

**Ордена Трудового Красного Знамени  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»**

---

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»

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук, доцент  
Степанов Михаил Сергеевич

Москва – 2026 г.

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>Раздел 1. Характеристика и анализ работы контакт-центров .....</b>	<b>12</b>
1.1. Введение в проблематику контакт-центров .....	12
1.2. Области использования контакт-центров.....	14
1.3. Бизнес-преимущества контакт-центров.....	16
1.4. Тенденции развития .....	17
1.5. Архитектура контакт-центров .....	19
1.5.1. Основные структурные элементы контакт-центра и их взаимосвязь .....	23
1.5.2. Уровни поддержки в контакт-центре .....	25
1.6. Типы клиентского доступа в контакт-центрах .....	28
1.7. Показатели поступления и обслуживания заявок в контакт-центрах .....	30
1.7.1. Типы и классификация характеристик .....	37
1.8. Планирование работы контакт-центров .....	39
1.8.1. Анализ потребностей клиентов и стратегии обслуживания .....	41
1.9. Анализ и систематизация математических моделей контакт-центров .....	43
1.9.1. Классическая модель Эрланга .....	43
1.9.2. Модель Эрланга с бесконечной очередью .....	45
1.9.3. Модель Эрланга с конечной очередью .....	46
1.9.4. Обобщенная модель обслуживания вызовов в перспективных контакт-центрах .....	48
1.9.5. Модель контакт-центра с учетом приоритетов .....	51
1.9.6. Оптимизация многопрофильного контакт-центра с использованием теории очередей .....	52
1.10. Выводы по результатам первого раздела .....	55
<b>Раздел 2. Модель контакт-центра с учетом ограниченных ресурсов чат-бота.....</b>	<b>57</b>

2.1. Эволюция систем самообслуживания в контакт-центрах .....	57
2.2. Использование чат-ботов в контакт-центрах .....	59
2.3. Маршрутизация на основе навыков оператора.....	63
2.4. Описание функциональной модели .....	64
2.5. Описание математической модели.....	69
2.6. Определение показателей эффективности обслуживания.....	71
2.7. Система уравнений равновесия .....	72
2.8. Оценка влияния чат-бота на работу системы в условиях ограниченных ресурсов.....	75
2.9. Выводы по результатам второго раздела .....	78
<b>Раздел 3. Модель контакт-центра с учетом наличия чат-бота .....</b>	<b>80</b>
3.1. Описание функциональной модели .....	80
3.2. Описание математической модели.....	82
3.3. Оценка необходимого числа операторов при двухэтапном обслуживании .	85
3.4. Сравнительный анализ общей модели и ее частного случая с точки зрения доли потерянных запросов .....	90
3.5. Сравнительный анализ общей модели и ее частного случая с точки зрения эффективности использования ресурсов .....	95
3.6. Выводы по результатам третьего раздела .....	99
<b>Раздел 4. Модель контакт-центра совместного обслуживания</b>	
<b>голосовых и файловых запросов.....</b>	<b>101</b>
4.1. Особенности обслуживания файловых запросов в контакт-центрах .....	101
4.2. Методы и подходы к обработке файловых запросов .....	103
4.3. Влияние файловых запросов на качество обслуживания .....	104
4.4. Описание функциональной модели .....	105
4.5. Описание математической модели.....	109
4.6. Определение характеристик обслуживания поступающих запросов.....	112
4.7. Система уравнений равновесия .....	114
4.8. Рекурсивный алгоритм оценки характеристик .....	116
4.9. Оценка показателей качества обслуживания голосовых и файловых заявок	118
4.10. Выводы по результатам четвертого раздела .....	127
<b>Заключение.....</b>	<b>129</b>

<b>Список литературы.....</b>	<b>131</b>
<b>Приложение 1 .....</b>	<b>143</b>
<b>Приложение 2 .....</b>	<b>144</b>

## Введение

**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, Т. Bonald, 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. Meijrotra, 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 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 приложения. Основная часть изложена на 142 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков и 1 таблицу; список литературы состоит из 120 наименований.

## **Раздел 1. Характеристика и анализ работы контакт-центров**

### **1.1. Введение в проблематику контакт-центров**

В настоящее время эффективное обслуживание клиентов является одной из ключевых составляющих успеха бизнеса. Исторически основным инструментом для взаимодействия между организацией и ее клиентами выступали справочно-информационные службы. Однако с развитием технологий и изменением ожиданий клиентов они трансформировались в современные и многофункциональные системы — контакт-центры.

Ключевым отличием контакт-центра от классического колл-центра является многоканальность. Если колл-центр ориентирован преимущественно на обработку голосовых вызовов, то контакт-центр интегрирует множество каналов связи: телефон, электронную почту, веб-чаты, мессенджеры и социальные сети в единую платформу. Это обеспечивает омниканальное обслуживание, при котором история взаимодействий с клиентом сохраняется независимо от выбранного им канала. Современные контакт-центры не только предоставляют информацию, но и обеспечивают активное взаимодействие, позволяя клиентам быстрее и удобнее решать свои вопросы. Их сфера применения чрезвычайно широка и включает государственные организации, службы экстренной помощи, онлайн-магазины и многие другие [1, 2].

Главной задачей таких центров является предоставление клиентам информации о продуктах и услугах в любое время и в любом месте. Для этого повсеместно используются автоматизированные программные средства, такие как текстовые и голосовые чат-боты, которые обрабатывают типовые запросы,

оптимизируют работу, снижают операционные расходы и обеспечивают круглосуточную поддержку, что особенно важно при работе с международной аудиторией [4, 17].

Актуальность проблематики управления контакт-центрами подтверждается их критически важной ролью в современных бизнес-процессах. Мировые события 2020 года, связанные с пандемией коронавируса, наглядно показали, что контакт-центры зачастую становятся единственным каналом для удаленной и безопасной коммуникации с клиентами, что привело к значительному росту объема обращений [68]. В этих условиях качество клиентского обслуживания вышло на первый план. Исследования показывают, что пользователи выделяют ряд ключевых факторов плохого сервиса (Рисунок 1.1) [57]. К ним относятся: недружелюбное поведение сотрудников (48,5%), ощущение безразличия со стороны компании (42,1%), недостаточная компетентность операторов (41,7%), медленный отклик на обращение (40,9%), нужно повторять информацию (39,1%), долгое решение проблемы (37,1%), долгий процесс заключения сделки (29%), не используют предпочтительный канал связи для клиента (21,2%) [57].

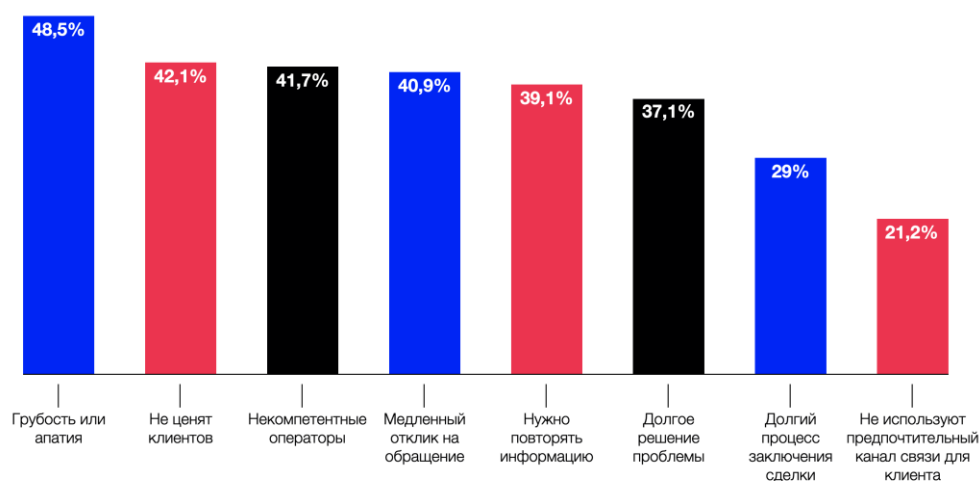


Рисунок 1.1 — Факторы плохого клиентского обслуживания [57]

Эта статистика доказывает, что неэффективное планирование работы контакт-центра ведет к прямым финансовым потерям из-за оттока клиентов. Непредвиденная высокая нагрузка, недостаточное количество или плохая подготовка операторов, неоптимальные процессы или неподходящее программное обеспечение вызывают рост времени обслуживания и очередей, что

негативно сказывается на лояльности аудитории [13]. Для предотвращения подобных ситуаций необходимо придерживаться «Правил трех не»: не сокращать число операторов без анализа нагрузки, не игнорировать качество обучения сотрудников и не использовать неподходящие технологические решения [31, 100].

Таким образом, для обеспечения экономической эффективности и высокого качества обслуживания необходимо оптимизировать все аспекты работы контакт-центра, поддерживая оптимальный баланс между количеством операторов, их загруженностью и скоростью обработки запросов. Нарушение этого баланса приводит либо к избыточным расходам на персонал, либо к потере клиентов. Одним из наиболее эффективных методов решения этой задачи является представление контакт-центра в виде системы массового обслуживания и использование методов теории телетрафика для оценки и планирования его характеристик [24]. В рамках данного диссертационного исследования предметом анализа являются именно современные контакт-центры, поддерживающие работу с разнородными запросами, включая голосовые обращения и файловые данные.

## **1.2. Области использования контакт-центров**

Практически ни одна компания в современном мире не может обойтись без собственного контакт-центра. Они находят свое применение в разных областях, например [99]:

**1. Техническая поддержка для компьютеров, программного обеспечения и других устройств** — контакт-центры в этой области предоставляют техническую поддержку для решения проблем с компьютерами, программным обеспечением и другими устройствами. Клиенты могут связаться с контакт-центром через телефон, электронную почту или чат, чтобы получить помощь в устранении проблем.

**2. Розничная торговля и электронная коммерция** — помощь клиентам при покупке товаров и услуг, ответы на вопросы, связанные с доставкой и оплатой, решение проблем с заказами, предоставление информации о продуктах и т.д.

**3. Обслуживание клиентов в сфере финансовых услуг, таких как банковские и страховые услуги** — консультации клиентов по вопросам банковских и страховых услуг, таких как открытие и закрытие счетов, получение кредитов и страховых выплат, решение проблем с платежами и транзакциями.

**4. Здравоохранение и медицинские услуги** — запись на прием к врачу, получение консультации, предоставление информации о медицинских услугах и программах профилактики заболеваний.

**5. Телекоммуникации и связь** — помощь клиентам в решении проблем с доступом в Интернет, телефонной связью и телевидением, предоставление информации о тарифах и услугах.

**6. Гостиничный бизнес и туризм** — поддержка при бронировании номеров в гостиницах, покупке авиабилетов и туристических пакетов, а также решение вопросов с бронированием и оплатой.

**7. Автомобильная промышленность** — помощь в вопросах ремонта, обслуживания и гарантийного обслуживания автомобилей, а также предоставление информации о новых моделях и акциях.

**8. Государственные и муниципальные услуги** — содействие в получении информации о налогах, социальных выплатах и других государственных услугах, помощь в заполнении документов и решении вопросов с оформлением услуг.

**9. Ресторанный бизнес и общественное питание** — поддержка при бронировании столов, оформлении заказов на еду и напитки, а также решение вопросов, связанных с оплатой и качеством обслуживания.

**10. Онлайн-игры и развлечения** — помощь игрокам в решении проблем с игровыми аккаунтами, оплатой и техническими вопросами, а также предоставление информации о новых играх и текущих акциях.

Таким образом, контакт-центры могут быть полезны в любой отрасли, где необходимо обеспечить взаимодействие с клиентами. Например, в сфере недвижимости они используются для ответа на вопросы о продаже и аренде объектов, а также для организации их показов. В сфере образования контакт-центры могут помочь студентам и их родителям получить информацию о программе обучения, расписании занятий и т.д. Кроме того, контакт-центры широко используются в сфере услуг доставки, технического обслуживания, страхования и многих других. Перечисленные выше факторы доказывают, что контакт-центры являются важным инструментом для улучшения качества обслуживания клиентов и повышения уровня удовлетворенности.

### **1.3. Бизнес-преимущества контакт-центров**

Качественное и своевременное обслуживание клиентов может принести компании множество преимуществ. Кроме того, контакт-центры повышают конкурентоспособность компании, улучшая ее имидж и повышая уровень доверия клиентов. Некоторые из них [22]:

**1. Многоканальная коммуникация** — клиентам предоставляют доступ к различным каналам связи, таким как телефон, электронная почта, онлайн-чат и социальные сети. Это позволяет клиентам выбирать наиболее удобный способ взаимодействия, обеспечивая гибкость и доступность обслуживания в любое время суток. Многоканальность способствует быстрому и эффективному решению вопросов клиентов, повышая их удовлетворенность и лояльность к бренду [5, 9, 23, 117].

**2. Увеличение продаж** — контакт-центры могут использоваться для увеличения продаж, привлечения новых клиентов и удержания существующих. Они предоставляют информацию о новых продуктах и услугах, проводят опросы и исследования, чтобы понимать потребности клиентов и помогать как можно точнее им соответствовать [67].



**3. Оптимизация бизнес-процессов** — оптимизация бизнес-процессов и автоматизированное обслуживание клиентов позволяет свести участие оператора в процессах обработки клиентских запросов к минимуму. В свою очередь, это снижает затраты на обслуживание клиентов и повышает эффективность работы как контакт-центра, так и всей компании в целом [32].

**4. Улучшение аналитики** — сбор данных о клиентах, могут быть использованы для анализа и эффективности работы бизнес-процессов, улучшения продуктов и услуг и принятия стратегических решений. Для этих целей применяются различные методы, такие как опросы, анализ социальных сетей и т.д. Это помогает компаниям понимать потребности и предпочтения клиентов и разрабатывать наиболее эффективные стратегии продаж и маркетинга [36, 38].

**5. Увеличение конкурентоспособности** — для повышения конкурентоспособности бизнеса, контакт-центры предоставляют клиентам высококачественное обслуживание, которое удовлетворит их потребности и ожидания. Они помогают компаниям улучшить имидж бренда и повысить уровень доверия клиентов, что в свою очередь приводит к увеличению продаж и росту прибыли компании.

На примере перечисленных выше преимуществ отчетливо видна ключевая роль контакт-центров в развитии бизнеса и повышении его эффективности.

## 1.4. Тенденции развития

Управляющим контакт-центрами компаниям необходимо постоянно развиваться в ответ на появление новых технологий. Без отслеживания тенденций и улучшения услуг, они рискуют отстать от конкурентов. Ниже приведены несколько ключевых тенденций, определяющих развитие контакт-центров в настоящее время [6, 57]:

**1. Использование искусственного интеллекта и машинного обучения** — внедрение ИИ и машинного обучения для улучшения качества обслуживания

клиентов и повышение эффективности процессов работы контакт-центров [89, 90].

**2. Развитие омниканальности** — обеспечение возможности общения с клиентами через различные каналы связи, включая чат-боты, социальные сети, мессенджеры и другие [17].

**3. Повышение степени автоматизации процессов** — автоматическая обработка запросов и решение проблем клиентов с целью повышения эффективности работы контакт-центров.

**4. Усиление внимания к безопасности данных** — усиление мер по защите персональной информации клиентов и обеспечению безопасности данных [79].

**5. Развитие аналитики данных и использование Big Data** — применение больших данных для улучшения качества обслуживания клиентов и повышение эффективности процессов работы контакт-центров [7].

**6. Удобство использования** — создание понятного и удобного интерфейса для пользователя может улучшить его опыт.

**7. Удаленная работа** — предоставление возможности удаленной работы для сотрудника повышает продуктивность, снижает усталость, а главное позволяет снизить затраты на аренду офиса, оборудования и других связанных расходов [68, 88, 110].

**8. Укрепление партнёрских отношений** — сотрудничество контакт-центров с другими компаниями для обеспечения более полного и качественного обслуживания клиентов.

**9. Переход на облачные решения и модель SaaS** — внедрение облачных технологий и моделей SaaS для повышения гибкости и масштабируемости контакт-центров [64].

**10. Развитие технологии распознавания речи** — использование технологий распознавания речи для автоматического распределения запросов клиентов и эффективности обработки звонков [7, 112].

**11. Увеличение использования обратного звонка и возможностей IVR** — внедрение систем обратного звонка и интерактивных голосовых меню (IVR) для уменьшения времени ожидания клиентов и повышения удобства обслуживания.

**12. Развитие интерактивных голосовых помощников и чат-ботов** — использование голосовых помощников и чат-ботов для автоматического решения простых запросов клиентов и улучшения качества обслуживания [64].

**13. Внедрение системы управления знаниями** — создание систем управления знаниями для быстрого доступа операторов к информации и повышения качества ответов на запросы клиентов.

**14. Развитие мобильных приложений для клиентов** — создание мобильных приложений, позволяющих клиентам получать поддержку и обслуживание в любое время и в любом месте [75].

**15. Использование блокчейн-технологии** — применение блокчейн-технологий для обеспечения безопасности данных клиентов и повышения доверия к контакт-центрам [76].

Подводя промежуточный итог, следует отметить, что такие факторы как развитие облачных решений, использование технологии распознавания речи, голосовых помощников и мобильных приложений позволяют улучшить качество обслуживания клиентов и повысить эффективность работы контакт-центров. Однако, необходимо помнить, что технологии не заменят человеческого фактора, и важность квалифицированных операторов остается высокой.

## **1.5. Архитектура контакт-центров**

Архитектура современного контакт-центра включает [68, 69, 81, 82, 83]:

**1. Каналы взаимодействия с клиентами** — современные контакт-центры поддерживают множество каналов коммуникации для взаимодействия с клиентами, таких как голосовые запросы, электронная почта, чаты, социальные сети, SMS и другие. Каждый канал имеет свои особенности и требует специфического подхода [87, 114].

**2. Аппаратно-программные комплексы, серверы, маршрутизаторы, коммутаторы** — основной элемент контакт-центра, который обеспечивает его работу. Комплекс состоит из серверов, маршрутизаторов, коммутаторов и других устройств. Они выполняют различные функции, такие как маршрутизация звонков, хранение данных о клиентах, обработка звуковых файлов и другие.

Серверы – это компьютеры, которые выполняют различные функции в контакт-центре. На серверах устанавливаются программы для работы с базами данных, автоматической маршрутизации звонков, записи разговоров и другие. Серверы могут быть физическими или виртуальными.

Маршрутизаторы – это устройства, которые определяют, к какому оператору направить запрос. Маршрутизаторы могут использовать различные алгоритмы для принятия решений, такие как режим очереди, режим равномерного распределения и другие [73].

Коммутаторы – это устройства, которые обеспечивают соединение между клиентом и оператором. Коммутаторы могут использовать различные технологии для передачи голоса, такие как IP-сети, цифровые линии связи и другие.

**3. Рабочие места операторов с программным комплексом** — места, где работают операторы контакт-центра. Они оснащены компьютерами с программным комплексом для работы с клиентами. Программный комплекс обеспечивает возможность принимать запросы, отправлять сообщения через чаты и электронную почту, просматривать информацию о клиентах и другие функции.

Программный комплекс может иметь различные модули, такие как автоматическая маршрутизация звонков, система записи разговоров, система аналитики и другие. Операторы могут использовать различные инструменты для работы с клиентами, такие как скрипты общения, базы знаний и другие.

**4. ИБП, дизель-генераторные установки для бесперебойной работы оборудования в случае отключения основного энергоснабжения** — устройство, которое обеспечивает бесперебойную работу оборудования в случае отключения основного электропитания. ИБП имеет встроенный аккумулятор,

который позволяет поддерживать работу оборудования в течение некоторого времени.

Дизель-генераторные установки – это устройства, которые генерируют электрическую энергию в случае отключения основного электропитания. Дизель-генераторные установки могут работать долгое время и обеспечивают бесперебойную работу оборудования.

Без ИБП и дизель-генераторных установок контакт-центр может прекратить свою работу в случае отключения электропитания. Это может привести к потере данных о клиентах, пропущенным звонкам и другим проблемам. Поэтому ИБП и дизель-генераторные установки являются необходимыми элементами контакт-центра.

Подсистемы контакт-центров:

**1. Автоматизированная система распределения вызовов (АСРВ)** — система подобная рода основана на автоматическом распределении входящих вызовов в соответствии с настроенными алгоритмами работы. Основными факторами выбора оператора для обслуживания могут быть: доступность, опыт и навыки.

**2. Интерактивная голосовая система (IVR)** — это система, которая позволяет клиентам взаимодействовать с контакт-центром через голосовые команды и меню. IVR может предоставлять информацию о продуктах и услугах, обрабатывать запросы на техническую поддержку или перенаправлять вызовы на операторов контакт-центра. IVR может быть интегрирована с АСРВ для более эффективного распределения вызовов.

**3. Система управления знаниями (СУЗ)** — это система, которая позволяет операторам контакт-центра получить доступ к информации о продуктах, услугах и процедурах компании. СУЗ содержит базу знаний, в которой хранится информация о часто задаваемых вопросах, решениях проблем, инструкциях и других релевантных материалах. Операторы могут использовать СУЗ для быстрого и точного предоставления информации клиентам [93].

**4. Система мониторинга и аналитики** — это система, которая позволяет контакт-центру отслеживать и анализировать различные метрики и показатели производительности [92, 95, 104]. Это может включать количество и продолжительность вызовов, время ожидания, уровень обслуживания, удовлетворенность клиентов и другие параметры. Система мониторинга и аналитики помогает контакт-центру оптимизировать свою работу и улучшить качество обслуживания клиентов.

Стандартная схема работы контакт-центра (Рисунок 1.2):

1. Клиент выбирает удобный канал связи с организацией и делает запрос.
2. Выполняется поиск свободного оператора и происходит подключение.
3. В процессе общения оператор определяет проблему и вносит изменения в систему.

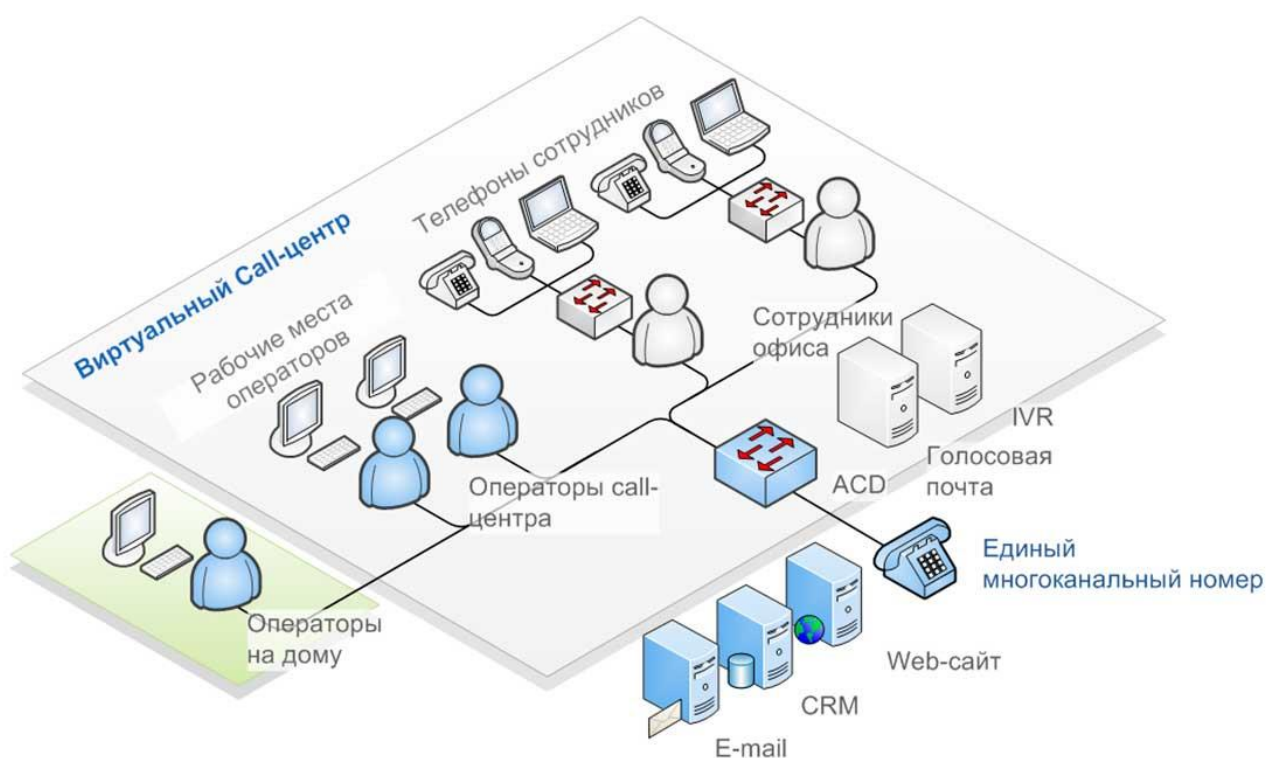


Рисунок 1.2 — Архитектура стандартного контакт-центра [58, 59].

