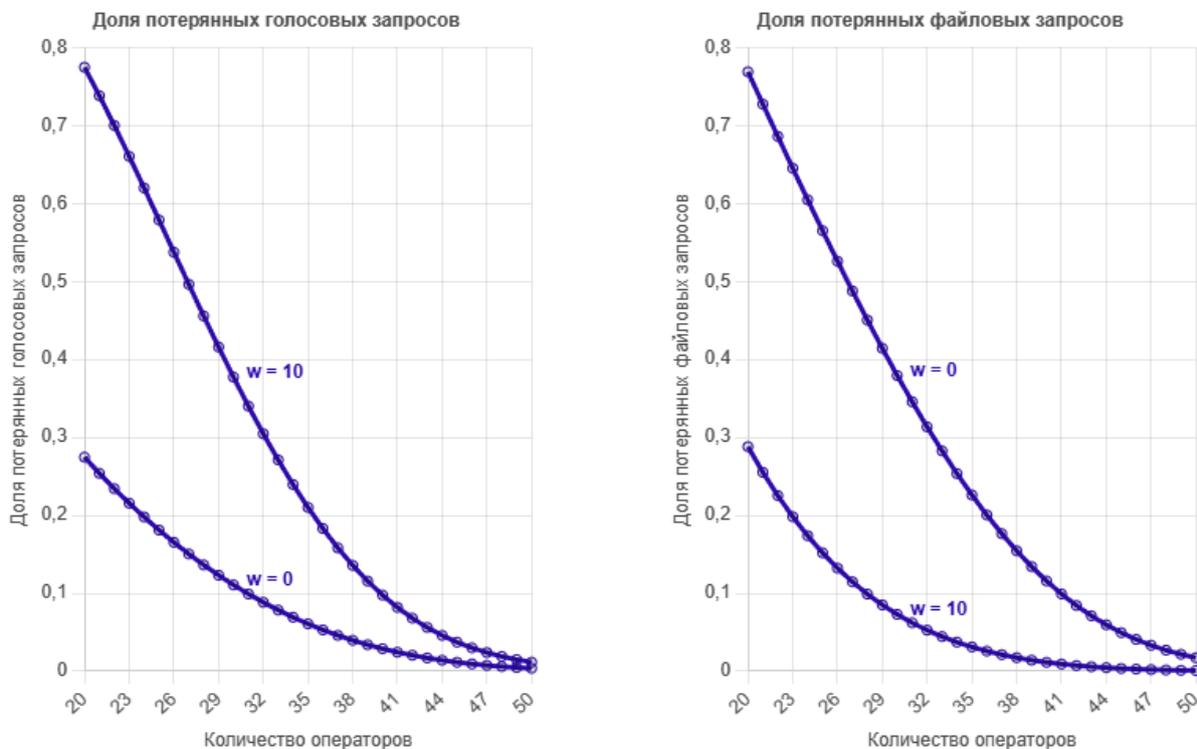


Рисунок 9 — Значения доли потерянных голосовых и файловых запросов  $\pi_v$  с ростом числа операторов для разных сценариев обслуживания файлов

Также еще одним способом использованием модели является выравнивание потерь между голосовыми и файловыми запросами (Рисунок 10).