Также существует очередь запросов, если все операторы заняты, клиента переключают в режим ожидания, после появления свободного оператора, клиента подключают к оператору. Часто при покупке услуги, можно выбрать опцию «Выделенный оператор» за дополнительную плату. Эта услуга позволяет получить приоритет в очереди [3].

### 1.5.1. Основные структурные элементы контакт-центра и их взаимосвязь

Контакт-центр состоит из множества структурных элементов и каждый из них выполняет свою функцию и взаимодействует с другими элементами системы. Рассмотрим основные структурные элементы [40]:

**1. Автоматическая телефонная станция (АТС)** — главный компонент контакт-центра, который обеспечивает регулирование входящих и исходящих звонков. Она автоматически направляет запросы к операторам, определяет приоритетность обработки запросов и управляет очередью звонков. Кроме того, она осуществляет функцию IVR (Interactive Voice Response) — голосового меню, которое дает возможность самостоятельно выбирать нужный раздел и получать информацию без участия оператора.

**2. CRM-система (Customer Relationship Management)** — это система, которая позволяет управлять отношениями с клиентами, интегрируясь с АТС и другими каналами связи. С помощью этой системы можно сохранять и анализировать информацию о клиентах, заказах и проблемах. Это позволяет оптимизировать обработку заявок и улучшить качество обслуживания.

**3. WFM-системы (Workforce Management)** — представляют собой специализированный класс программного обеспечения, предназначенный для оптимального планирования и управления персоналом контакт-центра. В отличие от CRM-систем, фокусирующихся на взаимодействии с клиентом, WFM решает внутренние операционные задачи: прогнозирование нагрузки на основе исторических данных и трендов, составление сбалансированных графиков работы операторов с учетом законодательных норм и навыков сотрудников, а также мониторинг соблюдения расписания в реальном времени. Внедрение WMS позволяет достичь баланса между тремя ключевыми целями: соблюдением согласованного уровня сервиса (Service Level Agreement, SLA), эффективным использованием рабочего времени операторов (утилизацией) и обеспечением справедливого распределения нагрузки среди сотрудников [33].

Среди российских решений данного класса можно выделить платформы компаний «Аргус» и «Naumen». Система «Аргус-ЦКТ» предоставляет комплексный инструментарий для прогнозирования call-трафика, автоматического построения расписаний и анализа производительности в режиме реального времени. Аналогично, «Naumen Контакт-центр» включает мощный WFM-модуль, который поддерживает многоканальное прогнозирование, учитывает навыки операторов при маршрутизации и интегрируется с системами телефонии и CRM. Результаты проведенного в диссертации исследования, в частности, разработанные модели и алгоритмы оценки необходимого количества операторов, могут быть непосредственно интегрированы в функционал подобных WFM-систем для повышения точности планирования и эффективности использования человеческих ресурсов.

**4. Мониторинг и аналитика** — являются важными элементами контакт-центра, осуществляемыми с помощью специализированного программного обеспечения, установленного на серверной инфраструктуре или размещенного в облачных системах [49]. Эти системы позволяют отслеживать работу операторов, качество обслуживания клиентов, скорость обработки заявок, рейтинги и другие ключевые показатели. Кроме того, используются инструменты для сохранения записей разговоров, мониторинга сессий операторов и анализа собранных данных. Все эти функции выполняются на серверных платформах, обеспечивающих надежное хранение и обработку информации, а также соблюдение требований безопасности и защиты данных [96]. Использование таких решений позволяет выявлять проблемы в работе контакт-центра и своевременно их устранять, обеспечивая высокий уровень обслуживания клиентов и повышая общую эффективность работы центра. Автоматизированный мониторинг и аналитика способствуют принятию обоснованных управленческих решений и постоянному совершенствованию процессов взаимодействия с клиентами [86].

**5. Рабочее место оператора** — это места, где операторы обрабатывают входящие и исходящие запросы, электронные сообщения. Как правило такое



место оборудовано компьютером, на котором установлена программа для работы с CRM-системой, АТС и другими инструментами.

Операторы остаются ключевым элементом контакт-центра, обеспечивая решение сложных и нестандартных вопросов, которые недоступны для автоматизированных систем. Их работа требует высоких коммуникативных навыков, глубокого знания продуктов компании и способности принимать решения в условиях стресса и высокой нагрузки. Качественное обслуживание операторов напрямую влияет на удовлетворенность клиентов, их лояльность и готовность рекомендовать компанию, что подтверждает необходимость постоянного обучения и развития персонала даже в условиях растущей автоматизации

Все структурные элементы контакт-центра взаимосвязаны между собой и выполняют свои функции в единой системе. Например, АТС обеспечивает маршрутизацию звонков на операторские рабочие места, CRM-система сохраняет информацию о клиентах и обращениях, мониторинг и аналитика позволяют отслеживать эффективность работы операторов, а обучение и развитие позволяют повышать квалификацию сотрудников и улучшать качество обслуживания [74].

Информационные системы контакт-центра интегрируются с системами других подразделений компании, таких как отделы продаж, маркетинга и технической поддержки. Например, CRM-система взаимодействует с системами управления продажами и маркетинга, что позволяет эффективно управлять взаимоотношениями с клиентами на всех этапах их жизненного цикла.

### **1.5.2. Уровни поддержки в контакт-центре**

Существует множество типов контакт-центров, различающихся по количеству линий поддержки, что зависит от численности штата, объема и типа решаемых задач. В небольших контакт-центрах часто функционирует одна линия поддержки, на которой работают несколько операторов, обрабатывающих входящие запросы и запросы клиентов. Однако для наглядности и более

детального анализа в данной работе рассматривается крупный контакт-центр, состоящий из нескольких специализированных линий поддержки операторами. В таком центре каждая линия выполняет свою уникальную роль и решает определённые категории проблем, что позволяет эффективно распределять рабочую нагрузку и обеспечивать высокий уровень обслуживания клиентов. Рассмотрим подробнее каждую из этих линий [1, 10, 11].

**1. Первая линия поддержки** — на этом уровне операторы контакт-центра в основном предоставляют информацию клиентам о продуктах и услугах компании, также решают простейшие проблемы, регистрируют жалобы, ошибки и создают заявки для решения более сложных вопросов для второй линии поддержки. Чаще всего операторы на этой линии оперируют заготовленными скриптами для обработки запросов и используют базу данных.

Задачи первой линии поддержки:

- Принимают запросы и обращение клиентов по любому из каналов.
- Предоставляют информацию о продуктах и услугах компании.
- Фильтруют обращение и регистрируют только те, которые относятся непосредственно к компании.
- Проводят сбор информации, далее передают эту информацию на вторую линию поддержки для более детального разбирательства.
- Оператор предлагает свое решение проблемы, если оно помогает, то заявку закрывают.
- Сбор обратной связи от клиентов.

**2. Вторая линия поддержки** — на этом уровне системные администраторы решают проблемы, которые не могли решить на первой линии поддержки. Операторы этой линии более квалифицированные, у них больше знаний о продуктах и услугах компании. Они могут выполнять настройку системы и программного обеспечения, устранять неполадки, проводить диагностику проблем. Также они могут предоставить клиенту инструкцию по устранению или использованию продуктов и услуг компании.

Задачи второй линии поддержки:

- Проводят диагностику, с учетом информации от первой линии поддержки. Иногда требуется выезд в офис клиента.

- Определяют действия, которые необходимы для решения проблемы и решают ее. Если проблема была решена, закрывают заявку.

- Если проблема не может быть устранена, передают ее на третью линию поддержки.

**3. Третья линия поддержки** — на этом уровне технические специалисты обладают знаниями в предметной области. Как правило проблемы этого уровня влекут за собой масштабные последствия, и требуют быстрых и четких действий для их устранения.

Задачи третьей линии поддержки:

- Проводят повторную диагностику и выясняют место и причины проблемы.
- Определяют действия, которые необходимы для решения проблемы и решают ее. Если проблема была решена, закрывают заявку.

- Если проблема требует вмешательства разработчика, то передают заявку на четвертую линию поддержки, где производится исправление или дообработка системы.

**4. Четвёртая линия поддержки** — производственная поддержка. Сотрудники этого уровня выполняют функции разработчиков, занимаясь исправлением программных ошибок, доработкой программных продуктов и оборудования. Производственная поддержка обеспечивает постоянное улучшение и обновление систем, что позволяет поддерживать высокий уровень качества обслуживания и стабильную работу контакт-центра. Благодаря их работе возможна быстрая адаптация к новым требованиям и эффективное решение сложных технических проблем, выходящих за рамки возможностей первых трёх линий поддержки.

Схематично взаимодействие линий поддержки показано на Рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 — Уровни обслуживания в контакт-центре [35]

## 1.6. Типы клиентского доступа в контакт-центрах

Контакт-центры предоставляют клиентам разнообразные каналы доступа для взаимодействия с компанией, что позволяет обеспечить удобство и эффективность коммуникации. Основные типы доступов включают речевые каналы, самообслуживание, текстовые чаты, электронную почту, социальные сети, мобильные приложения и другие современные средства связи.

Речевые каналы остаются одним из самых традиционных и широко используемых способов взаимодействия. Клиенты могут обращаться в контакт-центр посредством телефонных звонков, что обеспечивает непосредственную и оперативную обратную связь. Голосовые взаимодействия позволяют эффективно решать сложные и индивидуальные вопросы, требующие живого общения с оператором.

Системы самообслуживания предоставляют клиентам возможность самостоятельно находить решения своих вопросов без обращения к оператору. Такие системы часто реализуются через интерактивные голосовые меню (IVR)

или через веб-порталы, где пользователи могут получить доступ к часто задаваемым вопросам, отслеживать статус заказов, изменять настройки учетной записи и выполнять другие операции. Самообслуживание снижает нагрузку на операторов и позволяет клиентам быстро решать стандартные задачи.

Текстовые чаты и мессенджеры становятся все более популярными благодаря своей удобности и скорости. Чат-боты могут автоматически отвечать на типичные запросы, а операторы могут вступать в диалог с клиентами для решения более сложных вопросов. Этот канал особенно привлекателен для молодого поколения пользователей, предпочитающих текстовые коммуникации голосовым звонкам [85].

Электронная почта предоставляет клиентам возможность детально описать свои запросы и получить ответы в удобное для них время. Этот канал особенно полезен для сложных или не срочных вопросов, требующих тщательного рассмотрения и подготовки ответов.

Социальные сети играют важную роль в современных контакт-центрах, так как позволяют взаимодействовать с клиентами на платформах, где они активно проводят время. Ответы на комментарии и сообщения в социальных сетях помогают поддерживать положительный имидж компании и оперативно реагировать на отзывы и жалобы.

Мобильные приложения обеспечивают дополнительный канал для взаимодействия, интегрированный непосредственно с сервисами компании [20]. Через приложения клиенты могут получать уведомления, обращаться за поддержкой, использовать функции самообслуживания и получать персонализированные предложения.

Видео-консультации становятся все более востребованными, особенно в сферах, требующих визуальной демонстрации или объяснения, таких как техническая поддержка или консультации по продуктам. Видео-общение позволяет установить более личный контакт и улучшить качество обслуживания.

Кроме перечисленных, существуют также специализированные каналы, такие как SMS, форумы, вебинары и другие интерактивные платформы, которые

позволяют адаптировать взаимодействие под конкретные потребности клиентов и особенности бизнеса.

Использование многообразных каналов доступа позволяет контакт-центрам обеспечивать высокий уровень сервиса, отвечать на разнообразные потребности клиентов и поддерживать конкурентоспособность на рынке. Правильное сочетание различных типов доступов способствует улучшению клиентского опыта, увеличению удовлетворенности и лояльности клиентов, а также улучшению внутренних процессов обслуживания.

### **1.7. Показатели поступления и обслуживания заявок в контакт-центрах**

Существуют определённые показатели, по которым можно оценить работу контакт-центра и чат-бота. Зная эти показатели, операторы контакт-центра смогут улучшить обработку всех заявок клиентов, а разработчики смогут улучшить алгоритмы чат-бота.

Рассмотрим основные показатели контакт-центра, они подразделяются на несколько разделов: уровень сервиса, уровень эффективности, качество, продажи.

Уровень сервиса — это оценка доступности контакт-центра. Данный показатель определяется таким образом, чтобы соблюсти баланс между качеством обслуживания и затратами контакт-центр.

**1. Уровень сервиса** — отношение обработанных оператором вызовов («снятых трубок») в рамках определенного времени (заданного бизнесом) к общему количеству поступивших в очередь звонков (в том числе и при времени нахождения в очереди = 0 сек). Рекомендуемое значение: не ниже 80% вызовов должны быть обработаны (показатель 80/20 — отраслевой стандарт).

**2. Процент потерянных звонков** — доля звонков, которые не были переданы операторам и были потеряны. Это может произойти из-за перегрузки линий, недостаточного количества операторов или других технических проблем. Высокий процент потерянных звонков может свидетельствовать о недостаточной мощности колл-центра или неэффективности его работы. Рекомендуемое

значение: не выше 5–8% — при превышении этого порога стоит пересмотреть кадровое обеспечение и техническую инфраструктуру.

**3. Среднее время ответа** — это время, которое клиент ждет на линии до момента ответа и начала обслуживания оператором. Этот показатель рассчитывается как сумма времени ожидания всех клиентов, поделенная на общее число клиентов [91]. Чем меньше среднее время ответа, тем быстрее операторы отвечают на запросы клиентов и тем более эффективно работает колл-центр или отдел обслуживания клиентов. Среднее значение: 20–40 секунд, однако в некоторых отраслях (например, в финансовой или медицинской) приемлемым считается время до 15 секунд.

Уровень эффективности — показывает, насколько оптимально и с наименьшими затратами используются ресурсы контакт-центра для достижения требуемого качества обслуживания.

**1. Утилизация операторов** — соотношение времени работы на линии к оплачиваемому времени. Этот показатель показывает время, которое уделял оператор своим прямым обязанностям, а сколько уделял время на вещи, которые не относятся напрямую к работе, то есть обедал, курил, проходил тренинги, сидел в социальных сетях. Рекомендуемый диапазон: 75–85%. Значения ниже могут указывать на недозагрузку, выше — на перегрузку.

**2. Загрузка операторов** — это важный параметр, позволяющий оценить эффективность работы оператора, сколько он обрабатывает запросов за определенный период времени и также его объем работы. Высокая нагрузка оператора может иметь разные причины. Например, недостаточное количество операторов в контакт-центре из-за чего ему приходится обрабатывать слишком много запросов, также это может быть причиной небольшого опыта, из-за чего увеличивается время обработки запроса, а также растет очередь [15]. Значение зависит от специфики бизнеса, продолжительности звонков и сложности обращений. Обычно составляет 30–60 обращений в смену на одного оператора.

**3. Среднее время обработки звонка** — средняя продолжительность времени, затраченную на обслуживание одного звонка или вызова в организации. Он

может быть выражен в минутах, секундах или других единицах времени. Этот показатель является важным для оценки эффективности работы контакт-центра или службы поддержки, так как он позволяет определить, сколько времени требуется на обработку каждого вызова и планировать ресурсы соответственно. Чем меньше среднее время обработки звонка, тем более эффективно работает служба поддержки или контакт-центр. Рекомендуемый диапазон: 3–6 минут. Более длительные вызовы допустимы в случае технической или юридической поддержки.

Качество — является ключевым аспектом, поскольку именно этот контакт-центр представляет собой основное взаимодействие с клиентами. В процессе общения между клиентом и оператором формируется первое впечатление, что имеет значительное значение для дальнейших отношений. Неправильное обслуживание клиентов может привести к разным последствиям. Например, неверно переведенный запрос абонента на неподходящий сплит может увеличить время обработки клиента, что, в свою очередь, сдвигает сроки выполнения других процессов и может привести к финансовым потерям. Также это может негативно сказаться на уровне лояльности клиентов. Таким образом, цель работы контакт-центра не ограничивается лишь достижением определенных показателей качества, она заключается в том, чтобы эффективно помогать клиентам в решении их задач.

**1. Критические ошибки** — оценка качества работы сотрудников в области консультаций, продаж и других активностей. Он отражает количество и серьезность ошибок, допущенных сотрудниками во время работы. Критические ошибки могут быть связаны с неправильной информацией, непрофессиональным обслуживанием клиентов, неверным оформлением заказов и другими аспектами работы. Мониторинг и контроль этого параметра позволяют выявить проблемные моменты и предпринять меры для их исправления. Допустимое значение: 0-1% от всех взаимодействий. При превышении порога необходимо проводить дообучение.



**2. Процент звонков, в которых клиент получит ответ** — эффективность работы контакт-центра или отдела обслуживания клиентов. Это процент звонков, в ходе которых все вопросы или проблемы клиентов были решены, и не понадобилось повторное обращение с той же темой. Этот показатель позволяет оценить уровень удовлетворенности клиентов и эффективность работы сотрудников. Чем выше процент звонков, в которых клиент получает ответ, тем лучше качество обслуживания. Целевое значение: 85-95%. Этот показатель напрямую влияет на удовлетворённость клиентов.

**3. Процент звонков получения ответа при первом звонке** — процент звонков, в которых клиент получает решение своего вопроса с первого обращения. Это означает, что сотрудник контакт-центра или отдела обслуживания клиентов успешно помог клиенту без необходимости дополнительных обращений или перезвонов. Этот показатель является важным для оценки эффективности работы сотрудников и качества обслуживания. Чем выше процент звонков получения ответа при первом звонке, тем более эффективно работает колл-центр или отдел обслуживания клиентов. Хороший уровень: 70–85%. Значение ниже 70% указывает на необходимость пересмотра скриптов или процессов.

Зачастую компании для увеличения производительности и снижения нагрузки на операторов используют автоматизированных чат-ботов. Для определения эффективности чат-ботов также существуют показатели:

**1. Количество пользователей** — к этому показателю относятся общее количество пользователей, новые пользователи и вернувшиеся пользователи. Последнее очень полезная метрика, она показывает сколько пользователей вернулись после использования чат-бота, если этот параметр растёт значит пользователи удовлетворены чат-ботом [70, 71]. Значения зависят от трафика, но коэффициент возврата пользователей больше 30% указывает на положительный пользовательский опыт.

**2. Оценка диалога** — в конце каждого диалога пользователю предоставляется возможность оценить диалог с чат-ботом. Исходя из ответа можно понять почему

была выставлена отрицательная оценка, а также в последующем проанализировать диалог [11, 71]. Рекомендуемая средняя оценка: 4,2-4,7 из 5.

**3. Нераспознанные предложения пользователей** — иногда при нетипичных вопросах и ответах, чат-боты не могут понять пользователя, для решения этой проблемы чат-боту следует либо попросить пользователя переформулировать вопрос, либо перевести вопрос на оператора [11, 70, 71]. Должна составлять не более 5-10% от общего числа обращений. При превышении — требуется расширение базы знаний.

**4. Снижение нагрузки контакт-центра** — разница в количестве обработанных запросов до и после внедрения чат-бота. Чем больше разница, тем больше нагрузка была снижена. Снижение нагрузки позволяет операторам сосредоточиться на более сложных и специфических запросах, требующих их участия и экспертизы, также клиенты могут получить ответы на свои вопросы быстрее, так как чат-боты могут работать круглосуточно без задержек [11]. Ожидаемое снижение: 15-40%, в зависимости от тематики обращений и глубины автоматизации.

**5. Средняя продолжительность диалога** — преимущества чат-бота что он может справляться со многими задачами быстрее операторов. Короткая продолжительность диалога — это хорошо, но только при условии, что проблема была решена. В зависимости от того, для чего был создан чат-бот этот показатель может варьироваться как в положительную, так и отрицательную сторону [71]. Рекомендуемое значение: 1-3 минуты, при условии, что проблема клиента была успешно решена.

Чтобы контакт-центру оценить эффективность в первую очередь следует рассчитать требуемое количество операторов в зависимости от нагрузки, чтобы операторы не простаивали, а компания не тратила дополнительные средства. Во многих современных WFM-системах заложен функционал расчета числа операторов, основанный на использовании модели Эрланга с бесконечной очередью.

Расчёт параметров эффективности [18, 51, 60]:

1. Формула для расчёта уровня сервиса:

$$SL = \frac{\text{Количество звонков, обработанных оператором}}{\text{Общее количество звонков}} * 100. \quad (1.1)$$

2. Процент потерянных звонков:

$$AR = \frac{\text{Количество потерянных звонков}}{\text{Общее количество звонков}} * 100. \quad (1.2)$$

3. Среднее время ответа:

$$ASA = \left( \frac{W + B + RT}{\text{Общее количество звонков}} \right). \quad (1.3)$$

где  $W$  — автоматическое приветствие и сообщение, куда позвонил абонент, эту часть очереди ставят как обязательную, чтобы клиент точно знал куда позвонил и понял, что ошибся и не тратил время),  $B$  — автоматическое сообщение в случае, если все операторы заняты,  $RT$  — время с момента передачи вызова на оператора, до момента ответа оператора, время ответа оператора.

4. Утилизация операторов:

$$\text{Утилизация} = \frac{\text{Продуктивное время}}{\text{Оплачиваемое время}} * 100\%. \quad (1.4)$$

где *Продуктивное время*:

$$\begin{aligned} \text{Продуктивное время} = \\ \text{Время обработки звонка} + \\ \text{Время в режиме ожидания}. \end{aligned} \quad (1.5)$$

5. Загрузка операторов:

$$ОСС = \frac{\text{Время обработки звонка}}{\text{Продуктивное время}} * 100\%. \quad (1.6)$$

где время обработки звонка:

$$\begin{aligned} \text{Время обработки звонка} = \text{Время разговора} + \\ \text{Время в режиме ожидания} + \\ \text{Время поствызывной обработки}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Время поствызывной обработки — это время, которое начинается непосредственно после разговора оператора с клиентом и длится установленный

вами промежуток времени. Это дополнительное время, на то, чтобы оператор закончил внесение информации о результатах звонка в скрипт.

6. Среднее время обработки звонка:

$$АНТ = \frac{\text{Время обслуживания вызовов}}{\text{Количество обслуженных вызовов}}. \quad (1.8)$$

где время обслуживания вызовов:

$$\begin{aligned} \text{Время обслуживания вызова} = \\ \text{Время разговора} + \\ \text{Время удержания} + \\ \text{Время постобработки} + \\ \text{Время паузы}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

7. Критические ошибки:

$$CCEA = \frac{\text{Критическая ошибка с точки зрения закона}}{\text{Общее количество прослушанных звуковых файлов}}. \quad (1.10)$$

8. Процент звонков, в которых клиент получит ответ, в первую очередь имеет смысл анализировать по каждому оператору индивидуально. В случае, если же допускаются массовые ошибки, то проблему надо искать в подготовке: проанализировать процесс обучения операторов на предмет доступности материала для понимания и воспроизведения, контент скрипта на предмет наличия всей необходимой информации, доступности и простоты использования в работе [47].

9. Процент звонков получения ответа при первом звонке, чтобы это рассчитать можно взять и посмотреть повторные обращения на линию. Попытаться взять, сопоставив с данными CRM, обращения по разным темам.

Приведенные выше формулы для расчета операционных показателей, такие как уровень сервиса, процент потерянных звонков, среднее время ответа, утилизация операторов, загрузка операторов, среднее время обработки звонка и критические ошибки относятся к эмпирическому подходу и требуют для своего практического применения точных входных данных, получаемых в результате реальных измерений за конкретный временной интервал. К таким данным

относятся интенсивность входящего потока, среднее время обработки звонка, длительность разговора и другие операционные метрики. При отсутствии достоверных статистических измерений использование данных методов становится неэффективным, так как результаты расчетов не будут отражать реальную картину работы контакт-центра, что ограничивает их применение для точного планирования и оперативного управления.

Относительно чат-ботов, нет конкретных формул для его расчета эффективности, система должна постоянно собирать данные, например, количество пользователей, новых пользователей, вернувшиеся пользователи, последняя метрика если растет, то значит клиенты удовлетворены чат-ботом. Также клиенты могут оценивать чат-бота в конце диалога, написать отзыв и сообщить о том была ли решена их проблема или нет. Если клиент был переведен на оператора, можно понять сколько вопросов было не решено в процессе общения с чат-ботом. По продолжительности общения с чат-ботом, можно выяснить насколько он был эффективен, но тут есть две стороны, если чат-бот развлекательный, то длительный разговор, это положительная сторона, а если чат-бот для решения проблем, то длительный разговор, наоборот отрицательная сторона. Чат-бот нужен для того, чтобы сократить нагрузку на операторов, компаниям следует замерить загруженность операторов до появления чат-бота и после его появления, если нагрузка спала, а количество решенных проблем возросло, то чат-бот более чем эффективен и было хорошим решением [53].

### **1.7.1. Типы и классификация характеристик**

В контакт-центре существует множество характеристик, которые могут быть классифицированы по различным параметрам. Рассмотрим основные типы и классификацию характеристик в контакт-центре [115, 118].

#### **1. Классификация характеристик по времени выполнения:**

- Время ожидания — время, которое клиент проводит в очереди перед тем, как его обслужат операторы контакт-центра.

- Время разговора — время, затраченное оператором на разговор с клиентом.
- Время обработки запроса — общее время, затраченное на обработку запроса клиента, включая время ожидания и время разговора.
- Время обработки запроса в рамках сервисного уровня (SLA) — время, в течение которого должен быть обработан запрос клиента в соответствии с установленными стандартами качества обслуживания.

## **2. Классификация характеристик по качеству обслуживания:**

- Уровень обслуживания (Service Level) — процент запросов, которые были обработаны в рамках установленного SLA.
- Время ответа — время, через которое клиент получает ответ на свой запрос.
- Качество обслуживания — оценка клиентом качества предоставляемых услуг контакт-центра, например, по шкале от 1 до 10.

## **3. Классификация характеристик по эффективности работы:**

- Процент повторных обращений — процент клиентов, которые обратились в контакт-центр снова по той же проблеме.
- Процент удовлетворенных клиентов — процент клиентов, которые были удовлетворены результатами обращения в контакт-центр.
- Процент отказов — процент запросов, на которые клиентам было отказано в обслуживании.
- Процент ошибок — процент ошибок, допущенных операторами контакт-центра при обработке запросов клиентов.

## **4. Классификация характеристик по стоимости:**

- Средняя стоимость обработки запроса — средняя стоимость обработки одного запроса клиента.
- Общая стоимость обработки запросов — общая сумма, затраченная на обработку всех запросов клиентов в контакт-центре.

- Стоимость поддержания контакт-центра — общая сумма, затраченная на содержание и поддержание работы контакт-центра, включая зарплаты операторов, оборудование и программное обеспечение.

## **5. Классификация характеристик по типам запросов:**

- Количество запросов — общее количество запросов, поступивших в контакт-центр за определенный период времени.
- Типы запросов — различные категории запросов клиентов, например, техническая поддержка, консультации, рекламации и т.д.
- Среднее время обработки запроса по типам — среднее время обработки запросов в каждой категории.

Классификация характеристик в контакт-центре позволяет более точно оценить эффективность работы и качество обслуживания клиентов. Это важно для повышения эффективности процессов и уровня удовлетворенности клиентов.

## **1.8. Планирование работы контакт-центров**

В современном мире бизнеса, где клиенты становятся все более требовательными и информированными, компании все больше осознают важность обеспечения высокого уровня обслуживания своих клиентов. Одним из ключевых инструментов для достижения этой цели является контакт-центр — специализированная организация, занимающаяся обработкой входящих и исходящих звонков, электронных писем и сообщений от клиентов.

Планирование работы контакт-центра является неотъемлемой частью его успешного функционирования. Это процесс, который включает в себя определение целей и задач контакт-центра, выбор необходимых ресурсов и разработку стратегии и тактики для достижения поставленных целей. Планирование работы контакт-центра также включает в себя определение структуры и процессов, необходимых для эффективной работы, а также разработку плана обучения и мотивации персонала [29].

Основной целью планирования работы контакт-центра является обеспечение высокого уровня обслуживания клиентов. Это достигается путем повышения эффективности процессов обработки звонков и сообщений, улучшения качества общения с клиентами и повышения удовлетворенности клиентов. Кроме того, планирование работы контакт-центра помогает снизить издержки и повысить эффективность его работы [7, 52].

Одним из ключевых аспектов планирования работы контакт-центра является выбор подходящих технологий и инструментов. Современные технологии позволяют автоматизировать многие процессы, такие как маршрутизация звонков, управление базой данных клиентов и запись разговоров. Также важно выбрать правильную систему управления знаниями, которая позволит операторам быстро получать необходимую информацию для решения проблем клиентов [29, 34, 63].

Еще одним важным аспектом планирования работы контакт-центра является разработка стратегии обучения и мотивации персонала. Контакт-центр — это высоконагруженная среда, где операторы должны быть готовы к общению с различными типами клиентов и решению различных проблем. Поэтому важно разработать программу обучения, которая поможет операторам улучшить свои навыки и повысить качество обслуживания. Кроме того, мотивация персонала через систему поощрений и стимулирования позволит повысить их эффективность и удержать лучших сотрудников [45].

Это сложный и многогранный процесс, который требует глубокого понимания бизнес-процессов компании и потребностей клиентов. Качественное планирование работы контакт-центра поможет компании улучшить свою репутацию, повысить лояльность клиентов и обеспечить устойчивый рост бизнеса [9].



### 1.8.1. Анализ потребностей клиентов и стратегии обслуживания

Современный рынок характеризуется высокой конкуренцией и постоянными изменениями. Для успешного развития бизнеса необходимо постоянно анализировать потребности клиентов и разрабатывать эффективные стратегии обслуживания, которые позволят удовлетворить их потребности и повысить уровень лояльности к бренду [119].

Рассмотрим важность анализа потребностей клиентов для разработки стратегии обслуживания, а также методы и инструменты, которые помогут достичь этой цели.

Анализ потребностей клиентов является важным этапом в разработке стратегии обслуживания. Это процесс изучения и понимания потребностей, желаний и предпочтений клиентов. Целью анализа является выявление ключевых факторов, которые влияют на выбор продукта или услуги клиентом.

Существует несколько методов анализа потребностей клиентов [27, 29]:

**1. Анкетирование** — метод сбора информации о потребностях клиентов путем заполнения анкет. Анкеты могут быть как бумажными, так и онлайн. Они содержат вопросы о предпочтениях, потребностях и удовлетворенности клиентов.

**2. Фокус-группы** — метод группового интервью, в котором участвуют представители целевой аудитории. Фокус-группы позволяют получить более глубокую информацию о потребностях и мотивах клиентов.

**3. Интервью** — метод индивидуального опроса клиентов для получения более подробной информации о их потребностях и предпочтениях.

**4. Анализ отзывов и комментариев** — современные технологии позволяют собирать и анализировать отзывы и комментарии клиентов о продукте или услуге. Это позволяет выявить проблемные места и потребности клиентов.

**5. Маркетинговые исследования** — комплексный подход к изучению рынка и потребностей клиентов. Он включает в себя анализ конкурентов, целевой аудитории, трендов рынка и других факторов.

Важно понимать, что анализ потребностей клиентов является постоянным процессом и должен проводиться регулярно. Потребности и предпочтения клиентов могут меняться со временем, поэтому необходимо постоянно отслеживать изменения и вносить корректировки в стратегию обслуживания.

После проведения анализа потребностей клиентов необходимо разработать эффективную стратегию обслуживания, которая будет учитывать полученные данные и позволит удовлетворить потребности клиентов. Разработка стратегии обслуживания включает в себя следующие этапы [28, 30]:

**1. Определение целевой аудитории** — это группа людей, которые наиболее заинтересованы в продукте или услуге компании. Определение целевой аудитории позволяет более точно определить потребности и предпочтения клиентов.

**2. Формулирование целей и задач** — цели и задачи должны быть четко сформулированы и соответствовать потребностям клиентов. Например, целью может быть повышение уровня удовлетворенности клиентов, а задачей — сокращение времени ожидания ответа от оператора контакт-центра.

**3. Определение каналов коммуникации** — это способы, которыми клиенты могут обратиться к компании для получения информации или решения проблемы. Среди них могут быть телефонный звонок, электронная почта, онлайн чат и другие.

**4. Разработка стандартов обслуживания** — это правила и требования, которые должны выполняться при общении с клиентами. Они помогают обеспечить единый уровень качества обслуживания и повысить удовлетворенность клиентов.

**5. Обучение сотрудников** — сотрудники, работающие с клиентами, являются ключевым элементом в обеспечении качественного обслуживания. Поэтому важно проводить обучение и тренинги, которые помогут им повысить профессиональные навыки и эффективность работы.

**6. Внедрение технологий и инструментов** — современные технологии и инструменты, такие как CRM-системы, автоматизация процессов и социальные

сети, позволяют улучшить качество обслуживания и повысить эффективность работы центра обслуживания клиентов [39].

**7. Мониторинг и анализ** — после внедрения стратегии обслуживания необходимо постоянно отслеживать ее эффективность и проводить анализ данных о работе центра обслуживания клиентов. Это позволит выявить проблемные места и внести корректировки в стратегию [105].

## **1.9. Анализ и систематизация математических моделей контакт-центров**

Анализ математических моделей контакт-центров направлен на повышение эффективности их работы, в частности, на определение оптимального числа операторов для обеспечения качественного обслуживания. Избыток персонала влечет неоправданные затраты, а его недостаток приводит к увеличению времени ожидания, снижению удовлетворенности клиентов и росту текучести кадров из-за перегрузки. Математическое моделирование позволяет прогнозировать различные сценарии функционирования центров и совершенствовать их работу. Цель анализа — выявить преимущества и недостатки существующих методов для разработки новых моделей, которые учитывали бы особенности современных справочно-информационных служб, и создать комплексный подход к описанию их деятельности.

### **1.9.1. Классическая модель Эрланга**

Классическая модель Эрланга, также известная как система типа  $M/M/m/m$ , используется для анализа систем массового обслуживания, в которых заявки поступают по пуассоновскому процессу, а время обслуживания заявок распределено экспоненциально. Эта модель применима к системам, где заявки могут быть отклонены, если все операторы заняты. Модель является основой для многих современных моделей анализа контакт-центров [54].

Параметры [12]:

- $\lambda$  — интенсивность входящего потока заявок, измеряемая в количестве заявок в единицу времени.
- $\mu$  — интенсивность обслуживания, измеряемая в количестве обслуженных заявок в единицу времени.
- $\nu$  — количество операторов или обслуживающих приборов в системе.
- $a$  — показатель нагрузки системы, рассчитываемый как отношение интенсивности входящего потока заявок к интенсивности обслуживания.

Входящие заявки поступают в систему с интенсивностью  $\lambda$  и обрабатываются  $\nu$  операторами с интенсивностью  $\mu$ . Если все операторы заняты, новые заявки получают отказ.

Для расчета вероятности отказа в обслуживании используется формула:

$$B(\nu, a) = \frac{\frac{a^\nu}{\nu!}}{\sum_{k=0}^{\nu} \frac{a^k}{k!}}. \quad (1.11)$$

где  $a = \frac{\lambda}{\mu}$  — показатель нагрузки системы, представляющий собой отношение интенсивности входящего потока к интенсивности обслуживания.

Показатель нагрузки системы:

$$a = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (1.12)$$

Среднее число занятых операторов:

$$L = a \times (1 - B(\nu, a)). \quad (1.13)$$

Преимущества такой модели — это простота и математическая строгость, что делает модель удобной для теоретического анализа и практического применения для расчета основных характеристик системы. При этом, её простота является одновременно и главным недостатком. Рассматриваемая модель не учитывает возможность ожидания заявок в очереди и возможность повторных попыток, что делает ее менее применимой для систем, где важно учитывать эти факторы.

### 1.9.2. Модель Эрланга с бесконечной очередью

Модель Эрланга с бесконечной очередью типа М/М/м расширяет классическую модель, вводя возможность бесконечного ожидания заявок в очереди. Эта модель используется для систем, где заявки могут ждать, пока не освободится оператор. Модель позволяет более точно оценить параметры работы контакт-центра, особенно в условиях высокой загрузки, когда отказы в обслуживании недопустимы [54, 62].

Ниже представлены основные параметры модели:

- $\lambda$  — интенсивность входящего потока заявок, измеряемая в количестве заявок в единицу времени.
- $\mu$  — интенсивность обслуживания, измеряемая в количестве обслуженных заявок в единицу времени.
- $\nu$  — количество операторов или обслуживающих приборов в системе.
- $a$  — показатель нагрузки системы, рассчитываемый как отношение интенсивности входящего потока заявок к интенсивности обслуживания.

Заявки поступают в систему с интенсивностью  $\lambda$ . Если оператор свободен, заявка сразу направляется на обслуживание. Если все операторы заняты, заявка помещается в очередь и ждет своей очереди на обслуживание.

Модель Эрланга с бесконечной очередью представлена на Рисунке 1.4.

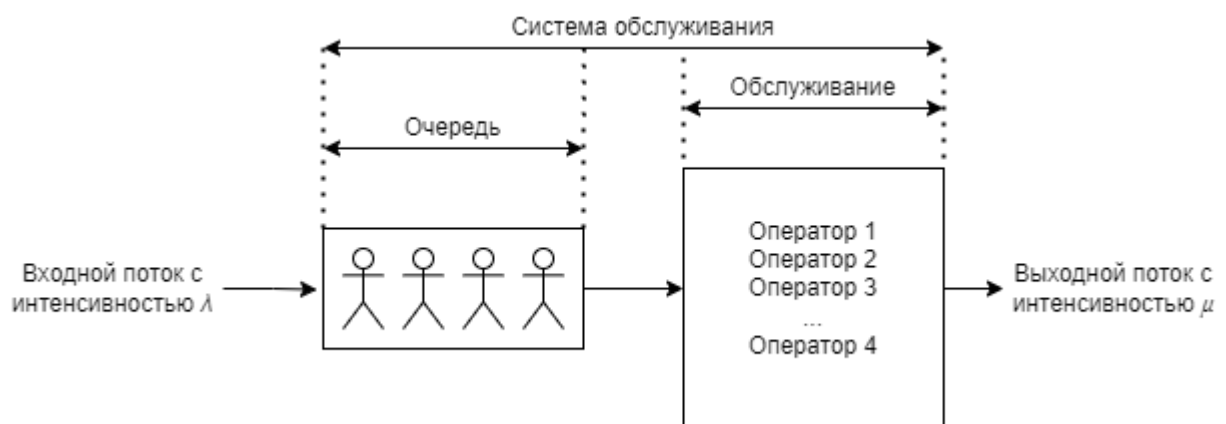


Рисунок 1.4 — Модель Эрланга с бесконечной очередью

Ниже приводятся формулы для оценки основных характеристик модели.

Вероятность ожидания:

$$C(v, a) = \frac{\frac{a^v}{v!} \times \frac{v}{v-a}}{\sum_{k=0}^{v-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^v}{v!} \times \frac{v}{v-a}}. \quad (1.14)$$

Среднее время ожидания заявки в очереди:

$$W_q = \frac{C(v, a)}{v \times \mu - \lambda}. \quad (1.15)$$

Показатель нагрузки системы:

$$a = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (1.16)$$

Среднее число занятых операторов:

$$L = a. \quad (1.17)$$

Модель учитывает время ожидания в очереди, что делает ее более реалистичной для систем с высокой загрузкой. Она также позволяет оценить среднее время ожидания и среднее число занятых операторов. Также она предполагает бесконечное время ожидания, что может не соответствовать реальной ситуации, где клиенты могут покидать систему, если их ожидание становится слишком долгим. Кроме того, требуется большой объем вычислений по сравнению с классической моделью Эрланга.

### 1.9.3. Модель Эрланга с конечной очередью

Модель Эрланга с конечной очередью, также известная как система типа М/М/м/К, учитывает возможность ограниченного времени ожидания заявок в очереди. Эта модель подходит для систем, где заявки могут покидать очередь, если время ожидания превышает допустимый предел. Модель является более сложной, но и более реалистичной, так как учитывает поведение клиентов, покидающих очередь из-за слишком долгого ожидания [54].

Параметры модели приводятся ниже:

- $\lambda$  — интенсивность входящего потока заявок, измеряемая в количестве заявок в единицу времени.
- $\mu$  — интенсивность обслуживания, измеряемая в количестве обслуженных заявок в единицу времени.
- $\nu$  — количество операторов или обслуживающих приборов в системе.
- $a$  — показатель нагрузки системы, рассчитываемый как отношение интенсивности входящего потока заявок к интенсивности обслуживания.
- $W$  — максимальное время ожидания, после которого заявка покидает систему.
- $\theta$  — интенсивность ухода клиентов из очереди (обратная величина максимального времени ожидания  $W$ ).

Заявки поступают в систему с интенсивностью  $\lambda$ . Если оператор свободен, заявка сразу направляется на обслуживание. Если все операторы заняты, заявка помещается в очередь и ждет освобождения одного из операторов, но не дольше времени  $W$ . Заявки, время ожидания которых превышает  $W$ , покидают систему.

Схема модели Эрланга с конечной очередью представлена на Рисунке 1.5.

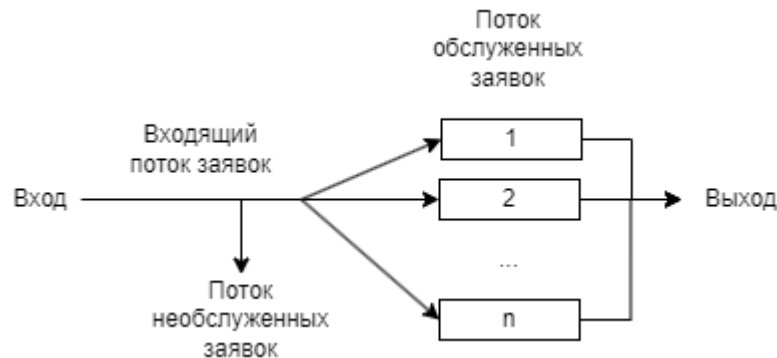


Рисунок 1.5 — Модель Эрланга с конечной очередью

Вероятность ожидания:

$$P_w = \frac{\frac{a^\nu}{\nu!} \times \frac{\nu}{\nu - a}}{\sum_{k=0}^{\nu-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^\nu}{\nu!} \times \frac{\nu}{\nu - a}}. \quad (1.18)$$

Среднее время ожидания заявки в очереди:

$$W_q = \frac{P_w}{v \times \mu - \lambda + \theta}. \quad (1.19)$$

Среднее время пребывания заявки в системе:

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}. \quad (1.20)$$

Показатель нагрузки системы:

$$a = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (1.21)$$

Среднее число занятых операторов:

$$L = a. \quad (1.22)$$

Модель учитывает ограниченное время ожидания, что делает ее более применимой на практике, так как клиенты могут покидать очередь при длительном ожидании. Данная модель позволяет оценить вероятность ожидания, среднее время ожидания и вероятность отказа [8]. Учет дополнительного параметра  $\theta$  добавляет сложности в расчеты, но позволяет точнее предсказывать поведение системы и оптимизировать ресурсы для повышения уровня обслуживания клиентов. Также стоит отметить, что модель предполагает, время обслуживания и время ожидания экспоненциально распределенными случайными величинами, что может не всегда соответствовать реальной ситуации.

#### **1.9.4. Обобщенная модель обслуживания вызовов в перспективных контакт-центрах**

Следующая рассматриваемая модель контакт-центра включает в себя несколько ключевых элементов и этапов обработки заявок. Обобщенная структура модели описывает процесс поступления и обработки заявок в действующих и перспективных контакт-центрах с использованием различных каналов связи, таких как телефонные линии и интернет [54, 65].

Модель контакт-центра включает несколько ключевых элементов и этапов обслуживания. Входящие потоки заявок, подчиняющиеся закону Пуассона,



поступают через линии доступа и обрабатываются устройствами IVR, операторами или консультантами. Процесс обслуживания разделен на три фазы: первая фаза — взаимодействие с IVR, вторая — получение общей информации от оператора, третья — специализированная консультация у эксперта, при этом длительности фаз имеют экспоненциальное распределение. Вероятности переходов между этапами описываются параметрами  $q$  (вероятность продолжения обслуживания у оператора) и вероятностью обращения к консультанту. Модель учитывает пять видов отказов, включая нехватку линий доступа или занятость операторов, а также возможность повторных заявок через случайный промежуток времени с вероятностью  $H$ . При занятости операторов или консультантов клиенты могут ожидать начала обслуживания, где время ожидания также имеет экспоненциальное распределение. Количество линий доступа, операторов и консультантов определяет их взаимодействие и влияет на общую эффективность процесса [60, 65].

Некоторые из параметров модели представлены ниже [61]:

- $j$  — количество клиентов, находящихся в состоянии повторного запроса на информационное обслуживание.
- $i$  — количество занятых линий доступа.
- $l$  — суммарное количество занятых операторов и мест ожидания их освобождения.
- $l_k$  — суммарное количество занятых консультантов в  $k$ -й группе и мест ожидания их освобождения.

Схема функционирования контакт-центра представлена на Рисунке 1.6.

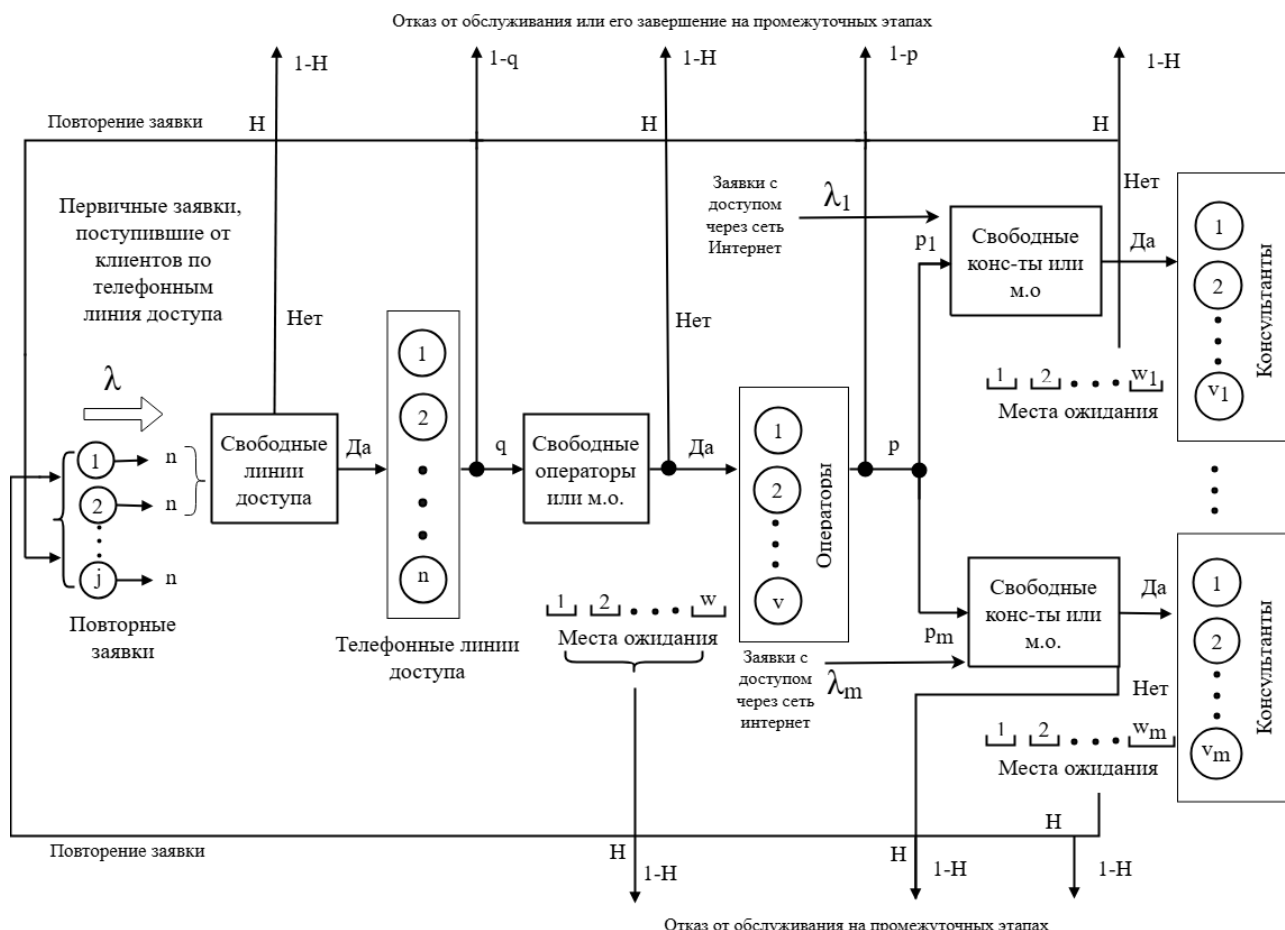


Рисунок 1.6 — Схема функционирования контакт-центра

Изменение состояния модели во времени описывается случайным процессом  $r(t) = (j(t), i(t), \ell(t), \ell_1(t), \dots, \ell_m(t))$ , который принимает значения в пространстве состояний  $S$ . Данный процесс является марковским, поскольку все случайные величины, определяющие длительность времени пребывания модели в различных состояниях, имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга.