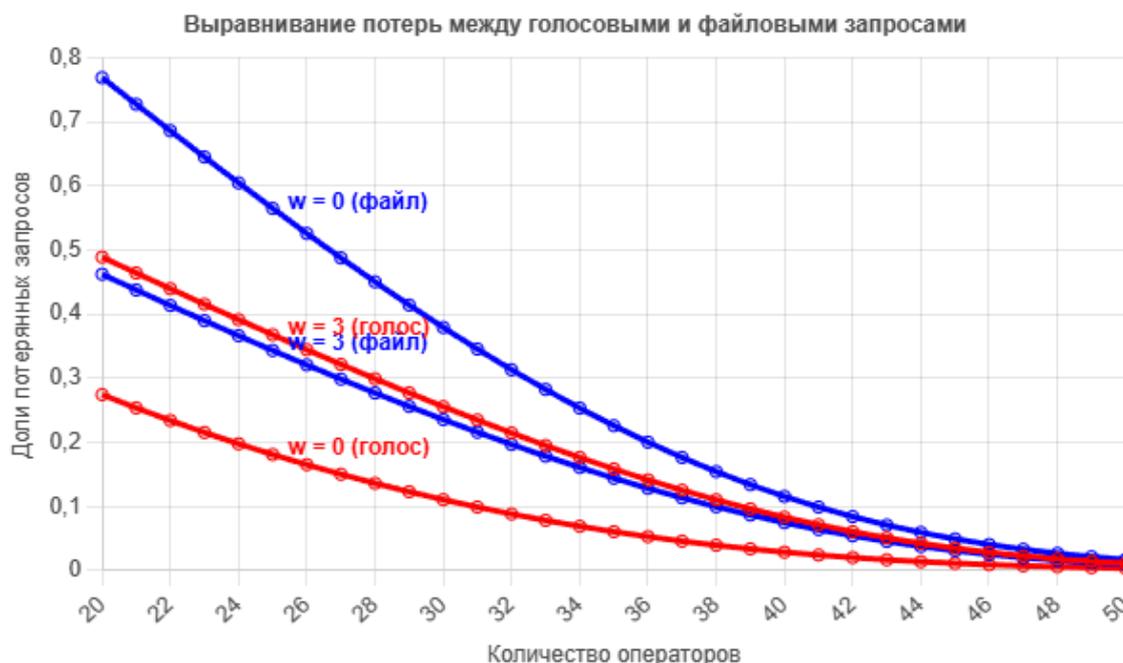


Рисунок 10 — Результаты выравнивания значений потерь голосовых запросов и запросов в форме файлов. Решение получено при  $w=3$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Проведен анализ работы современных контакт-центров, выявлены особенности обработки голосовых и файловых запросов. Установлено, что совместное обслуживание этих типов заявок требует дифференцированного подхода к распределению ресурсов, поскольку задержки и потери могут значительно отличаться в зависимости от типа запроса. Также показано, что ограниченность мест ожидания и повторные обращения клиентов оказывают влияние на нагрузку системы и уровень качества обслуживания.
2. Разработана математическая модель контакт-центра, интегрирующая чат-бот в процесс обслуживания клиентов. Определены ключевые характеристики системы, позволяющие оценить влияние автоматизированного обслуживания на эффективность работы контакт-

центра. В модель включены такие важные параметры, как: доля потерянных запросов, количество запросов, успешно обрабатываемых чат-ботом, и вероятность перехода к оператору для дополнительного обслуживания.

3. Разработана математическая модель контакт-центра с учетом ограниченных ресурсов чат-бота, которая позволяет комплексно оценить эффективность гибридной системы обслуживания, сочетающей автоматизированную обработку запросов и работу операторов. Модель дает возможность количественно анализировать ключевые показатели производительности, такие как вероятность потерь на каждом этапе, среднее время ожидания и загрузку ресурсов. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности распределения ресурсов между чат-ботом и операторами, а также для принятия обоснованных решений при проектировании и масштабировании контакт-центров с целью повышения качества обслуживания клиентов и снижения операционных затрат.
4. Разработана математическая модель контакт-центра, в которой учтены групповое поступление файловых запросов, ограниченность буфера ожидания, приоритетное распределение операторов между голосовыми и файловыми запросами, а также вероятность повторных обращений. Получены аналитические выражения, позволяющие определить ключевые характеристики системы, такие как загрузка операторов, среднее число клиентов в очереди, вероятность потерь заявок и средняя длительность их ожидания.

Таким образом, в результате проведенного в диссертационной работе исследования решена научная задача, имеющая значение для развития телекоммуникационных систем, — построен и проанализирован комплекс моделей контакт-центров, учитывающих дифференциацию по типам доступа, совместное обслуживание голосовых и файловых запросов, групповой характер поступления данных, ограниченность ресурсов, возможность ожидания и старения информации, а также использование автоматизированных систем (чат-ботов). Разработанные модели и алгоритмы позволяют решать задачи

планирования и оптимизации ресурсов контакт-центра, определять число операторов, необходимое для обслуживания поступающей нагрузки, размер буфера ожидания, оценивать влияние автоматизации на нагрузку и обеспечивать дифференцированное обслуживание разнородных запросов. Тем самым, цель диссертационного исследования достигнута.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, включенных в перечень ВАК**

1. Stepanov M. S., Popov V. G., Fedorova N. K., Kroshin F. S. The developing of chatbot for university and college admission // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 16, № 10. – С. 51–56.
2. Попов В. Г., Степанов М. С. Обзор моделей для планирования ресурсов контакт-центра // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – № 10. – С. 55–63.

### **Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных**

#### **Scopus и WoS**

1. Ndimumahoro F., Stepanov M. S., Muzata A. R., Tammam D., Popov V. G. Using the Principles of Mobile Systems Modeling for LoRaWAN Characteristics Estimation // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. Moscow, Russian Federation, 2022. – P. 1–8.
2. Stepanov M. S., Popov V. G., Fedorova N. K., Kroshin F. S., Muzata A. R. The Automation of Client Servicing in University and College Admission Office // 2023 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. Moscow, Russian Federation, 2023. – P. 1–7.
3. Shishkin M. O., Stepanov M. S., Kroshin F. S., Popov V. G., Malikova E. E. The Impact of Omnichannel Architecture on Customer Service Characteristics in Modern Contact Centers // 2024 Systems of Signals Generating and Processing in

the Field of on-Board Communications. Moscow, Russian Federation, 2024. – P. 1–6.

4. Popov V. G., Stepanov M. S., Do Xuan Thu, Stepanov S. N., Korotkova V. I. Construction and Analysis of a Model for Servicing Voice Requests and Files in Modern Contact Centers // 2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. Moscow, Russian Federation, 2025. – P. 1–8.

### **Публикации в изданиях, включенных в базу РИНЦ**

1. Попов В. Г., Степанов М. С. Проблемы внедрения чат-ботов в современных контакт-центрах // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». – 2021. – С. 25–27.
2. Попов В. Г., Степанов М. С. Использование чат-бота для повышения эффективности работы приемной комиссии университета // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». – 2022. – С. 191–194.
3. Попов В. Г., Степанов М. С., Федорова Н. К. Разработка функциональной модели контакт-центра с использованием комбинированного обслуживания // Сборник трудов XVI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества 2022». М.: Медиа Паблшер, 2022. – С. 49–51.

### **Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ**

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689936 Российская Федерация. Программа для вычисления характеристик омникального контакт-центра, обслуживающего разнородные типы запросов, с учетом использования чат-бота / Попов В. Г., Степанов М. С., Степанов С. Н.;

правообладатель ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики». № 2025686770; заявл. 07.10.2025; зарегистрир. 01.11.2025.