Модель отличается аналитической простотой благодаря использованию марковских процессов, что упрощает расчет характеристик, а также гибкостью для учета различных потоков заявок и этапов обслуживания, делая ее полезной для планирования и повышения эффективности работы контакт-центров. Однако она имеет ограничения: недостаточный учет современных технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, ограниченный выбор каналов связи в сравнении с омниканальными контакт-центрами, упрощенные предположения о распределении времени обслуживания и поступления заявок

(экспоненциальное распределение и закон Пуассона), которые могут не полностью соответствовать реальным процессам, а также неполный учет поведения клиентов при взаимодействии с разными элементами системы.

### 1.9.5. Модель контакт-центра с учетом приоритетов

Авторами подобных моделей являются различные исследователи, работающие над повышением эффективности систем массового обслуживания. Одним из примеров является статья "Priority Queueing Systems: Modeling and Analysis" авторов Smith, J. и Zhang, Y. [54, 103].

Модель разработана для улучшения управления очередями в контакт-центрах, уделяя особое внимание приоритетам клиентов (Рисунок 1.7). Данные приоритеты могут быть определены на основе различных критериев, таких как статус клиента (VIP, обычный), тип обращения (срочный, обычный) или ожидаемое время решения вопроса. Входящие запросы распределяются по очередям в зависимости от приоритета, и операторы обслуживают клиентов в порядке их приоритета. Например, запросы от VIP-клиентов будут обрабатываться быстрее, чем запросы от обычных клиентов. Модель также учитывает динамическое изменение очередей и возможность перераспределения операторов между очередями для обеспечения оптимального обслуживания.

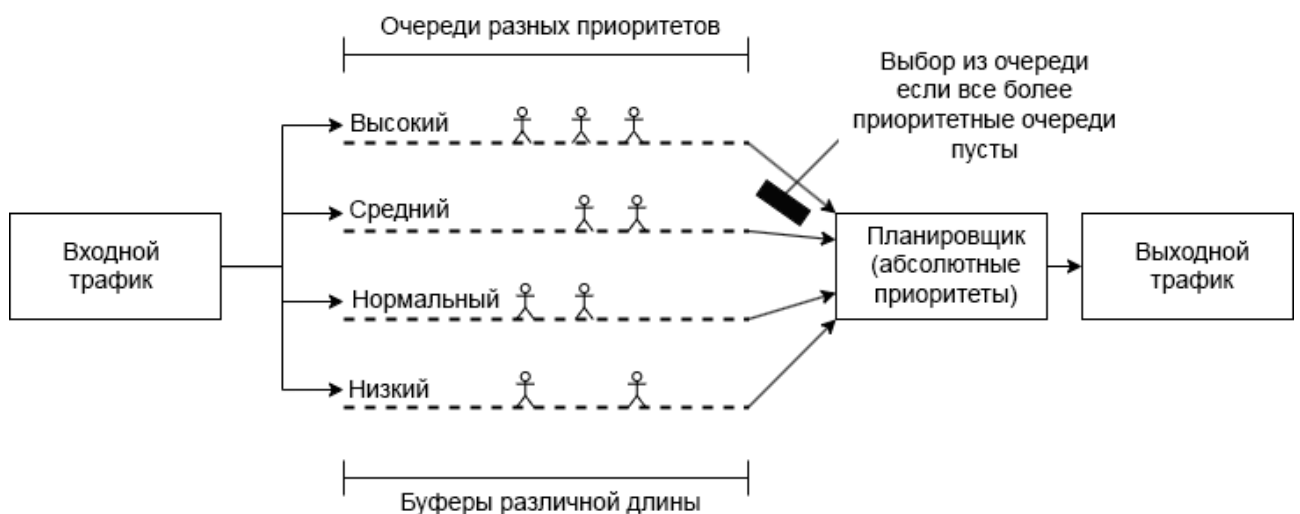


Рисунок 1.7 — Схема управления очередями с учетом приоритетов

Клиенты, обращающиеся в контакт-центр, получают приоритет на основе заранее установленных критериев, таких как статус клиента или тип обращения. Запросы клиентов распределяются по очередям в зависимости от их приоритета, и операторы обслуживают клиентов, начиная с наиболее приоритетных. Если все операторы заняты, клиенты остаются в очереди до тех пор, пока не освободится оператор. В зависимости от текущей нагрузки на контакт-центр и распределения приоритетов клиентов, система может динамически перераспределять операторов между очередями, чтобы обеспечить оптимальное обслуживание.

Параметры модели:

- $\lambda_i$  — интенсивность входящего потока клиентов с приоритетом  $i$ .
- $\mu_i$  — среднее время обслуживания клиентов с приоритетом  $i$ .

Среднее время ожидания для клиентов с приоритетом  $i$ :

$$W_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}. \quad (1.23)$$

Вероятность обслуживания клиента с приоритетом  $i$ :

$$P_i = \frac{W_i}{\sum W_j}. \quad (1.24)$$

Модель улучшает обслуживание приоритетных клиентов и позволяет более эффективно распределять ресурсы, что повышает удовлетворенность VIP-клиентов. Однако она не учитывает вариации в производительности операторов и предполагает фиксированные приоритеты, что может не соответствовать динамичной реальности контакт-центра.

#### **1.9.6. Оптимизация многопрофильного контакт-центра с использованием теории очередей**

Модель была предложена в статье "Optimizing multi-skill call center staffing using queuing models: A study of service level" авторов N. A. Hassan, N. M. S.

Abdallah и R. A. Attwa, опубликованной в "Journal of Applied Research and Technology", 2024 [54, 84].

Модель описывает повышение эффективности управления персоналом в многопрофильном контакт-центре (Рисунок 1.8). Она учитывает три типа звонков и четыре группы операторов с различными навыками. Цель модели – минимизация затрат на персонал при соблюдении требований уровня обслуживания. В модели рассматриваются параметры, такие как интенсивность поступления звонков для каждого типа, скорость обслуживания операторов в каждой группе, и правила маршрутизации, основанные на навыках операторов и приоритете звонков.

Модель включает три типа звонков (Тип 1, Тип 2, и Тип 3), поступающих согласно пуассоновскому процессу с интенсивностями  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$  соответственно. В контакт-центре работают четыре группы операторов: Группа 1, Группа 2, Группа 3 и Группа 4, каждая из которых обладает определенными навыками. Операторы Группы 4 обладают всеми необходимыми навыками и могут обрабатывать запросы всех типов. Входящие запросы распределяются по очередям в зависимости от типа и приоритета звонков. Операторы обслуживают запросы в соответствии с политикой маршрутизации, где запросы с более высоким приоритетом обслуживаются в первую очередь. В модели учитываются состояния системы, такие как свободное, занятое и перегруженное, и переходы между этими состояниями в зависимости от поступления новых звонков или завершения обслуживания [80, 95].

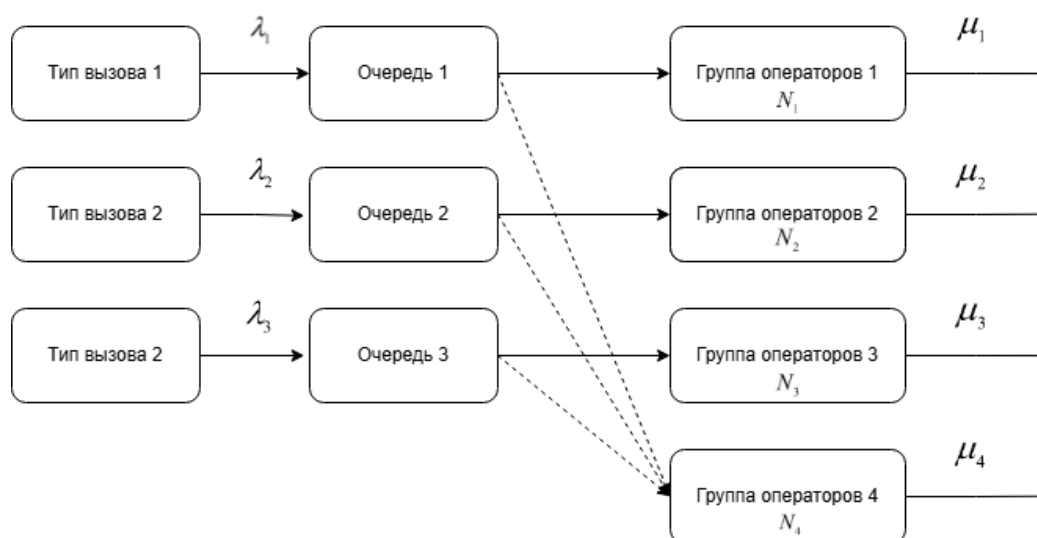


Рисунок 1.8 — Схема многопрофильного контакт-центра

Вероятность состояния система:

$$P_i = \frac{p_i^{N_i}}{N_i! \sum_{j=0}^{N_i} \frac{p_i^j}{j!}}. \quad (1.25)$$

где  $p_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ ,  $\lambda_i$  - интенсивность поступления звонков типа  $i$ ,  $\mu_i$  — скорость обслуживания звонков типа  $i$ ,  $N_i$  — число операторов, обслуживающих запросы типа  $i$ .

Переходные вероятности [84]:

$$q_{i-j} = \lambda_i P(n_i = N_i - 1). \quad (1.26)$$

где  $P(n_i = N_i - 1)$  — вероятность того, что число звонков типа  $i$ , ожидающих обслуживания, равно  $N_i - 1$ .

Уровень обслуживания [84]:

$$SL_i = 1 - P_{ns,i}. \quad (1.27)$$

где  $SL_i$  — уровень обслуживания звонков типа  $i$ ,  $P_{ns,i}$  — вероятность того, что запрос типа  $i$ , не будет обслужен в заданное время  $T_i$ .

Модель позволяет эффективно распределять персонал в контакт-центре, минимизируя затраты и соблюдая требования уровня обслуживания. Она учитывает различные навыки операторов и приоритеты звонков, что способствует

повышению качества обслуживания. Однако модель не учитывает вариативность времени обслуживания и возможные изменения в нагрузке на контакт-центр в реальном времени, что может снизить точность прогнозов и эффективность управления в условиях изменяющейся рабочей среды [84].

### **1.10. Выводы по результатам первого раздела**

В результате проведенного анализа было выявлено, что существующие модели не учитывают различия в типах доступа клиентов к контакт-центру. Это может привести к неэффективному распределению ресурсов и недостаточного уровня качества обслуживания.

Целью диссертационного исследования является разработка модели контакт-центра, учитывающей различия в типах доступа клиентов, для повышения эффективности его работы и улучшения качества обслуживания.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать существующие модели контакт-центров и выявить их основные недостатки.
2. Выявить типы доступа клиентов к контакт-центру и определить их характеристики.
3. Разработать модель контакт-центра, учитывающую различия в типах доступа клиентов.
4. Провести экспериментальное исследование разработанной модели для оценки ее эффективности и сравнения с существующими моделями.
5. Выявить факторы, влияющие на эффективность работы контакт-центра, и предложить рекомендации по их оптимизации.

В результате диссертационного исследования будет разработана модель контакт-центра, учитывающая различия в типах доступа клиентов, что позволит повысить эффективность его работы и улучшить качество обслуживания. Также будут выявлены факторы, влияющие на работу контакт-центра, и предложены рекомендации по повышению эффективности. Результаты исследования могут

быть использованы для улучшения организации контакт-центров в различных сферах деятельности.



## **Раздел 2. Модель контакт-центра с учетом ограниченных ресурсов чат-бота**

### **2.1. Эволюция систем самообслуживания в контакт-центрах**

Системы самообслуживания в контакт-центрах являются неотъемлемой частью современных бизнес-процессов. Они позволяют клиентам самостоятельно получать информацию и решать свои проблемы без необходимости обращаться к операторам контакт-центра. Это удобно и эффективно как для клиентов, так и для компаний.

Однако, системы самообслуживания не всегда были таким. Рассмотрим эволюцию систем самообслуживания в контакт-центрах и их развитие на протяжении времени.

**1. Системы самообслуживания, известные как IVR (Interactive Voice Response)** — появились в контакт-центрах в начале 2000-х годов. Эти системы представляли собой простые голосовые меню, в которых клиентам предлагалось выбрать нужную опцию с помощью нажатия на клавиши телефона. Использование IVR позволяло автоматизировать обработку стандартных запросов, снижая нагрузку на операторов и обеспечивая более быстрое обслуживание клиентов. С развитием технологий системы IVR стали более сложными, внедряя возможности распознавания голоса и интеграции с базами данных для предоставления персонализированных услуг. Эти системы были довольно ограниченными в функциональности и не всегда могли предоставить клиентам полезную информацию. Это позволяло снизить нагрузку на операторов контакт-центра и ускорить обработку запросов клиентов. В основном

использовалось телефонное оборудование, такие как телефоны с клавиатурой или тачскрином.

**2. Развитие голосовых систем самообслуживания** — с течением времени голосовые системы самообслуживания стали более развитыми и функциональными. Они стали использовать технологии распознавания речи, что позволило клиентам говорить с системой, а не только нажимать клавиши. Это значительно улучшило пользовательский опыт и сделало системы самообслуживания более удобными и доступными. Например, они могут задать вопрос или запросить информацию, и система самообслуживания автоматически распознает их речь и предоставляет нужную информацию.

**3. Появление веб-систем самообслуживания** — с развитием интернета и онлайн-технологий появились веб-системы самообслуживания. Они позволяют клиентам получать информацию и решать свои проблемы через веб-интерфейс, без необходимости звонить в контакт-центр. Веб-системы самообслуживания обеспечивают более широкий спектр услуг и функций, таких как онлайн-чаты, формы обратной связи и возможность отслеживать статус обращения.

**4. Использование искусственного интеллекта** — современные системы самообслуживания все больше начинают использовать искусственный интеллект для улучшения своей работы. Это позволяет системам распознавать и анализировать естественный язык клиентов, предоставлять персонализированные рекомендации и решения, а также предсказывать потребности клиентов. Например, система может предложить клиенту информацию о продуктах или услугах, основываясь на его предыдущих покупках или предпочтениях. Наиболее популярный искусственный интеллект является ChatGPT и его аналоги [21, 25].

Системы самообслуживания в контакт-центрах прошли долгий путь развития. Они стали более удобными, эффективными и функциональными благодаря использованию новых технологий, таких как голосовое распознавание и искусственный интеллект [44]. В будущем, системы самообслуживания будут продолжать развиваться и улучшаться, чтобы обеспечить клиентам еще более комфортный опыт общения с компаниями.

## 2.2. Использование чат-ботов в контакт-центрах

Чат-бот – это вид взаимодействия человека с программой через мессенджер (Telegram, Viber, WhatsApp, ВКонтакте) или сайт. Существует два вида чат-ботов: текстовый и голосовой. Текстовый чат-бот контактирует с пользователем с помощью письменного общения, в то время как голосовой чат-бот взаимодействует с пользователем с помощью голоса. Чат-бот ищет ключевые слова в сообщениях или речи пользователя и сопоставляет их с существующими шаблонами в базе данных, после чего отправляет наиболее подходящий на него ответ, имитируя разговорные модели человеческого общения или даже интонации. На сегодняшний день наиболее популярными примерами чат-ботов являются «Siri» от Apple и «Алиса» от Яндекса [19, 20, 55, 107].

Чат-боты способны обслуживать одновременно несколько клиентов, в любое время суток, они могут помочь найти нужную информацию в интернете или корпоративной сети, проанализировать данные и в понятной форме предоставить их клиенту. Также чат-боты умеют обрабатывать и выполнять конкретные автоматические действия по запросу клиента, например, бронирование билетов, столиков в ресторане, произвести или отменить оплату. При оптимальном использовании чат-боты способны снизить нагрузку на операторов контакт-центра контакт-центров [11, 70, 71].

Основные особенности чат-ботов:

1. Чат-бот способен отвечать на большое количество сообщений и звонков по сравнению с оператором. Кроме того, человек склонен уставать, отвлекаться и совершать ошибки из-за «человеческого» фактора, в то время как чат-бот значительно снижает вероятность ошибки. Также стоит отметить, что чат-бот работает без перерывов и выходных и не нуждается в рабочем месте, что является преимуществом перед оператором контакт-центра.

2. В любой сфере есть периоды повышенной и пониженной загруженности контакт-центра. Соответственно, имея штат из определенного количества операторов, компания в периоды повышенной загруженности увеличивает время

ожидания для клиентов, так как все операторы контакт-центра заняты и, тем самым, теряет часть клиентов, а в периоды пониженной загруженности в компании часть операторов остается без занятости в рабочее время. Такую проблему разрешает внедрение чат-ботов, которые могут решить стандартные задачи с клиентами без участия оператора контакт-центра.

3. Чат-бот дает возможность сократить количество операторов контакт-центра и, более того, сокращает затраты контакт-центра. Единственное, с чем не способен справиться чат-бот – это нестандартные вопросы или «проблемные» клиенты. Еще одним преимуществом является то, что чат-боты обладают таким преимуществом, как автоматическое внесение всей информации, полученной от клиента, в систему для упрощения дальнейшей обработки и анализа этой информации другими структурами компании [11, 70, 71].

Чат-ботов можно классифицировать по технологии разработки и функциональности. По технологии разработки существует два вида чат-ботов: с искусственным интеллектом и фиксированные.

Чат-боты с искусственным интеллектом постоянно обучаются на основе общения с клиентом, пополняют свою базу данных, анализируют диалог и его контекст. В большинстве случаев они способны ответить на любой вопрос.

Правильное использование искусственного интеллекта поможет компаниям улучшить качество обслуживания клиентов, увеличить доход и снизить затраты на операторов. Это одна из технологий, которая помогла изменить качество обслуживания клиентов в лучшую сторону [26].

Чат-боты с искусственным интеллектом нацелены на понимание естественного языка, обработки слов и формирование структуры и базы ответов, для понимания, как реагировать и что отвечать на сообщения. Чат-боты используют машинное обучение и со временем становятся умнее и формируют базу ответов, чтобы использовать их в будущих диалогах.

Преимущества таких чат-ботов состоит в том, что, чат-бот собирая информацию о существующих клиентах, повышает потенциал компании для привлечения потенциальных клиентов. Чем больше чат-бот с искусственным

интеллектом узнает о клиентах, тем выше шанс, что чат-бот выстроит эффективную схему общения с клиентами [50].

Фиксированные чат-боты изначально обладают базой вопросов и ответов, набором диалогов. Их ответы всегда будут одни и те же, они работают строго в своем скрипте и новых маршрутов не появится, без участия разработчика. Обновление таких чат-ботов происходит вручную. Их настройка намного проще, но их функционал ограничен заранее заданными возможностями.

Каждый из двух видов чат-ботов имеет свои преимущества и недостатки. Чат-бот с искусственным интеллектом требует больше затрат и ресурсов для установки, настройки и обучения, но более эффективен. Фиксированный чат-бот, прост в установке, настройке и не требует длительного обучения, но ограничен в своих возможностях.

По функциональности можно выделить два вида чат-ботов:

**1. Коммуникационные чат-боты** — такие чат-боты используются только для общения, чтобы ответить на конкретные вопросы, то есть их основная задача — предоставлять информацию клиенту, например, рассказать о товаре, отеле, билетах, скидках, акциях и так далее.

**2. Функциональные чат-боты** — не только предоставляют информацию, но и выполняют конкретные действия по запросу клиента, например, производят оплату, отменяют заказ, переносят время доставки и т.д. [11, 56, 70, 71].

Популярность использования текстовых и голосовых чат-ботов растет с каждым годом. Согласно данным Statista, за 2020 год с голосовыми ассистентами работало более четырех миллиардов гаджетов. Это говорит о том, что людям становится комфортно взаимодействовать с чат-ботами в голосовом формате и решать свои базовые задачи таким образом [18, 20].

В 2019 году ресурс RusBase провел исследование, по данным которого число компаний, прибегающих к использованию чат-ботов, возросло на 48%. Очевидно, что этот показатель будет только увеличиваться, так как сегодня чат-боты сильно облегчают жизнь человека [16, 19].

Чат-боты стали наиболее популярны во время пандемии, когда количество получаемых запросов от клиентов значительно увеличилась, а работоспособность в контакт-центрах ощутимо снизилась. Без использования чат-ботов, контакт-центр может не справиться с высокой нагрузкой. По данным исследовательского агентства MarketsAndMarkets спрос на чат-боты продолжит увеличиваться: до 2025 года ожидается рост рынка на 21,9% [97].

Несмотря на популярность и удобство чат-ботов, их использование не всегда является лучшим решением с точки зрения экономии. Каждый запрос пользователя требует обработки на сервере, задействуя вычислительные ресурсы: процессоры, оперативную память, электричество и инфраструктуру дата-центров. Даже простые вежливые слова вроде "спасибо" и "пожалуйста" приводят к дополнительным затратам — по словам Сэма Олтмана, OpenAI тратит на это десятки миллионов долларов.

Чат-бот масштабируется через мощные сервера и ИИ-модели, которые потребляют значительные ресурсы. Чем больше пользователей одновременно обращаются к системе, тем выше нагрузка на инфраструктуру, что требует увеличения мощности серверов и, соответственно, затрат. Таким образом, увеличение числа обращений может не уменьшить, а наоборот увеличить издержки компании, особенно если используется мощный ИИ вроде ChatGPT.

Таким образом, чат-боты становятся необходимой частью современных контакт-центров. Конечно, полностью заменить человеческую силу не удастся, однако внедрение чат-ботов позволит усилить работу контакт-центра, сократить количество операторов и снизить затраты компании. Оптимальным решением для контакт-центров на сегодняшний день является гибридное использование автоматизированных систем и опытных операторов. Рутинные вопросы решает чат-бот, а нестандартными задачами занимаются профессиональные специалисты. Это позволит повысить уровень сервиса в компании, что приведет к увеличению конкурентоспособности предприятия на рынке.

Прежде чем подключать чат-бота, компаниям необходимо выбрать тип — текстовый или голосовой, с искусственным интеллектом или фиксированный — и

следует определиться с задачами, которые компания хочет решить. При этом следует учитывать также род деятельности компании, нагрузку, количество клиентов и т.д.

### **2.3. Маршрутизация на основе навыков оператора**

Маршрутизация на основе навыков оператора – это подход к управлению сетевым трафиком, который основывается на знаниях и опыте оператора сети. Вместо использования автоматических алгоритмов маршрутизации, которые могут быть ограничены или неэффективными в некоторых ситуациях, оператор сети принимает решения о том, как направлять трафик на основе своего опыта и экспертизы [14, 37, 108].

Операторы сети играют важную роль в обеспечении эффективной работы сети. Они отвечают за настройку и управление сетевыми устройствами, мониторинг трафика и обнаружение проблем, а также принятие мер по их устранению. Маршрутизация на основе навыков оператора позволяет им принимать более информированные решения о том, как направить трафик в различные части сети.

Одним из преимуществ маршрутизации на основе навыков оператора является возможность учесть специфические требования и потребности пользователя. Например, если оператор знает, что определенное приложение или сервис требует высокой пропускной способности или низкой задержки, он может настроить маршрутизацию таким образом, чтобы обеспечить оптимальные условия для этого приложения или сервиса [11, 70, 71].

Маршрутизация на основе навыков оператора позволяет оператору быстро реагировать на изменения в сети или внешние факторы, такие как сбои в оборудовании или увеличение трафика. Оператор может быстро перенастроить маршруты или принять другие меры для обеспечения непрерывной работы сети и минимизации проблем для пользователей [48].

Однако, маршрутизация на основе навыков оператора имеет и некоторые ограничения. Во-первых, она требует наличия квалифицированных и опытных операторов, которые могут принимать информированные решения о маршрутизации. Это может быть сложно для небольших организаций или тех, у кого нет достаточных ресурсов для поддержки таких операторов.

Во-вторых, маршрутизация на основе навыков оператора может быть менее эффективной и масштабируемой, чем автоматические алгоритмы маршрутизации. Операторы могут совершать ошибки или принимать решения, которые не оптимальны с точки зрения производительности сети. Кроме того, в случае роста сети или увеличения объема трафика, оператор может столкнуться с трудностями в управлении всеми маршрутами.

Маршрутизация на основе навыков оператора является одним из подходов к управлению сетевым трафиком. Она позволяет операторам принимать информированные решения о маршрутизации, учитывая специфические требования и потребности пользователей. Однако, этот подход требует наличия квалифицированных операторов и может быть менее эффективным и масштабируемым по сравнению с автоматическими алгоритмами маршрутизации [41, 108].

## **2.4. Описание функциональной модели**

Моделирование контакт-центра с чат-ботом логически продолжает исследования систем самообслуживания клиентов, таких как IVR (интерактивный голосовой ответ). В новых моделях требуется повышенная детализация процессов, таких как классификация типов запросов, распределение задач между операторами и чат-ботами, а также управление очередью, поскольку возможности искусственного интеллекта значительно расширяют число возможных сценариев диалога. Это требует разработки более сложных и точных моделей, учитывающих следующие параметры взаимодействия с клиентами [53]:

- Тип клиентского запроса (рутинный или сложный);



- Время обслуживания запроса;
- Вероятность успешного разрешения запроса чат-ботом;
- Необходимость передачи запроса оператору;
- История предыдущих взаимодействий с клиентом;
- Персонализированные рекомендации и прогнозирование дальнейших действий клиента.

При разработке модели контакт-центра важно учитывать несколько ключевых аспектов. Во-первых, необходимо определить тип используемого чат-бота: текстовый или голосовой чат-бот. Эти типы чат-ботов были описаны в предыдущих исследованиях [53]. Другим вариантом является продвинутый чат-бот, использующий возможности искусственного интеллекта для адаптации и обучения в процессе взаимодействия с клиентом. Такие чат-боты могут анализировать историю общения с клиентами, понимать естественный язык, предлагать персонализированные рекомендации и даже прогнозировать дальнейшие действия клиента на основе его поведения [77, 78, 94].

Следующим важным аспектом является тип клиентского запроса. Запрос может быть рутинным или сложным, что влияет на необходимость переключения обслуживания на оператора. Сложность запроса также влияет на среднее время обслуживания как чат-ботом, так и оператором. Важно отметить, что на уровне чат-бота в контакт-центре не происходит отказов в обслуживании. Вместо этого учитывается вероятность передачи запроса на следующую стадию обслуживания.

Данная модель вводит ключевое понятие ограниченных единиц ресурса чат-бота, что позволяет отразить реальные эксплуатационные ограничения автоматизированных систем. Концепция единицы ресурса в данной трактовке существенно расширяет традиционное понимание канала обслуживания. Под этим термином может подразумеваться не только классический канал связи, но и различные абстрактные вычислительные мощности, определяющие производительность чат-бота: количество виртуальных процессорных ядер (vCPU), объем оперативной памяти (RAM), лимиты одновременных сессий обработки запросов, пропускная способность API-вызовов к системам

искусственного интеллекта и другие критически важные параметры. Такое обобщение позволяет более точно смоделировать работу современного чат-бота, производительность которого часто ограничивается не столько пропускной способностью каналов связи, сколько вычислительными ресурсами серверной инфраструктуры и лимитами внешних сервисов.

Введение данного концептуального подхода позволяет перейти от упрощенного анализа "работает/не работает" к комплексной оценке производительности системы в условиях меняющейся нагрузки и ограниченных ресурсов, что значительно повышает практическую ценность модели для проектирования и повышения эффективности реальных контакт-центров.

Предлагаемая в рамках данного исследования функциональная модель контакт-центра, представлена на Рисунке 2.1, была разработана с целью комплексного отражения указанных выше особенностей. Она служит фундаментальной основой для последующей формализации в виде марковской модели и проведения детального анализа ключевых показателей эффективности.

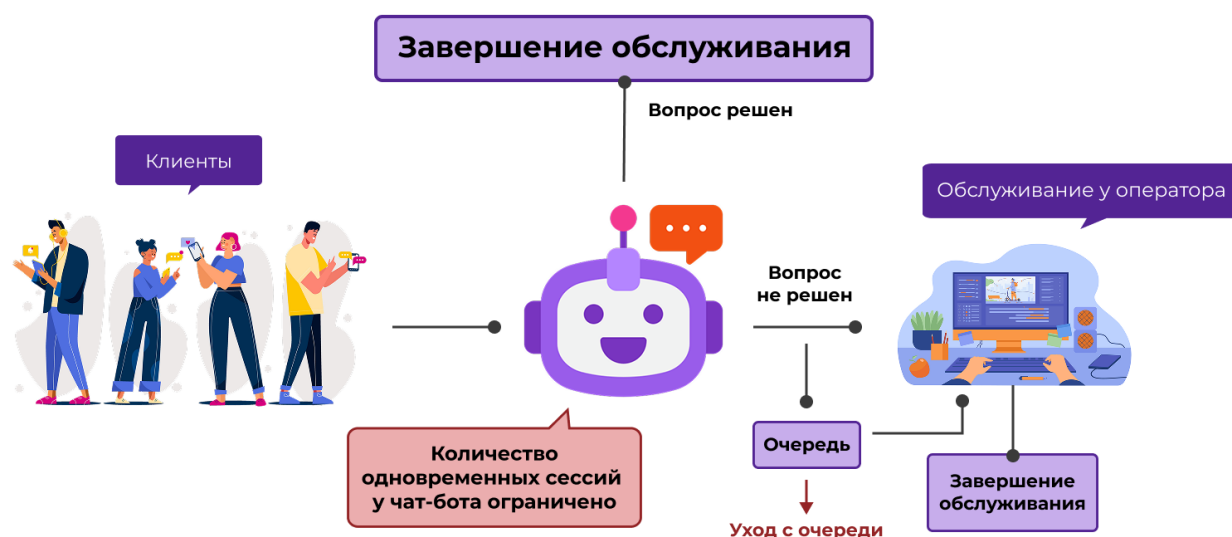


Рисунок 2.1 — Функциональная модель контакт-центра с учетом ограниченных ресурсов чат-бота

Модель включает два последовательных взаимосвязанных этапа обслуживания клиентских запросов, что отражает современный гибридный подход к обработке обращений.

На первом этапе, на вход системы поступает неоднородный поток запросов от клиентов, которые могут быть классифицированы по нескольким типам (категориям) в зависимости от их сложности, тематики и требуемой глубины проработки. Для общности модели и соответствия канонам теории телетрафика предполагается, что совокупный входящий поток запросов является пуассоновским. Каждый входящий запрос, сразу после поступления, проходит этап категоризации и направляется на обработку автоматизированной системой — чат-ботом.

Принципиально важной особенностью модели является явный и детализированный учёт времени, которое чат-бот затрачивает на обработку запроса каждого конкретного типа. Это время моделируется как непрерывная случайная величина, распределённая по экспоненциальному закону с параметром, строго зависящим от типа запроса. Данный параметр является ключевым и отражает эффективность алгоритмической и лингвистической настройки автоматизированной системы: чем качественнее настроен чат-бот, чем обширнее его база знаний и чем точнее алгоритмы распознавания намерений, тем меньше среднее время обработки типового запроса и, соответственно, выше пропускная способность этого этапа.

Сам чат-бот формализуется как система массового обслуживания с потерями и с конечным числом условных единиц ресурса. Если в момент поступления запроса все с единиц ресурса заняты, запрос не принимается на обслуживание, получает отказ (блокируется) на первом же этапе и немедленно покидает систему, что негативно сказывается на пользовательском опыте.

После завершения обработки запроса чат-ботом возможны два различных исхода, определяемые вероятностным образом:

- Клиент получает полностью исчерпывающий ответ, и его запрос считается успешно и обслуженным на первом этапе. В этом случае запрос покидает систему.

- Запрос признаётся таким, который требует дальнейшей, более глубокой обработки оператором. В этом случае запрос не покидает систему, а передаётся на второй, операторский этап обслуживания.

На втором же этапе, запросы, перенаправленные с первого этапа, поступают на вход второй системы массового обслуживания. На данном этапе, в целях упрощения модели и снижения её вычислительной сложности, не предполагается дальнейшего разделения запросов по типам — все они считаются однородными с точки зрения оператора, хотя время обслуживания может варьироваться. Группа операторов формализуется как система массового обслуживания с конечной ёмкостью буфера ожидания.

Логика работы второго этапа, следующая: если в момент поступления запроса с первого этапа в системе есть хотя бы один свободный оператор, обслуживание начинается немедленно. Если в момент поступления все операторы заняты, но в очереди есть свободное место, то вновь поступивший запрос становится в конец очереди и переходит в состояние ожидания. Клиент, находящийся в очереди, может проявить нетерпение (из-за длительного времени ожидания) и принять решение покинуть систему (отказаться от ожидания) до начала непосредственного обслуживания. Если в момент перенаправления запроса с первого этапа буфер очереди полностью заполнен, то данный запрос не принимается на втором этапе, получает отказ и немедленно покидает систему, что приводит к потере клиента.

Данная функциональная схема является необходимой и достаточной базой для следующего этапа исследования — формализации всего описанного процесса в терминах теории марковских процессов, построения системы уравнений равновесия и последующего анализа ключевых характеристик качества обслуживания.

## 2.5. Описание математической модели

На основе функциональной модели с ограниченными ресурсами чат-бота строится математическая модель рассматриваемой системы. Ее схема представлена на Рисунке 2.2.

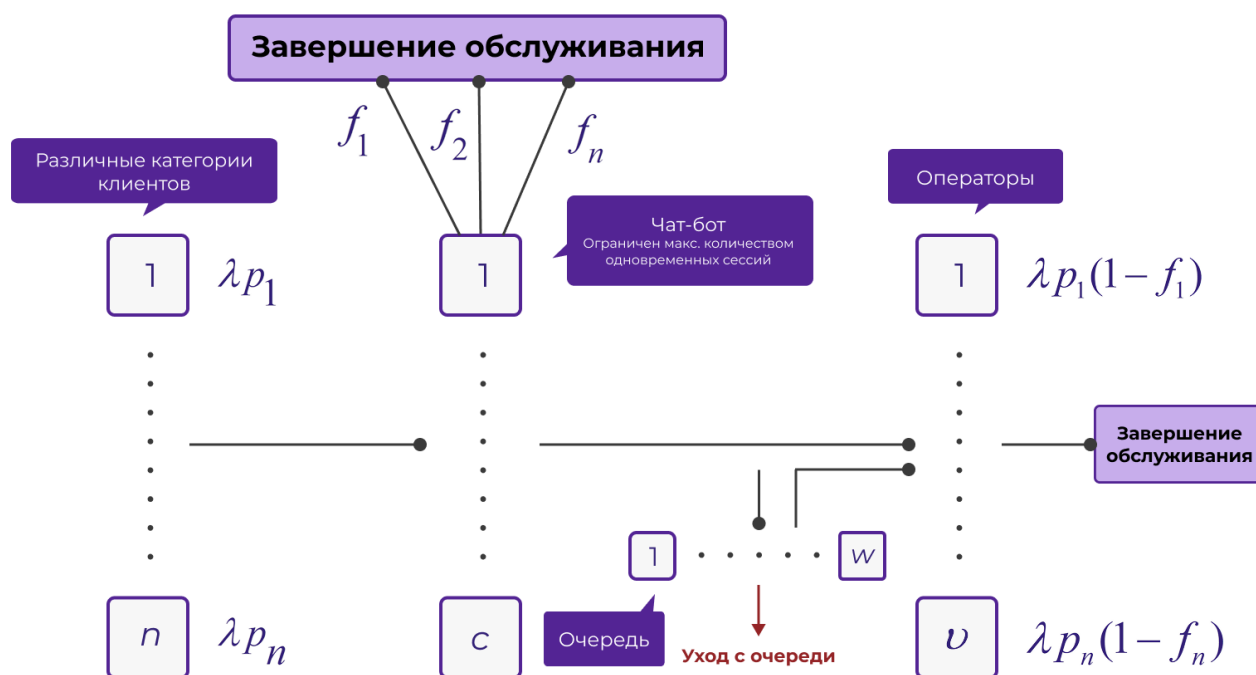


Рисунок 2.2 — Математическая модель контакт-центра с ограниченными ресурсами чат-бота

Пуассоновский поток запросов поступает в контакт-центр с интенсивностью  $\lambda$ . В модели есть  $n$  категории запросов – от базового типа до более сложных. Принадлежность к определенной категории определяется через соответствующую вероятность  $p_k$ ,  $k=1,2,..n$ . Кроме того, 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. Для категории с наиболее рутинными запросами вероятности  $p_k$  будут наибольшими, поскольку таких запросов, согласно различной статистике, большинство, и  $f_k$  будут наименьшими. Для категорий запросов, которым с большей вероятностью

потребуется дополнительная помощь оператора, значения этих параметров будут уменьшаться. Очевидно, что  $\sum_{k=1}^n p_k = 1$  и  $\sum_{k=1}^n f_k = 1$  [42].

Как уже упоминалось выше, рассматриваемая модель учитывает два этапа обслуживания запроса. Первый этап – чат-бот, его можно описать как классическую систему массового обслуживания с потерями. Время обслуживания запроса чат-ботом имеет экспоненциальное распределение с параметром  $\mu_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  в зависимости от типа запроса. Предполагается, что на первом этапе обслуживание осуществляется ограниченным числом  $s$  единиц ресурса чат-бота. Это условное понятие, которое может обозначать различные типы ресурсов, в зависимости от конкретной ситуации (центральный процессор, оперативная память, емкость хранилища данных и т.д.). Поскольку первый этап представляет собой систему массового обслуживания с потерями, входящий запрос блокируется (теряется), если в момент его поступления все  $s$  единиц ресурса чат-бота заняты. Итак, количество единиц ресурса конечно и обозначается как  $s$ .

Часть запросов, которые не получают необходимое обслуживание через чат-бот, перенаправляется на следующий этап. Как упоминалось выше,  $f_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  обозначают вероятность того, что клиенту потребуется дополнительно связаться с оператором. Соответственно, с вероятностью  $1 - f_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  запрос успешно обслужен чат-ботом и покидает систему.

Процесс обслуживания операторами представляет собой систему массового обслуживания с конечной очередью. Предполагается, что на данном этапе нет разделения запросов по типам. 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.

Пусть  $i_k(t)$  – количество клиентских запросов  $k$  типа, где  $k = 1, 2, \dots, n$ , 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. Обозначим через  $P(i_1, \dots, i_n, i)$  стационарную вероятность состояния  $(i_1, \dots, i_n, i)$ . Для определения значений  $P(i_1, \dots, i_n, i)$  необходимо составить и решить систему уравнений состояния.

## 2.6. Определение показателей эффективности обслуживания

Характеристики обслуживания запросов клиентов для рассматриваемой модели определяются следующими выражениями: [113, 116]

Интенсивность потока заявок, поступающих на второй этап обслуживания:

$$\Lambda_o = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) i_k \mu_k f_k. \quad (2.1)$$

Среднее количество клиентских запросов  $k$ -типа, обслуживаемых чат-ботом:

$$m_k = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | i_k > 0} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) i_k. \quad (2.2)$$

Среднее количество запросов клиентов, обслуживаемых операторами:

$$\begin{aligned} m_o = & \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | 0 < i \leq \nu} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) i + \\ & + \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | i > \nu} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \nu. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Среднее количество запросов клиентов, ожидающих в очереди:

$$m_w = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | i > 0} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i)(i - v). \quad (2.4)$$

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:

$$\Lambda_{bl,o} = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | i = v + w} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) i_k \mu_k f_k. \quad (2.5)$$

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

$$\Lambda_{bl,w} = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | i = v + w} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i)(i - v) \sigma. \quad (2.6)$$

Доля запросов клиентов, заблокированных из-за нехватки ресурса в чат-боте:

$$\pi_c = \sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S | l = c} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i). \quad (2.7)$$

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

$$\pi_o = \frac{\Lambda_{bl,o} + \Lambda_{bl,w}}{\Lambda_o}. \quad (2.8)$$

## 2.7. Система уравнений равновесия

Расчет вероятностных показателей модели основан на использовании предельных вероятностей ее состояний  $P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i)$ . Чтобы определить эти вероятности, необходимо составить и решить систему уравнений состояния, которые устанавливают связи между вероятностями различных состояний. Система выведена с использованием стандартной методологии теории марковских процессов, основанной на правиле равенства общей интенсивности вывода процесса  $r(t)$  из заданного состояния  $(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i)$  и общей интенсивности ввода в это состояние. Высокая размерность пространства состояний и отсутствие упрощающих структур (таких как возможность



использования рекурсивных алгоритмов) вынуждают нас решать полученную систему с использованием классических методов линейной алгебры. Эксперты отмечают, что наиболее эффективными алгоритмами здесь являются последовательные замены, например, метод Гаусса-Зайделя. Ключевым условием их успешного использования является представление системы уравнений в виде единого отношения, коэффициенты которого явно определяются компонентами состояния. Для составления и решения системы уравнений состояния необходимо определить типы событий, которые изменяют состояния рассматриваемой модели. Они перечислены ниже:

1. Поступление запроса клиента  $k$ -го типа. Эта частота событий для всех состояний модели равна  $\lambda p_k$ .

2. Освобождение ресурсного блока чат-бота после завершения обслуживания запроса клиента  $k$ -го типа. Если клиент получил необходимую услугу в чат-боте, он покидает контактный центр с интенсивностью  $\mu_k(1 - f_k)$ . Если запрос необходимо отправить оператору, это происходит с помощью  $\mu_k f_k$ .

3. Освобождение оператора после выполнения запроса клиента. В случае, если количество занятых операторов меньше, чем  $\nu$ , интенсивность выполнения события составит  $i\mu$ . В случае, если количество занятых операторов равно  $\nu$ , интенсивность выполнения события будет равна  $\nu\mu$ .

4. Нетерпеливый клиент выходит из очереди и отказывается ждать обслуживания у оператора. Интенсивность этого события составляет  $(i - \nu)\sigma$ .

После рассмотрения всех событий, которые могут изменить состояние модели, и условий их реализации мы создаем рекурсию для формирования всех уравнений системы. Для каждого фиксированного набора значений  $i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i$ :

$$i_k = 0, 1, \dots, c; \quad (2.9)$$

$$i = 0, 1, \dots, \nu + w. \quad (2.10)$$

Левая и правая части системы уравнений состояния для состояния  $(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i)$  определяются из соотношения:

$$\begin{aligned}
P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) & \left\{ \lambda I(l < c) + \sum_{k=1}^n i_k \mu_k I(i_k \leq 0) + \right. \\
& P + i \mu I(i \leq v) + ((i - v) \sigma + v \mu) \Big\} = \\
& = \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k - 1, \dots, i_n, i) \lambda p_k I(i_k > 0) + \\
& + \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k + 1, \dots, i_n, i - 1) \mu_k (i_k + 1) f_k \cdot \\
& \cdot I(l + 1 \leq c, i - 1 \geq 0) + \\
& + \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k + 1, \dots, i_n, i) (i_k + 1) \mu_k (1 - f_k) \cdot \\
& \cdot I(l + 1 \leq c, i < v) + \\
& + \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k + 1, \dots, i_n, i) (i_k + 1) \mu_k \cdot \\
& \cdot I(l + 1 \leq c, i = v) + \\
& + \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i + 1) (i + 1) \mu \cdot I(i + 1 \leq v) + \\
& + \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i + 1) v \mu \cdot I(v < i + 1 \leq v) + \\
& + \sum_{k=1}^n P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i + 1) (i - v + 1) \sigma \cdot \\
& \cdot I(v < i + 1 \leq v + w).
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Для значений  $P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i)$  выполняется условие нормализации

$$\sum_{P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) \in S} P(i_1, \dots, i_k, \dots, i_n, i) = 1. \tag{2.12}$$

Полученное соотношение удобно использовать для формирования системы уравнений равновесия на любом алгоритмическом языке. Чтобы вычислить вероятности состояний модели, мы будем использовать итерационный метод Гаусса-Зайделя.

## 2.8. Оценка влияния чат-бота на работу системы в условиях ограниченных ресурсов

Ориентация на удовлетворенность и лояльность клиентов является ключевым стратегическим направлением для современных контакт-центров. Успех первого взаимодействия играет жизненно важную роль в этом процессе. Это показатель того, что клиент получает решение своей проблемы при первом обращении в компанию. Появление дополнительных автоматизированных каналов связи с клиентом увеличивает риск ошибок и несоответствий в предоставляемой информации. Чтобы избежать или минимизировать эти риски, повышение качества обслуживания является наивысшим приоритетом, и такой показатель, как FCR (разрешение первого вызова), является одним из наиболее важных среди прочих.

Общение с оператором (с помощью голоса, текстовых сообщений и т.д.) Остается предпочтительным методом взаимодействия у многих клиентов с компаниями. Чат-боты пока не могут обеспечить требуемый уровень качества при обслуживании сложных запросов, но они все лучше справляются с рутинными. Таким образом, задача нахождения баланса между автоматизированным и персонализированным обслуживанием является актуальной.

Среди рассмотренных характеристик модели показатель FCR наилучшим образом соответствует соотношению потерянных запросов на этапе обслуживания оператором  $\pi_o$ . Используем модель для оценки количества операторов, необходимых для обслуживания входящих запросов клиентов, в двух случаях — с чат-ботом и без него. Примем количество типов клиентских запросов  $n$  равным 2.

Входные параметры для расчета, следующие:

$$\lambda = 10;$$

$$f_1 = 0,7; f_2 = 0,3;$$

$$p_1 = 0,3; p_2 = 0,7;$$

$$\mu_1 = 1; \mu_2 = 1; \mu = 0,5;$$

$$c = 10;$$

$$w = 5;$$

$$\sigma = 1.$$

Обслуживание операторов длится в два раза дольше, чем чат-ботом. Время обслуживания чат-ботом одинаково для обеих категорий запросов клиентов.

Изучим зависимость значения  $\pi_o$  от количества операторов и определим, сколько сотрудников необходимо для обслуживания запросов клиентов при стандартном значении  $\pi_{norm} = 0,05$ . Для случая, когда чат-бота нет, мы принимаем вероятности  $f_1$  и  $f_2$  равными 1.

Результаты расчетов приведены на Рисунке 2.3. Они показывают, что использование чат-бота позволяет значительно сократить необходимое количество операторов. Для достижения указанного качества обслуживания в первом случае необходимо 16 сотрудников, во втором 10.

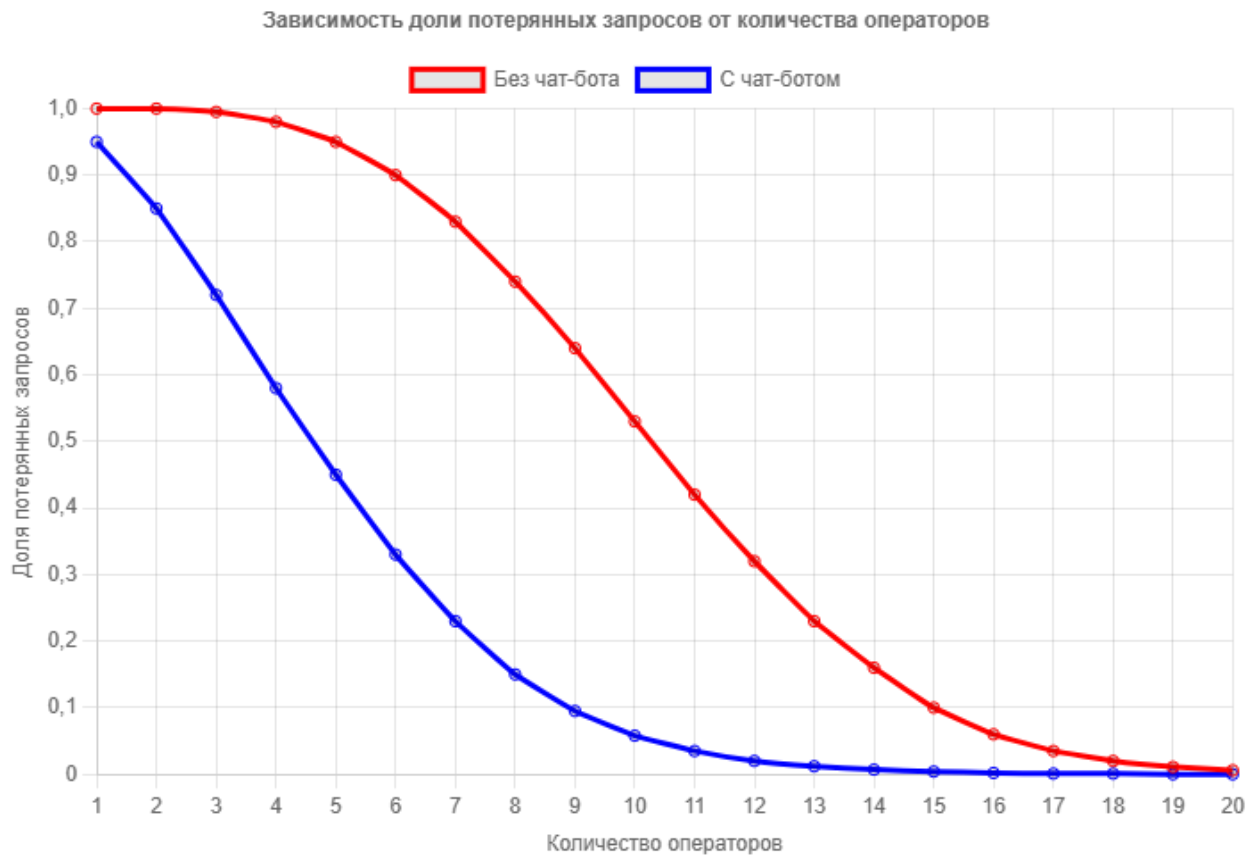


Рисунок 2.3 — Зависимость значения  $\pi_0$  от количества операторов (низкая интенсивность)

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  $w$ . Новые значения входных параметров для расчета, следующие:

$$\lambda = 20;$$

$$f_1 = 0,7; f_2 = 0,3;$$

$$p_1 = 0,3; p_2 = 0,7;$$

$$\mu_1 = 1; \mu_2 = 0,5; \mu = 0,5;$$

$$c = 15;$$

$$w = 10;$$

$$\sigma = 1.$$

Полученные результаты показаны на Рисунке 2.4.

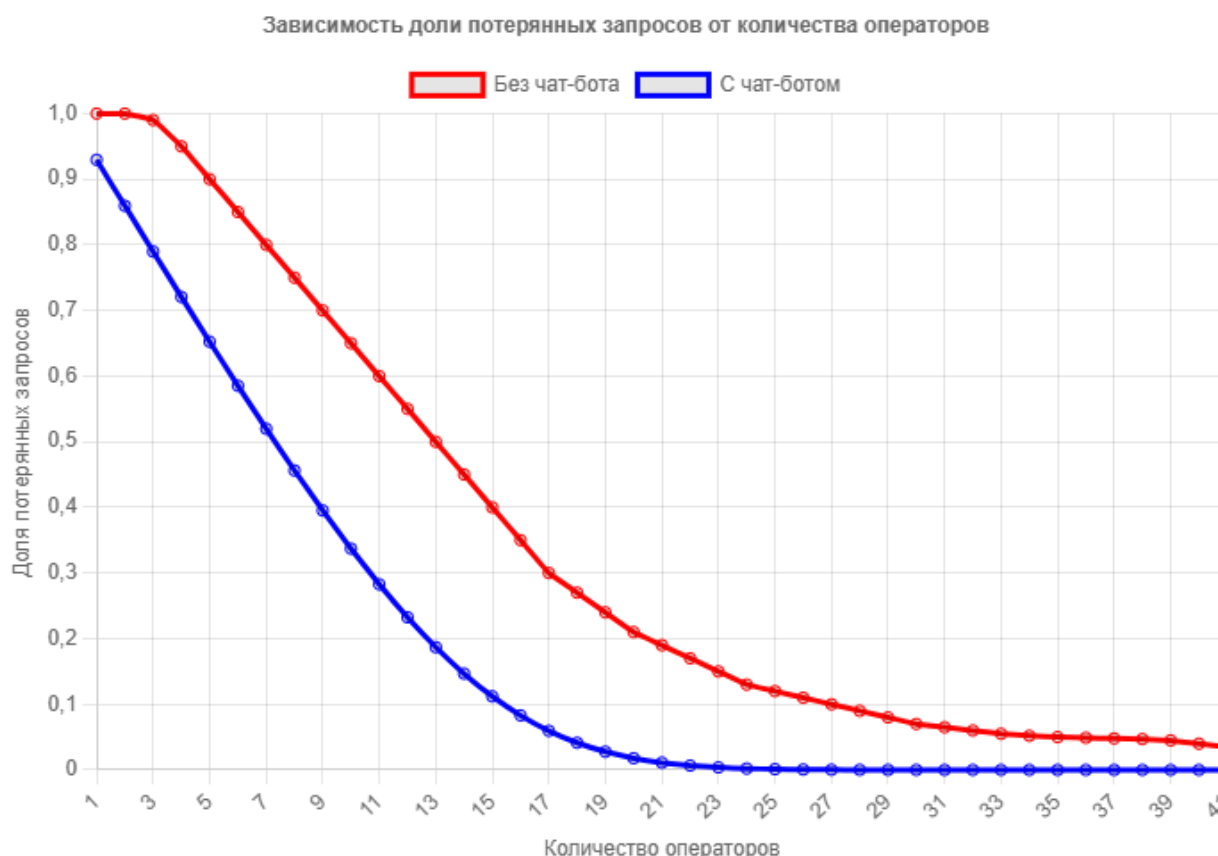


Рисунок 2.4 — Зависимость значения  $\pi_0$  от количества операторов (высокая интенсивность)

Логично, что с увеличением интенсивность и других параметров требуется больше операторов для обоих случаев. Однако необходимое количество операторов в случае использования чат-бота (18) по-прежнему примерно вдвое меньше, чем при отсутствии одного (37). Форма кривых аналогична для случаев низкого и высокого уровня поступающих запросов клиентов.

## 2.9. Выводы по результатам второго раздела

1. Разработана и исследована функциональная модель контакт-центра, ключевой особенностью которой является учет ограниченных ресурсов чат-бота. В отличие от классических подходов, ресурс чат-бота трактуется обобщенно как конечное число единиц, которыми могут быть вычислительные мощности (vCPU, RAM), лимиты одновременных сессий или пропускная способность внешних API.

Модель реализует двухэтапный процесс обслуживания: на первом этапе пуассоновский поток гетерогенных запросов обрабатывается чат-ботом с потерями при отсутствии свободного ресурса, а на втором этапе необработанные запросы передаются операторам в систему с конечной очередью и возможностью отказа клиента от ожидания.

2. Состояние системы описывается многомерным марковским процессом, что обусловлено экспоненциальным распределением всех временных интервалов в модели — как времени обслуживания запросов чат-ботом (зависящего от их категории) и операторами, так и времени терпения клиента в очереди. Данный подход позволяет применять хорошо разработанный математический аппарат теории марковских процессов для анализа характеристик системы.

3. На основе стационарных вероятностей состояний модели получены аналитические выражения для расчета ключевых показателей эффективности. К ним относятся интенсивность потока, перенаправляемого на операторов, среднее число занятых ресурсов чат-бота и операторов, средняя длина очереди, интенсивность отказов от ожидания, а также доли запросов, потерянных на каждом из этапов из-за нехватки ресурсов или переполнения очереди.

4. Для вычисления стационарных вероятностей состояний модели сформирована и решена система уравнений равновесия. Ввиду высокой размерности пространства состояний и отсутствия продуктивной формы решения, система представлена в виде единого соотношения, а для ее решения предлагается использовать эффективный итерационный метод Гаусса-Зайделя.

5. Проведенные численные эксперименты продемонстрировали существенное влияние чат-бота на снижение нагрузки на операторский состав. Показано, что для достижения заданного целевого показателя, характеризующего долю запросов, успешно обслуженных оператором, использование чат-бота позволяет сократить необходимое количество операторов практически вдвое — как в условиях низкой, так и высокой интенсивности входящей нагрузки. Это подтверждает высокую эффективность внедрения автоматизированных систем для оптимизации ресурсов и повышения рентабельности контакт-центра.

## **Раздел 3. Модель контакт-центра с учетом наличия чат-бота**

### **3.1. Описание функциональной модели**

Представленная в работе модель контакт-центра с учетом наличия чат-бота 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 гетерогенными потоками запросов, 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, но широко распространенного на практике сценария, что создает фундамент для последующего анализа и верификации более сложных и общих конфигураций контакт-центров.

Функциональная модель (Рисунок 3.1 контакт-центра основана на двухступенчатом процессе обработки поступающих запросов, объединяя автоматизированную систему чат-бота и ручное обслуживание операторами. На первом этапе происходит первичная автоматизированная обработка запросов с использованием чат-бота, который способен решать типовые проблемы и предоставлять стандартную информацию по заранее заложенным сценариям. Такой подход позволяет эффективно и оперативно обслуживать большинство запросов, поступающих от клиентов, минимизируя время ожидания и снижая нагрузку на человеческие ресурсы контакт-центра.





Рисунок 3.1 — Функциональная модель контакт-центра с учетом наличия чат-бота

Однако не все запросы могут быть полностью обработаны с помощью чат-бота. В случае возникновения сложных или нестандартных ситуаций, таких как специфические технические проблемы, нестандартные жалобы клиентов или необходимость принятия решений за пределами стандартных сценариев, запрос автоматически перенаправляется оператору. Эти запросы обычно требуют глубокого анализа, индивидуального подхода и дополнительных компетенций, недоступных автоматизированной системе.

На втором этапе обработки запросы обслуживаются операторами контакт-центра, и данный процесс может быть представлен как система массового обслуживания с конечной очередью. Поток запросов, поступающих к операторам, моделируется с помощью пуассоновского процесса, который характеризуется параметром интенсивности. Такой подход позволяет эффективно описать случайный характер поступления запросов, определить нагрузку на операторов и точно спрогнозировать рабочие ресурсы, необходимые для обеспечения высокого уровня обслуживания клиентов.

Очередь на обслуживание оператором ограничена по размеру, и при ее заполнении дальнейшие запросы могут быть потеряны либо перенаправлены на другие ресурсы контакт-центра, если такие предусмотрены. В рамках этой модели

важными показателями работы контакт-центра являются среднее время ожидания клиента в очереди, коэффициент загрузки операторов, вероятность отказа в обслуживании и общий уровень удовлетворенности клиентов качеством полученных услуг.

Эффективность работы контакт-центра в значительной степени зависит от постоянного мониторинга и анализа поступающих запросов, а также регулярного обновления базы знаний и сценариев работы чат-бота. На основе данных мониторинга можно выявлять типы запросов, которые часто требуют вмешательства операторов, и адаптировать функционал чат-бота, тем самым снижая процент перенаправляемых запросов и улучшая общую производительность системы. Также необходима регулярная обратная связь от клиентов, которая позволяет оперативно корректировать процессы и повышать уровень удовлетворенности клиентов качеством обслуживания [120].

Таким образом, представленная модель контакт-центра, включающая чат-бота и операторов, обеспечивает оптимальное сочетание автоматизированной обработки типовых запросов и персонального подхода к сложным случаям. Это позволяет значительно повысить эффективность работы контакт-центра, сократить издержки на человеческие ресурсы и улучшить качество обслуживания клиентов.

### **3.2. Описание математической модели**

Схема математической модели представлена на Рисунке 3.2 [106]. Она включает две стадии обслуживания запросов. Поток запросов поступает в контакт-центр с интенсивностью  $\lambda$  и состоит из запросов из различных категорий клиентов. Каждая категория определяется вероятностью принадлежности к рутинным или сложным запросам. Рутинные запросы включают такие вопросы, как информация о часах работы, проверка баланса счета или стандартные инструкции по продукту. Сложные запросы, напротив, могут включать нестандартные жалобы, запросы на техническую поддержку, требующую

диагностики, или вопросы, требующие индивидуального решения. Модель также учитывает вероятность того, что запросы из каждой категории будут обработаны без привлечения оператора. Чем более рутинный характер имеют запросы, тем выше вероятность их успешной обработки чат-ботом.

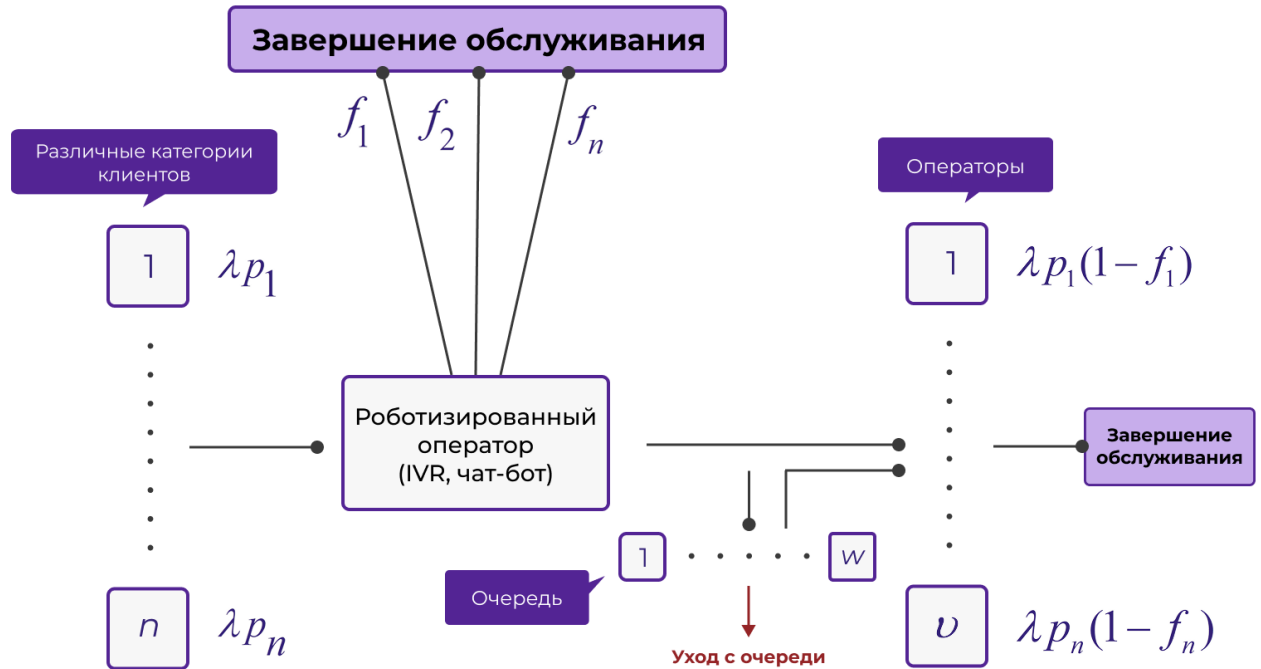


Рисунок 3.2 — Математическая модель контакт-центра с чат-ботом

Данная модель рассматривает двухэтапный процесс обслуживания запросов. Часть запросов, которые не получают необходимого обслуживания с помощью чат-бота, перенаправляется к операторам. Чаще всего это сложные запросы, требующие индивидуального подхода, такие как нестандартные жалобы, специфические технические вопросы или проблемы, требующие принятия решений вне стандартных сценариев. Процесс обслуживания операторами моделируется как система массового обслуживания с конечной очередью. Интенсивность поступающего к операторам потока определяется свойствами пуассоновского потока, что позволяет учитывать нагрузку на операторов в условиях различных сценариев.

Благодаря свойству разложения исходного пуассоновского потока, на втором этапе обслуживания поступает пуассоновский поток запросов с интенсивностью  $\Lambda$ :

$$\Lambda = \lambda \sum_{k=1}^n p_k (1 - f_k). \quad (3.1)$$

Процесс обслуживания операторами моделируется как система массового обслуживания с конечной очередью. Обозначим количество операторов через  $\nu$  и количество мест ожидания через  $w$ . Время обслуживания операторами подчиняется экспоненциальному распределению с параметром  $\mu$ . Таким образом, интенсивность пуассоновского потока, приходящего к операторам и выраженного в Эрлангах, определяется как:

$$a = \frac{\Lambda}{\mu}. \quad (3.2)$$

Рассмотрим основные формулы для расчета характеристик модели. 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  $(\nu + w)$ , и определяется выражением:

$$\pi_c = \pi_t = p(\nu + w). \quad (3.3)$$

Кроме доли потерянных запросов, интересны следующие характеристики модели: среднее время ожидания запроса до начала обслуживания, вычисленное на основе всех отклоненных запросов в очереди; среднее число запросов в очереди, рассчитанное из анализа ее длины только для отклоненных запросов; вероятность попадания в очередь ожидания;  $y$  — среднее число занятых операторов. Удобно вычислять эти показатели с помощью приведенных ниже рекурсивных выражений:

$$W_d = \left( \frac{1}{\nu - a} - \frac{w \left( \frac{a}{\nu} \right)^w}{\nu \left( 1 - \frac{a}{\nu} \right)^w} \right) \frac{1}{\mu}; \quad (3.4)$$

$$L_b = \left( \frac{\Lambda}{\nu - a} - \frac{w \left( \frac{a}{\nu} \right)^{w+1}}{1 - \left( \frac{a}{\nu} \right)^w} \right) \left( \frac{1 - \left( 1 - \frac{a}{\nu} \right) \left( \frac{a}{\nu} \right)^w}{1 - \left( \frac{a}{\nu} \right)^{w+1}} \right); \quad (3.5)$$

$$p\{W > 0\} = \frac{\nu \left(1 - \left(\frac{a}{\nu}\right)^w\right)}{E(\nu, a) + a \left(1 - \left(\frac{a}{\nu}\right)^w\right)}; \quad (3.6)$$

$$p(\nu + w) = \frac{(\nu - a) \left(\frac{a}{\nu}\right)^w}{\frac{\nu - a}{E(\nu, a)} + a \left(1 - \left(\frac{a}{\nu}\right)^w\right)}; \quad (3.7)$$

$$y = a(1 - p(\nu + w)); \quad (3.8)$$

$$L_q = \Lambda W_d p\{W > 0\}; \quad (3.9)$$

$$W_q = \frac{W_d p\{W > 0\}}{1 - p(\nu + w)}. \quad (3.10)$$

### 3.3. Оценка необходимого числа операторов при двухэтапном обслуживании

Ключевым звеном в обеспечении взаимодействия клиентов с организациями, и качество обслуживания напрямую зависит от числа операторов, способных обработать входящие запросы. Оптимизации числа операторов контактного центра с учетом внедрения автоматической обработки запросов с использованием чат-бота. Основное внимание уделяется оценке минимального необходимого количества операторов, позволяющего поддерживать заданное качество обслуживания.

Для проведения оценки числа операторов была построена математическая модель, учитывающая как традиционную обработку запросов операторами, так и автоматизированную обработку с использованием чат-бота. В случае контактного центра без автоматической обработки все входящие запросы распределяются непосредственно на операторов, что требует большого числа специалистов для поддержания необходимого уровня обслуживания. В случае же использования

чат-бота происходит предварительная фильтрация запросов, что позволяет снизить нагрузку на операторов.

Математическая модель включает рекурсивные выражения, которые позволяют вычислить вероятность того, что запрос будет потерян или обработан с задержкой. Для анализа рассматривались два случая: контактный центр без автоматической обработки и контактный центр с использованием чат-бота, при этом вводились различные параметры, характеризующие распределение запросов и вероятность их обработки на каждом этапе [106].

В первую очередь, проведем оценку контактного центра, не использующего автоматическую обработку запросов. Для этого в построенной модели необходимо приравнять вероятности  $k = 1, 2, \dots, n$  к нулю. Это означает, что все поступающие запросы направляются оператору. В этом случае все поступающие запросы направляются непосредственно к операторам, а вероятность автоматической обработки считается равной нулю. Согласно расчетам, минимальное необходимое количество операторов, обеспечивающих заданное качество обслуживания, составляет 18. Данный показатель был получен на основе анализа зависимости коэффициента потерянных запросов от числа операторов, что отражено в графике на Рисунке 3.3.

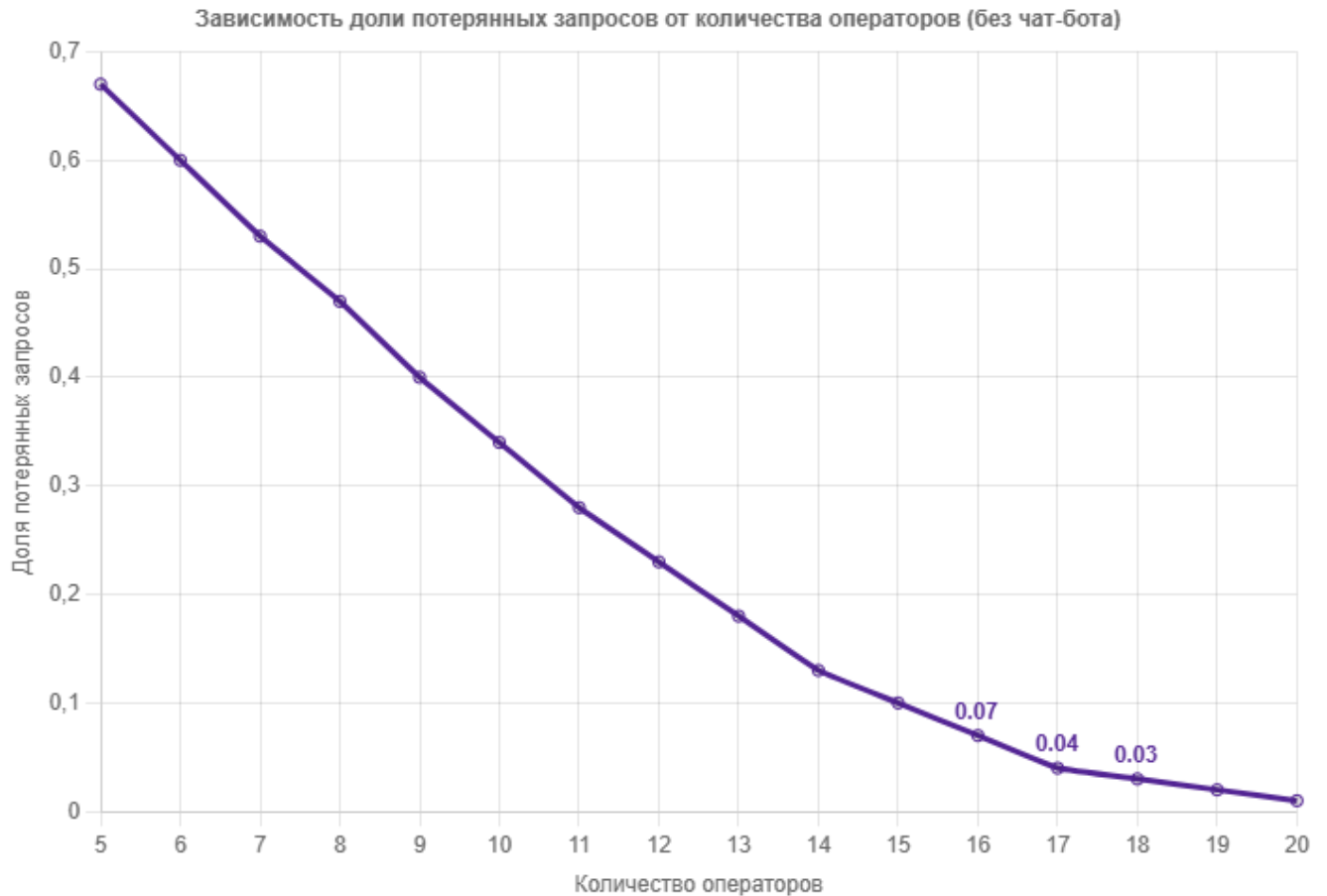


Рисунок 3.3 — Расчет минимально необходимого количества операторов (без чат-бота)

Входные параметры для расчета, следующие:

$$\nu = 20;$$

$$w = 5;$$

$$\mu = 1/45;$$

$$\lambda = 1/3.$$

Внедрение чат-бота позволяет значительно снизить нагрузку на операторов за счет автоматизации обработки части запросов [72]. В модели было принято, что количество категорий клиентов составляет  $n = 3$ , при этом вероятности обработки запросов были распределены в зависимости от типа категории. Чат-бот осуществляет первичную обработку, и только часть запросов, требующих участия оператора, перенаправляется на дальнейшее обслуживание.

Значения вероятности равны:

$$p_1 = 0,5;$$

$$p_2 = 0,3;$$

$$p_3 = 0,2;$$

$$f_1 = 0,5;$$

$$f_2 = 0,3;$$

$$f_3 = 0,2.$$

Результаты численного эксперимента показали, что при использовании чат-бота минимально необходимое количество операторов сокращается на 6 человек, по сравнению с вариантом без автоматизации. Таким образом, для поддержания аналогичного уровня обслуживания при внедрении чат-бота достаточно 12 операторов. Данная оптимизация напрямую влияет на снижение операционных затрат, так как зарплаты операторов составляют значительную часть расходов контактного центра.

На графике (Рисунок 3.4), показана зависимость коэффициента потерянных запросов от числа операторов при использовании чат-бота. Как видно из графика, внедрение автоматической системы позволяет существенно сократить число операторов, необходимых для обеспечения заданного уровня качества обслуживания.



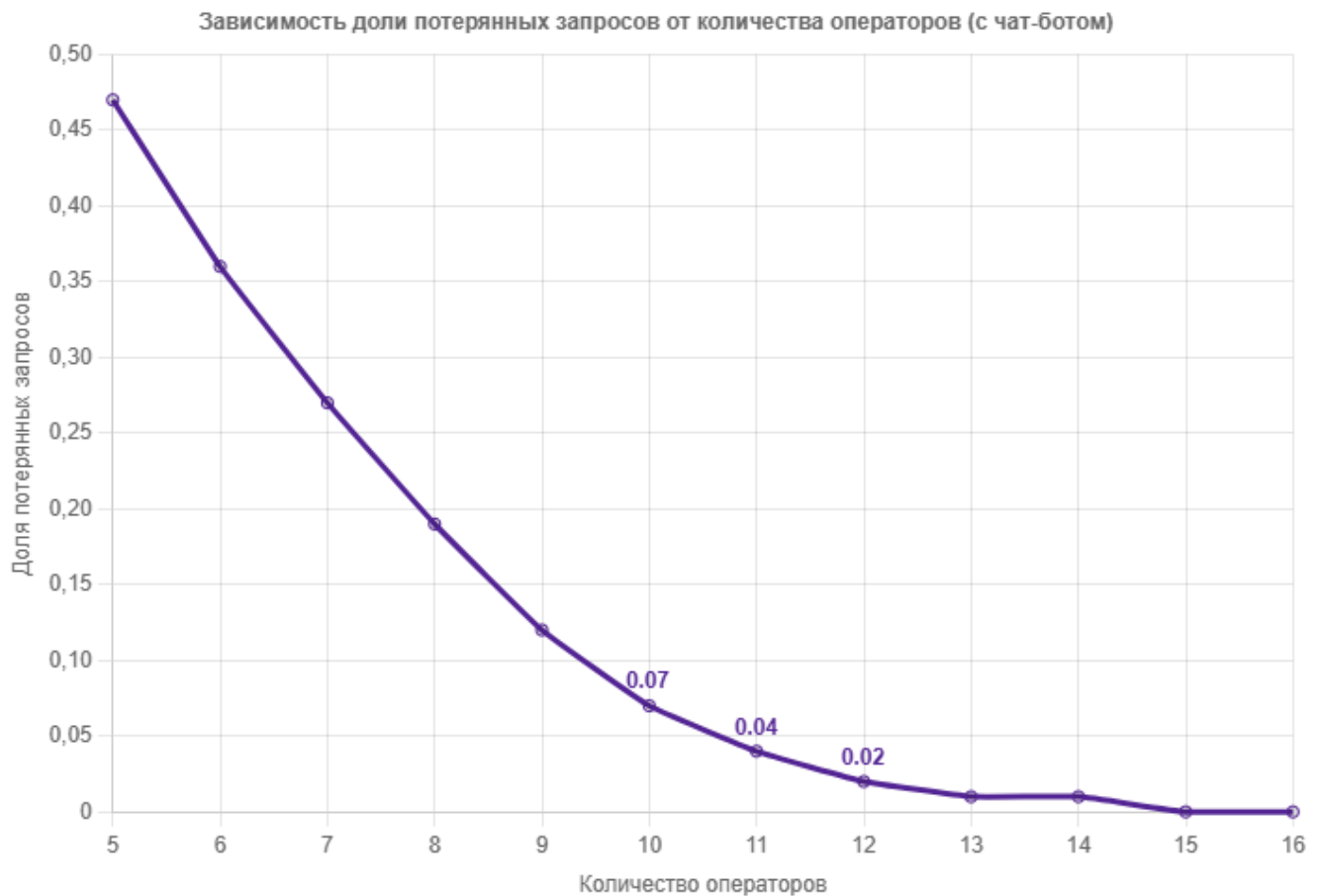


Рисунок 3.4 — Расчет минимально необходимого количества операторов (с чат-ботом)

Сокращение числа операторов благодаря внедрению чат-бота не только снижает нагрузку на персонал, но и позволяет существенно уменьшить операционные расходы компании. Зарплаты операторов традиционно составляют основную часть затрат на функционирование контактного центра, поэтому уменьшение численности операторов на 6 человек обеспечивает значительную экономию. В условиях современных требований к оптимизации затрат и повышению эффективности работы контактных центров, внедрение автоматизированных систем, таких как чат-боты, становится неотъемлемой частью стратегии развития.

Кроме того, автоматизация повышает гибкость контактного центра, так как чат-бот может обрабатывать неограниченное количество запросов одновременно, что особенно важно в периоды пиковых нагрузок. Таким образом, использование

чат-бота не только снижает затраты, но и повышает устойчивость и эффективность системы обслуживания клиентов в целом.

### **3.4. Сравнительный анализ общей модели и ее частного случая с точки зрения доли потерянных запросов**

Проведем сравнение результатов, полученных с помощью общего случая модели, учитывающей наличие чат-бота и время обслуживания запроса на данной стадии, и частного случая, где фактор времени не берётся в расчет. Исходные данные для численного исследования приведены ниже. При расчете характеристик для частного случая рассматриваемой модели время обслуживания запросов обоих типов чат-ботом ( $1/\mu_1$  и  $1/\mu_2$  соответственно) не учитываются. Исследуем зависимость значений доли потерянных запросов на стадии обслуживания у оператора и среднего числа запросов, находящихся на обслуживании у оператора, от изменения числа операторов  $\nu$ .

$$\lambda = 10;$$

$$f_1 = 0,7; f_2 = 0,3;$$

$$p_1 = 0,3; p_2 = 0,7;$$

$$\mu_1 = 1; \mu_2 = 1; \mu = 0,5;$$

$$c = 10;$$

$$w = 5;$$

$$\sigma = 1.$$

Результаты расчета приведены в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Характеристики обслуживания клиентских запросов операторами  
в зависимости от используемой модели

Число операторов	Общий случай		Частный случай	
	$\pi_o$	$m_o$	$\pi_o$	$m_o$
1	0,92957643	0,99678456	0,97023857	0,99998424
2	0,85942333	1,98974085	0,94047788	1,99994337
3	0,78969443	2,97669301	0,91071859	2,99985552
4	0,72058906	3,95481965	0,88096172	3,99968644
5	0,65235767	4,92057568	0,85120878	4,99938488
6	0,58530705	5,86961909	0,82146199	5,99887699
7	0,51980453	6,79675045	0,79172441	6,99805965
8	0,45628037	7,69587993	0,76200021	7,99679268
9	0,39522641	8,56004578	0,73229493	8,99489000
10	0,33718878	9,38151804	0,70261578	9,99210959
11	0,28275162	10,15202883	0,67297194	10,98814248
12	0,23250892	10,86317076	0,64337497	11,98260060
13	0,18702268	11,50698895	0,61383917	12,97500366
14	0,14676845	12,07675271	0,58438198	13,96476503
15	0,11207361	12,56782818	0,55502449	14,95117672
16	0,08305960	12,97849633	0,52579185	15,93339341
17	0,05960298	13,31050448	0,49671381	16,91041576
18	0,04132962	13,56914804	0,46782520	17,88107297
19	0,02764945	13,76277889	0,43916651	18,84400491
20	0,01782702	13,90180696	0,41078439	19,79764413
21	0,01107120	13,99742976	0,38273218	20,74019835
22	0,00662207	14,06040333	0,35507040	21,66963421
23	0,00381595	14,10012144	0,32786714	22,58366361
24	0,00211971	14,12413030	0,30119837	23,47973433
25	0,00113593	14,13805488	0,27514799	24,35502724
26	0,00058778	14,14581348	0,24980763	25,20646319
27	0,00029395	14,14997238	0,22527609	26,03072295
28	0,00014221	14,15212009	0,20165818	26,82428471
29	0,00006662	14,15319002	0,17906298	27,58348314
30	0,00003025	14,15370486	0,15760134	28,30459423
31	0,00001332	14,15394444	0,13738246	28,98394857
32	0,00000569	14,15405237	0,11850966	29,61807319
33	0,00000236	14,15409949	0,10107544	30,20385984
34	0,00000095	14,15411945	0,08515591	30,73874962
35	0,00000037	14,15412765	0,07080522	31,22092184
36	0,00000014	14,15413093	0,05805035	31,64946744
37	0,00000005	14,15413220	0,04688719	32,02452436
38	0,00000002	14,15413269	0,03727826	32,34735204
39	0,00000001	14,15413286	0,02915294	32,62032648

40	0,00000000	14,15413293	0,02241022	32,84684645
41	0,00000000	14,15413295	0,01692402	33,03115466
42	0,00000000	14,15413296	0,01255047	33,17809182
43	0,00000000	14,15413296	0,00913632	33,29281276
44	0,00000000	14,15413296	0,00652741	33,38049978
45	0,00000000	14,15413296	0,00457634	33,44610631
46	0,00000000	14,15413296	0,00314844	33,49415622
47	0,00000000	14,15413296	0,00212566	33,52861189
48	0,00000000	14,15413296	0,00140854	33,55281186
49	0,00000000	14,15413296	0,00091621	33,56946903
50	0,00000000	14,15413296	0,00058514	33,58071437

Как видно из таблицы, при текущих входных значениях, модели показывают существенные различия в величине доли потерянных запросов, начиная фактически со значения  $\nu=1$ . Значение  $\pi_o$  снижается быстрее в случае общей модели и, соответственно, для выполнения нормативных показателей, ей потребуется меньшее количество операторов. Этот результат абсолютно закономерен и следует из сути обеих моделей. В общей модели клиентские запросы, поступающие в контакт-центр, вначале попадают на стадию обслуживания чат-ботом, при этом учитывается время обслуживания. Затем, с определенной вероятностью, клиента направляют к оператору. В частном случае, соответствующая доля запросов фактически мгновенно, без задержки направляется к операторам. То есть, это процедура просеивания нагрузки.

Ключевая причина различия результатов следует из процессов буферизации и сглаживания пиковой нагрузки за счёт времени обслуживания чат-ботом. Во-первых, здесь наблюдается так называемый «эффект растягивания потока». Для частного случая поток запросов, который направляется операторам, можно назвать «мгновенным снимком» входящего потока. Если в поведение входящего потока наблюдаются резкие пики и спады, то и просеянный поток будет вести себя аналогично. Следовательно, в пиковые моменты операторы могут не справляться с обслуживанием поступающих запросов, что приводит к потерям.

В случае общей модели чат-бот выступает в роли буфера. На этом этапе не просто выполняется процедура просеивания, происходит также задерживание

запросов на некоторое время. Таким образом, учет времени обслуживания растягивает пиковую нагрузку во времени. Запрос, поступающий в пиковый период, обрабатывается чат-ботом некоторое время и затем попадает к оператору в тот момент, когда пик спал. Вследствие этого происходит сглаживание нагрузки.

Далее, еще одним фактором, которым вызвана разница между результатами, полученными с помощью общей модели и ее частного случая, является снижение пиковой интенсивности нагрузки, поступающей к операторам. В стационарном режиме ее средняя интенсивность совпадает для обеих моделей. Однако, кратковременная или пиковая интенсивность будет отличаться. Поскольку общая модель лучше справляется с кратковременными всплесками, то для неё пиковая интенсивность всегда будет ниже, чем в частном случае, где запросы сразу переправляются на следующий этап.

Кроме того, необходимо учитывать вероятностную природу времени обслуживания чат-ботом. Как и все прочие времена обслуживания, присутствующие в обеих моделях, оно является случайной величиной. Это означает, что запросы поступают к операторам не постоянно, а в случайные моменты времени. Используемый математический аппарат подразумевает, что в один момент времени в системе может происходить только одно событие. Это исключает вероятность ситуации, в которой несколько запросов одновременно освобождаются от обслуживания чат-ботом и сразу поступают к свободным операторам, вызывая мгновенные всплески нагрузки. В случае частного случая такой эффект отсутствует.

Таким образом, можно сделать вывод, что обе модели адекватно отображают особенности функционирования современных справочно-информационных служб. Однако, они рассматривают разные ситуации.

Общая модель, в первую очередь, подходит для случаев, предусматривающих продолжительные диалоги с чат-ботом. Например, такие операции как уточнение информации, проверка различных деталей (таких как текущий баланс, статус заказа и т.д.) значительно увеличивают время

взаимодействия клиента и автоматической системы. В этом случае, необходимое количество персонала уменьшается, поскольку чат-бот не только решает часть рутинных вопросов, но также эффективно стабилизирует и дозирует поток клиентских запросов, поступающих к операторам.

Частный случай модели может использоваться в тех ситуациях, когда чат-бот осуществляет мгновенную маршрутизацию (рутирование) запроса. Это происходит тогда, когда автоматическая система работает по принципу распознавания намерений (intent recognition). Время обслуживания при этом может быть очень мало, так как клиент практически сразу получает шаблонный ответ, либо его запрос сразу маршрутизируется к оператору. Если при обращении в контакт-центр компании клиенты сразу просят перевести их на оператора, то для повышения эффективности подобной справочной службы нужно использовать именно частный случай построенной модели. В этом сценарии чат-бот не выполняет никакой содержательной работы по обслуживанию поступающего запроса. Он только распознает соответствующую фразу и выполняет запрашиваемое действие, что занимает считанные секунды. По сравнению с длительностью обслуживания оператором, время обработки запроса чат-ботом может быть приравнено к нулю, что является ключевым допущением частного случая модели. Кроме того, для моделирования подобной ситуации необходимо принять вероятности ухода из системы после обслуживания чат-ботом  $p_k = 0 \quad k = 1, 2, \dots, n$ . Таким образом, интенсивность входящего потока, поступающего в контакт-центр  $\lambda$ , будет равна интенсивности потока запросов, маршрутизированных к операторам  $\Lambda$ . С практической точки зрения это имеет большое значение. Так как обработка запросов происходит мгновенно, и затем осуществляются их перевод на следующий этап обслуживания, нагрузку не получается «сглаживать» при помощи чат-бота. Это может привести к ситуации перегрузки, когда большое количество клиентов почти одновременно просят систему перевести их на оператора. Подобный вариант развития событий также необходимо учитывать при планировании численности персонала контакт-центра.

Следовательно, при выборе между общей моделью с учетом времени обслуживания чат-ботом и её частным случаем необходимо руководствоваться принципами работы конкретной системы самообслуживания, а также типичными сценариями её использования клиентами. В случае, если чат-бот обладает повышенным функционалом и способен обрабатывать большое количество разнотипных запросов, то эффективнее применять общую модель, которая обеспечивает более точный и оптимизированный расчет. Для ситуаций, когда чат-бот выполняет только мгновенную классификацию запросов и их дальнейшую маршрутизацию к операторам, допустимо проводить расчеты с использованием частного случая. Результаты, полученные с помощью этой модели, можно назвать упрощенными и более приближенными к классическим методам, которые применяются при планировании контакт-центров сегодня. Кроме того, в реальных условиях пиковые нагрузки могут быть настолько сильными, что чат-бот, работающий по принципам общей модели, может их не «сгладить». В этом случае поведение системы будет больше соответствовать частному случаю.

Также допустимо совместное использование общей модели и её частного случая при последовательном планировании контакт-центра. С помощью частного случая можно произвести первоначальную оценку сверху для числа операторов, и далее уточнять её, применяя общую модель и анализируя различные сценарии.

### **3.5. Сравнительный анализ общей модели и ее частного случая с точки зрения эффективности использования ресурсов**

Обратимся к ещё одному результату из Таблицы 3.1 и сравним обе модели с точки зрения эффективности использования ресурсов. Для этого рассмотрим зависимость значения среднего числа операторов  $m_o$  от изменения числа операторов  $\nu$ . Для большей наглядности она представлена на Рисунке 3.5 в виде соответствующего графика.

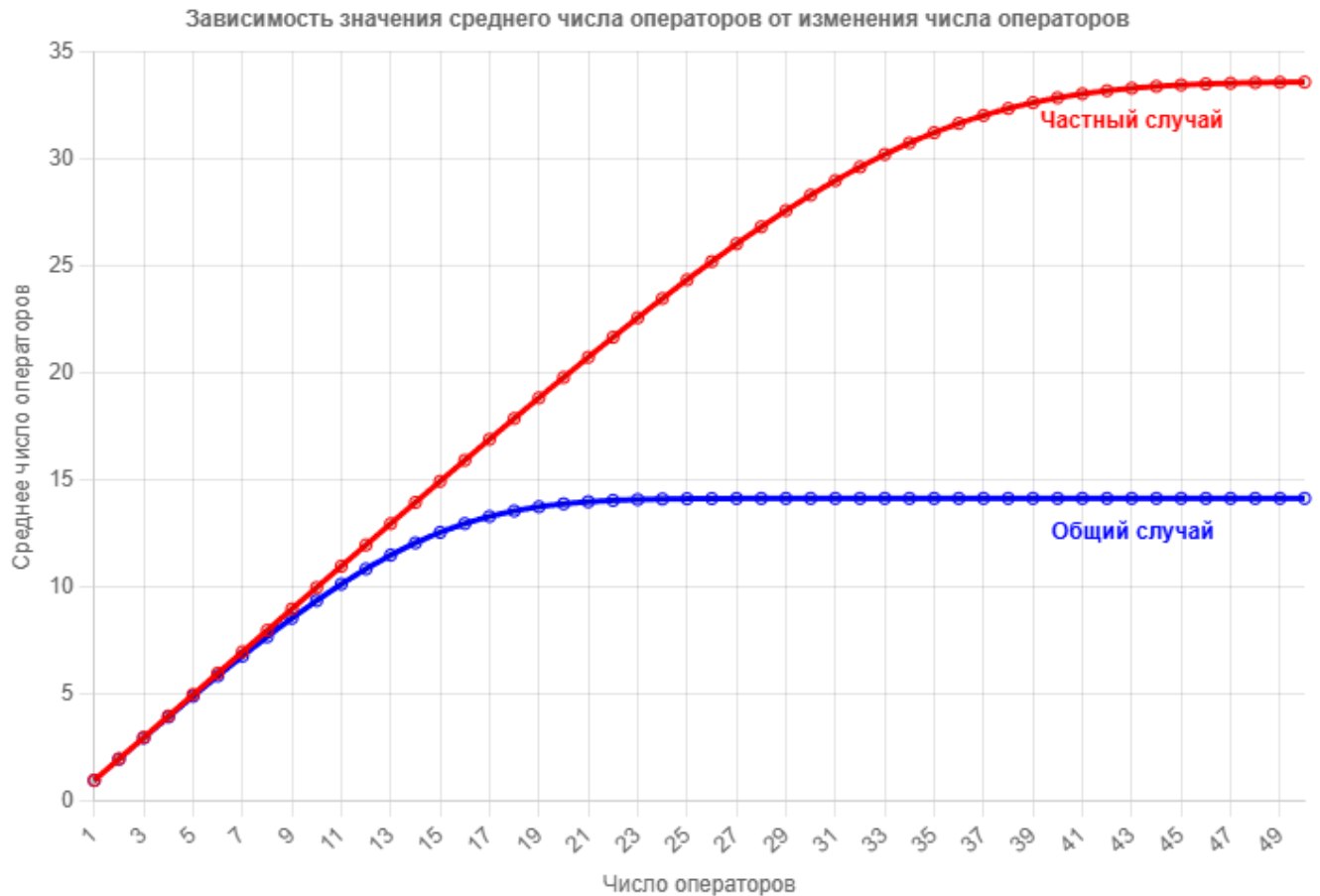


Рисунок 3.5 — Зависимость значения среднего числа операторов  $m_o$  от изменения числа операторов  $\nu$

При анализе результатов можно разделить ось  $X$  на две области — малых значений  $\nu$  (от 0 до 10) и больших значений  $\nu$  (от 10 и выше). В первой области значение  $m_o$  фактически одинаково, и, кроме того, оно приближенно равно и соответствующему значению  $\nu$ . Это связано с тем, что при малом количестве операторов система перегружена. Все работники смены постоянно заняты обслуживанием поступающих запросов. Фактически, можно отметить, что система работает на пределе своей пропускной способности. Анализ длины очереди, в случае оценки параметров, описывающих ожидание, может показать, что она неограниченно растет либо же растет до тех пор, пока клиенты не начинают покидать её из-за превышения времени ожидания (в зависимости от выбранного подхода к учету ожидания).

При значениях числа операторов, находящихся в области малых значений  $\nu$ , неважно, какая модель рассматривается — с учетом времени обслуживания чат-



ботом или без учета. Поступающие запросы мгновенно занимают весь ресурс. Этим объясняется наблюдаемое совпадение графиков.

Значение  $\nu=10$  является критической точкой, после которой число операторов постепенно начинает становиться достаточным (а затем, и избыточным) для обслуживания средней поступающей нагрузки. Также, здесь начинают проявляться различия в результатах, полученных с помощью обеих моделей.

В случае частного случая, поток запросов, поступающих к операторам с интенсивностью  $\Lambda$ , является фиксированной величиной. Когда операторов становится больше, чем нужно для обслуживания этого потока, они начинают простаивать. Параметр  $m_0$  начинает асимптотически стремиться к коэффициенту загрузки ( $\Lambda\mu$ ), но не может ее превысить. Прекращением резкого роста среднего числа занятых операторов и обусловлена стабилизация графика.

Для общей модели, поток, поступающий к операторам, не является фиксированным. На него влияет состояние самой системы, а конкретно, степень занятости ресурса. Когда операторы свободны, то очередь к ним либо отсутствует в принципе, либо мала. Таким образом, клиенты, заканчивая этап обслуживания у чат-бота, фактически сразу же попадают к операторам. Поскольку отсутствует ожидание, среднее время пребывания запроса в системе является минимальным. Это следует, в том числе, из формулы Литтла:

$$L = \lambda W \quad (3.11)$$

где  $L$  - длина очереди, а  $W$  - общее время пребывания запроса в системе. Если значение  $W$  мало, то  $L$  также мало. При этом, общее время от попадания в систему до окончания обслуживания чат-ботом также уменьшается, так как не нужно ждать освобождения оператора в очереди. То есть, когда операторы свободны, запросы переходят между этапами быстрее, и фактическая пропускная способность всего контакт-центра увеличивается. Это можно назвать «эффектом обратной связи».

Возвращаясь к графику на Рисунке 3.6. Увеличение числа операторов после  $\nu=14$  не только распределяет поступающую нагрузку между большим числом

сотрудников, но и увеличивает общую пропускную способность всего контакт-центра, поскольку увеличивается количество обслуживаемых запросов. По этой причине значение  $m_o$  продолжает расти, а не стабилизируется, как в частном случае, который, в силу просеивания нагрузки, лишен «эффекта обратной связи».

Таким образом, сравнение двух моделей с точки зрения эффективности использования ресурсов подтверждает результаты, полученные при анализе доли потерянных запросов. Частный случай задает верхнюю границу оценки, показывая, сколько операторов необходимо при условиях, близких к идеальным. Результаты, полученные с помощью общей модели, показывают, что увеличение числа операторов приводит к повышению эффективности функционирования систем автоматизации обслуживания, поскольку сокращается время ожидания, и увеличивается общее число обслуживаемых запросов. Также, проведенный анализ показал, что нагрузка на современный омниканальный контакт-центр является эластичной и зависит от текущей пропускной способности.

Доказанная связь между этапами обслуживания должна учитываться для эффективного управления персоналом в контакт-центрах. Сокращение времени обработки запроса оператором (например, за счет повышения его навыков, модернизации информационных систем взаимодействия с клиентами и т.д.) помогает оптимизировать всю систему, включая стадию чат-бота. Планируя смены операторов на короткий срок, можно использовать частный случай. Принимая решения на стратегическом уровне (например, об инвестициях в штат или ИТ-инфраструктуры), правильнее опираться на результаты, полученные при помощи общей модели. Она доказывает, что человеческое обслуживание и автоматизация – взаимодополняющие факторы, и при улучшении одного компонента повышается отдача от другого.

Таким образом, сравнение результатов расчетов, проведенных с помощью обеих моделей, показывает эффект синергии между автоматизацией и человеческим трудом. На практике это означает, что в правильно спланированном контакт-центре адекватное увеличение штата операторов может привести к росту числа обслуженных запросов, равномерно распределенных по сотрудникам. В

тоже время, на примере частного случая видно, что простое увеличение численности смен не всегда служит решением для повышения качества обслуживания, так как может приводить к простоем операторов.

### **3.6. Выводы по результатам третьего раздела**

1. Разработана и исследована функциональная модель контакт-центра, основанная на двухступенчатом процессе обработки клиентских запросов с участием чат-бота. Модель интегрирует автоматизированную систему для обработки типовых запросов и операторов для решения сложных случаев, что позволяет оптимизировать распределение нагрузки и повысить общую эффективность обслуживания. Ключевыми аспектами модели являются классификация запросов на рутинные и сложные, вероятность успешной обработки чат-ботом и управление очередью на втором этапе.

2. Для количественной оценки эффективности системы предложена математическая модель, представляющая процесс обслуживания как систему массового обслуживания с конечной очередью. Поток запросов, поступающих к операторам после обработки чат-ботом, моделируется пуассоновским процессом, а время обслуживания операторами предполагается экспоненциально распределенным. Это позволяет применять аналитические методы теории массового обслуживания для расчета ключевых показателей эффективности.

3. На основе разработанной математической модели выведены рекуррентные формулы для расчета основных характеристик системы. К ним относятся доля потерянных запросов, среднее время ожидания в очереди, среднее число запросов в системе, вероятность попадания в очередь и среднее число занятых операторов. Данные показатели позволяют всесторонне оценить качество обслуживания и загрузку ресурсов контакт-центра.

4. Предложен метод оценки минимально необходимого количества операторов, обеспечивающего заданный уровень качества обслуживания (определяемый, в частности, долей потерянных вызовов). Метод основан на

анализе зависимости коэффициента потерь от числа операторов и позволяет проводить сравнительный анализ эффективности контакт-центра с использованием чат-бота и без него.

5. Проведенный численный эксперимент на основе модели продемонстрировал существенный эффект от внедрения чат-бота. Показано, что автоматизация первичной обработки запросов позволяет сократить необходимое число операторов на 33% (с 18 до 12 человек) для поддержания того же уровня качества обслуживания, что приводит к значительному снижению операционных расходов и повышению гибкости и устойчивости работы контакт-центра в условиях пиковых нагрузок.

6. Сравнительный анализ общей модели, учитывающей время обслуживания чат-ботом, и её частного случая, где это время пренебрежимо мало, выявил принципиальные различия в динамике нагрузки и использовании ресурсов. Общая модель демонстрирует эффект буферизации и сглаживания пиковой нагрузки за счёт времени обработки запросов чат-ботом, что позволяет снизить долю потерянных запросов и более эффективно использовать операторов. В частном случае, когда чат-бот выполняет мгновенную маршрутизацию, система лишена этого эффекта, что приводит к необходимости большего числа операторов для обеспечения того же уровня обслуживания. Это подчеркивает важность учета специфики работы чат-бота и сценариев взаимодействия с клиентами при проектировании контакт-центров. Кроме того, анализ подтвердил наличие синергии между этапами обслуживания: улучшение производительности на одном этапе (например, сокращение времени обслуживания оператором) положительно влияет на эффективность системы в целом. Таким образом, выбор между моделями должен основываться на реальных процессах обработки запросов, а их комбинированное использование позволяет проводить как оперативное, так и стратегическое планирование ресурсов контакт-центра.

## **Раздел 4. Модель контакт-центра совместного обслуживания голосовых и файловых запросов**

### **4.1. Особенности обслуживания файловых запросов в контакт-центрах**

Файловые запросы в контакт-центрах представляют собой структурированные или неструктурированные данные, которые клиенты или системы направляют для последующей обработки. Эти запросы варьируются по содержанию, формату и срочности, что определяет специфику их обработки.

Среди наиболее распространенных типов файловых запросов можно выделить:

- Отчеты об ошибках (например, логи программных сбоев, скриншоты ошибок), требующие оперативного анализа для минимизации времени простоя систем.
- Документы для верификации (паспортные данные, банковские выписки, лицензии), где критична точность и соответствие регуляторным стандартам.
- Фотографии и видео (например, изображения поврежденного товара, записи с камер наблюдения), где важна детализация и скорость идентификации проблемы.
- Медицинские файлы (результаты анализов, истории болезни), обработка которых напрямую влияет на качество услуг и здоровье пациентов.
- Финансовые отчеты (налоговые декларации, платежные поручения), где задержки могут привести к штрафам или сбоям в бизнес-процессах.

Однако важно учитывать, что информация в файлах может терять актуальность с течением времени, что делает своевременную обработку таких запросов критически важной. Рассмотрим несколько примеров:

- **Финансовые услуги:** пользователь отправляет файл с выпиской из банка для оформления кредита. Если оператор не успевает обработать запрос в течение нескольких дней, информация в файле (например, баланс счета или транзакции) может устареть, так как за это время могли произойти новые операции по счету. Это делает данные неактуальными и может привести к ошибкам в принятии решений.
- **Медицинские услуги:** пользователь отправляет файл с результатами анализов крови для консультации с врачом. Если оператор (или врач) не успевает обработать запрос в течение нескольких часов, информация в файле может устареть, так как состояние здоровья пациента могло измениться (например, уровень сахара в крови или уровень гормонов). Это может привести к некорректной диагностике или лечению.
- **Техническая поддержка:** пользователь отправляет файл с логами системы для диагностики проблемы. Если оператор не успевает обработать запрос в течение нескольких часов, информация в файле может устареть, так как система могла быть перезагружена или проблема уже решена. Это делает данные бесполезными для дальнейшего анализа.

Эти примеры наглядно демонстрируют, что учет старения информации в файлах является критически важным для обеспечения качества обслуживания. Если файл не обработан вовремя, его содержимое может стать бесполезным или даже вводящим в заблуждение, что негативно сказывается на эффективности работы контакт-центра и удовлетворенности клиентов.

Своевременная обработка файловых запросов критически важна для поддержания доверия клиентов и минимизации рисков.

## 4.2. Методы и подходы к обработке файловых запросов

Обработка файловых запросов в контакт-центрах сталкивается с рядом организационных и технологических вызовов. Первым этапом является поступление файлов группами случайного размера. Например, в периоды пиковой нагрузки (распродажи, налоговые периоды, технические сбои) система может получать десятки запросов одновременно. Такая динамика требует гибкости ресурсов: автоматического масштабирования серверов, перераспределения задач между операторами или временного увеличения мощностей облачных хранилищ.

Также современные контакт-центры активно внедряют автоматизированные системы для предварительной обработки файлов. Например, использование искусственного интеллекта для анализа фотографий поврежденных товаров позволяет классифицировать их по типам повреждений и направлять соответствующим специалистам.

В зависимости от уровня загрузки системы применяются различные стратегии обработки:

- Наличие свободных операторов позволяет обрабатывать запросы мгновенно. Например, в ночные часы или в периоды низкой активности простой ресурсов используется для оперативной обработки файлов.
- Частичная обработка с постановкой в очередь актуальна при средней нагрузке. Запросы помещаются в буфер, где ожидают освобождения операторов. Здесь важно учитывать приоритеты: например, критические ошибки в системе электронных платежей должны обрабатываться раньше, чем стандартные запросы на смену пароля.
- Полная потеря запроса при перегрузке — наихудший сценарий, который приводит к потере данных и снижению лояльности клиентов. Для его предотвращения внедряются механизмы аварийного кэширования или автоматического уведомления отправителя о необходимости повторной отправки.

Центральным элементом управления является механизм ограниченного ожидания файлов. Время, в течение которого файл сохраняет актуальность,

интерпретируется как «время старения». Например, в медицинских сервисах результаты анализов, не обработанные в течение 24 часов, могут быть автоматически архивированы или удалены. В техподдержке логи, старше 72 часов, теряют ценность для диагностики. Такой подход позволяет освобождать ресурсы для более свежих запросов, но требует точного определения пороговых значений.

Механизмы ограниченного ожидания особенно важны в финансовой сфере. Например, если клиент отправляет запрос на изменение реквизитов счета, система автоматически уведомляет его о необходимости повторной отправки, если данные не были обработаны в течение 24 часов. Это помогает избежать блокировки транзакций и минимизирует риски для клиента.

#### **4.3. Влияние файловых запросов на качество обслуживания**

Групповое поступление файлов существенно влияет на ключевые показатели качества обслуживания. Для минимизации негативных эффектов применяется буферизация — временное хранение запросов в очередях. Однако размер буфера должен быть оптимален: слишком маленький приводит к потерям, слишком большой — к избыточным затратам на хранение.

Приоритезация файлов играет ключевую роль в условиях ограниченных ресурсов. Например, в банках запросы на блокировку карт обрабатываются мгновенно, тогда как заявки на оформление кредита могут ждать до 24 часов. Такая стратегия позволяет сохранять баланс между срочностью и рутинными задачами. Однако некорректное распределение приоритетов чревато «эффектом кнута»: низкоприоритетные запросы накапливаются, формируя «хвост» очереди, который сложно ликвидировать.

Наконец, групповая обработка файлов требует динамического распределения нагрузки между операторами. Современные системы используют алгоритмы машинного обучения для прогнозирования пиков и перераспределения задач. Например, в контакт-центрах с географической дислокацией операторов



запросы перенаправляются в регионы с текущим временем «окна активности» (например, ночные смены в Азии обрабатывают дневные запросы из Европы). Это не только повышает скорость обработки, но и снижает эмоциональную нагрузку на сотрудников.

Таким образом, эффективное управление файловыми запросами требует комплексного подхода, учитывающего как технические аспекты (буферизация, приоритезация), так и человеческий фактор (распределение нагрузки, обучение операторов). Только так можно обеспечить высокое качество обслуживания в условиях растущей сложности и объемов данных.

#### **4.4. Описание функциональной модели**

Современные контакт-центры представляют собой сложные системы, предназначенные для обработки разнородных запросов от клиентов. В отличие от традиционных call-центров, где основным каналом взаимодействия является голосовая связь, в контакт-центрах запросы могут поступать как в форме голосовых сообщений, так и в виде файлов. Такое разнообразие форматов взаимодействия требует разработки новых подходов к организации процессов обслуживания, учитывающих специфику каждого типа запросов.

Однако совместное обслуживание голосовых и файловых запросов создает ряд вызовов для контакт-центров. Во-первых, необходимо учитывать разницу в времени обработки: файловые запросы могут требовать больше времени на анализ и обработку по сравнению с голосовыми. Во-вторых, требуется эффективное распределение ресурсов между операторами, специализирующимися на разных типах запросов. В-третьих, важно обеспечить минимизацию времени ожидания клиентов и максимальную удовлетворенность качеством обслуживания [98, 101]. Модель будет учитывать особенности обработки каждого типа запросов, а также позволит оценить влияние различных факторов на эффективность работы системы, таких как интенсивность поступления запросов, время их обработки и количество доступных операторов.

Функциональная модель (Рисунок 4.1) контакт-центра представляет собой комплексную систему совместного обслуживания голосовых и файловых запросов. Она отражает современные реалии, в которых контакт-центры выступают не только как посредники между клиентами и организациями, но и как сложные распределенные информационные узлы, обрабатывающие разнородные потоки данных. В эпоху цифровизации и активного развития многоканального взаимодействия с пользователями возникает необходимость в построении гибких и адаптивных моделей, способных учитывать специфику запросов, поступающих в различных форматах и требующих различного уровня обработки.



Рисунок 4.1 — Функциональная модель контакт-центра совместного обслуживания голосовых и файловых запросов

Голосовые обращения и файлы — это два принципиально разных подхода к передаче информации, каждый из которых обладает своими особенностями. В модели подробно учитываются особенности каждого типа запросов, что позволяет максимально точно описать и оптимизировать процессы работы контакт-центра, повысить эффективность управления ресурсами и улучшить взаимодействие с клиентами.

Голосовые запросы первоначально проходят автоматизированное обслуживание с помощью роботизированных операторов, таких как чат-боты или IVR-системы, которые способны решать простые и типовые задачи. Это позволяет снять часть нагрузки с операторов и ускорить обработку обращений, что особенно важно в условиях пиковых нагрузок. При успешном завершении обработки на этом этапе запрос закрывается, однако при необходимости дополнительного анализа он перенаправляется оператору контакт-центра. В случае отсутствия свободных операторов голосовой запрос считается потерянным, что напрямую влияет на качество обслуживания и степень удовлетворенности клиентов.

Файловые запросы представляют собой группы файлов, поступающие в контакт-центр для дальнейшего изучения. Эти файлы могут содержать критически важную информацию, необходимую для принятия решений, проведения диагностики или выполнения последующих действий. Своевременная обработка файлов является важной задачей для поддержания качества обслуживания и обеспечения доверия со стороны клиентов. Обработка файловых запросов включает этапы предварительной проверки, анализа содержимого и передачи специалистам соответствующего профиля. Всё это требует не только технических мощностей, но и грамотно выстроенного алгоритма распределения нагрузки между сотрудниками.

В модели подробно рассматриваются три сценария обработки поступающих файловых запросов:

- Если контакт-центр обладает достаточными свободными ресурсами, то все файлы немедленно поступают на обслуживание.
- В случае частичной загрузки операторов доступные ресурсы направляются на обслуживание части поступившей группы файлов, а оставшиеся файлы отправляются в очередь ожидания. Файлы, для которых не находится места в очереди, считаются потерянными.
- При полной загрузке операторов и отсутствии свободных мест в очереди вся поступившая группа файлов теряется.

Такая многоступенчатая система маршрутизации позволяет эффективно использовать ресурсы контакт-центра и минимизировать потери данных. Кроме того, в модели также предусмотрено ограничение времени ожидания файловых запросов. Это время моделируется с помощью экспоненциального распределения и отражает процесс старения информации, содержащейся в файле. Если файл не поступает на обслуживание до истечения этого времени, он считается потерянным. Учет этого аспекта особенно важен в критически чувствительных областях, таких как медицина, финансовые услуги и техническая поддержка, где своевременность реакции играет решающую роль.

Процессы обработки запросов моделируются как система массового обслуживания с конечной очередью. Поступающие запросы подчиняются закону Пуассона, а время обслуживания каждого запроса моделируется экспоненциальным распределением. Такой подход позволяет использовать проверенные математические методы для анализа и прогнозирования поведения системы при различных уровнях нагрузки. Для расчета эффективности работы контакт-центра используются такие показатели, как доля потерянных голосовых и файловых запросов, среднее время ожидания обслуживания файла, средняя загрузка операторов и среднее число файлов в очереди. Эти метрики дают представление о текущем состоянии системы и позволяют принимать обоснованные управленческие решения.

Функционирование системы представлено в виде марковского процесса с заданным пространством состояний. Система описывается набором состояний, характеризующих текущую занятость операторов и наличие файлов в очереди. Для расчета ключевых показателей эффективности используется система уравнений равновесия, решение которой позволяет количественно оценивать влияние различных параметров на качество обслуживания. Такая модель учитывает как детерминированные характеристики (например, количество операторов и мест ожидания), так и вероятностные свойства входных потоков и поведения клиентов, что делает её особенно ценной для практического применения.

Представленная функциональная модель обеспечивает комплексный подход к организации и повышению эффективности работы контакт-центра. Она демонстрирует, каким образом современные технологии и аналитические методы могут быть интегрированы в повседневную деятельность справочно-информационных служб для достижения высокого уровня обслуживания. Модель позволяет минимизировать потери запросов, повысить оперативность обработки информации, рационально использовать ресурсы и, как следствие, увеличить общий уровень удовлетворенности клиентов, что является ключевым критерием эффективности любой клиентской службы.

#### 4.5. Описание математической модели

Сформулируем предположения, относящиеся к математической модели исследуемой справочной службы. Контакт-центр обслуживает пуассоновский поток запросов интенсивности  $\lambda$ , разделенных на две сервисные категории. С вероятностью  $p_v$  запрос поступает от пользователей услуг связи в форме голосового сообщения. Поступление запросов этого потока подчиняется закону Пуассона с интенсивностью  $\lambda p_v$ . Запрос обрабатывается роботизированным оператором. Это может быть чат-бот, IVR или иное подобное устройство. 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 от пользователей услуг связи в форме группы файлов. Это означает возможность их концентрации вне контакт-центра. 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  $b = v + w$  и  $\sum_{s=1}^b f_s = 1$ . Обозначим через  $\bar{b}$  среднее число файлов в поступившей группе  $\bar{b} = \sum_{s=1}^b f_s s$ .

При поступлении группы файлов возможны следующие три сценария развития событий.

- В контакт-центре имеется достаточное число свободных операторов для обслуживания поступившей группы файлов. Тогда все файлы одновременно попадают на обслуживание.
- Контакт-центр не обладает свободным ресурсом для обслуживания всей группы файлов. Тогда на обслуживание попадает часть файлов из группы, равная числу свободных операторов, а оставшиеся файлы занимают места ожидания. Если при этом для части файлов из группы не нашлось свободных мест ожидания, то они теряются без возобновления.
- Все операторы контакт-центра и места ожидания заняты. Тогда поступившая файлов теряется целиком и не возобновляется.

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. Время обслуживания голосового запроса и запроса в форме файла имеет экспоненциальное распределение с параметром  $\mu$  и не зависит от типа запроса. В анализируемой модели возможность ожидания предусмотрена только для файлов. Если в модели необходимо учесть возможность ожидания голосовых запросов, то это можно сделать, переопределив время обслуживания у робота.

Математическая модель контакт-центра с учетом совместного обслуживания голосовых запросов и запросов в виде файлов показана на Рисунке 4.2.

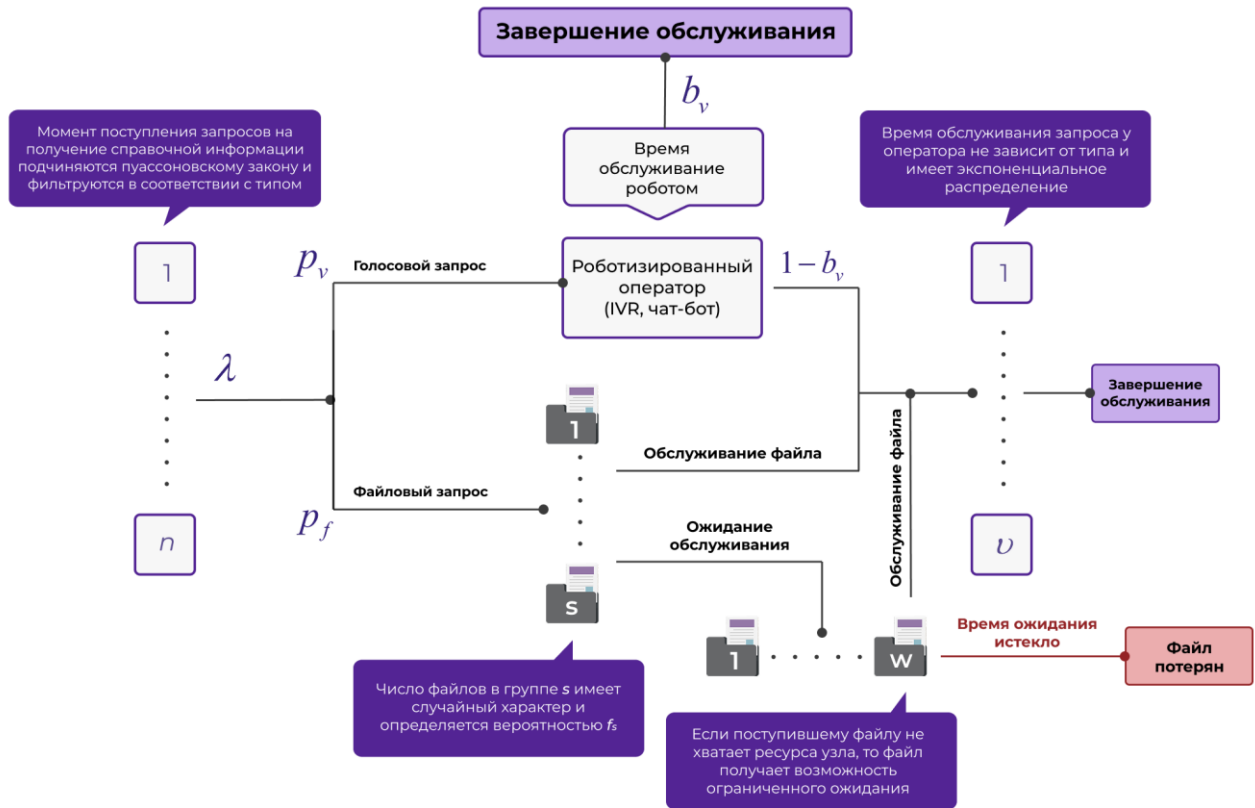


Рисунок 4.2 — Математическая модель контакт-центра с учетом совместного обслуживания голосовых запросов и запросов в виде файлов

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.

Покажем, что такой выбор состояния модели позволит выяснить результат наступления всех событий, рассматриваемых в анализируемой модели контакт-центра в состоянии  $(i)$ . Зафиксируем значение  $i$  и перечислим события, которые могут изменить состояние  $(i)$ :

- $i < v$ . В этом состоянии модели контакт-центра заняты только операторы. На обслуживании находятся либо голосовые запросы, либо файлы и отсутствуют ожидающие файлы. Поступление голосового запроса происходит с интенсивностью  $\lambda p_v(1 - b_v)$  и приводит к занятию оператора. Поступление группы файлов происходит с интенсивностью  $\lambda p_f$  и в зависимости от размеров группы приводит к одному из трех вариантов развития событий: занятию оператора, постановке на ожидание или к потере файла. Освобождение операторов, занятых обработкой голосовых запросов и файлов, происходит с интенсивностью  $i\mu$  и приводит к освобождению одного из  $i$  операторов, если  $i > 0$ .

- $v + w > i \geq v$ . В анализируемом случае в модели контакт-центра заняты все  $v$  операторов и в очереди ожидания находятся  $(i - v)$  файлов. Поступление голосового запроса приводит к его потере. При поступлении группы файлов часть из них становится на ожидание, а те файлы, которым мест ожидания не хватило, теряются. Освобождение занятых операторов происходит с интенсивностью  $v\mu$ . Уход ожидающих файлов из-за старения информации происходит с интенсивностью  $(i - v)\sigma$ .

- $i = v + w$ . Для рассматриваемого состояния все поступающие запросы теряются. Освобождение занятых операторов происходит с интенсивностью  $v\mu$ . Уход ожидающих файлов из-за старения информации происходит с интенсивностью  $w\sigma$ .

Функционирование модели описывается марковским процессом  $i(t)$ , принимающем значения в пространстве состояний  $S$ .

#### 4.6. Определение характеристик обслуживания поступающих запросов

Предположим, что стали известными значения  $p(i)$  доли времени пребывания модели в состоянии  $(i)$ , где  $i = 0, 1, \dots, v + w$ . Приведем формальные



определения характеристик обслуживания поступающих запросов через значения стационарных вероятностей  $p(i)$ . Начнем со значений доли потерянных запросов.

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

$$\pi_v = p(v) + \dots + p(v + w). \quad (4.1)$$

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

$$\pi_f = \frac{\text{интенсивность потерянных файлов}}{\text{интенсивность поступивших файлов}}. \quad (4.2)$$

Обозначим через  $\Lambda_b$  интенсивность потока файлов, которые будут потеряны из-за нахождения справочного узла в состоянии, когда заняты все операторы и места ожидания. Чтобы найти эту характеристику, необходимо для всех состояний узла оценить число потерянных файлов. Найдем среднее число файлов, которые будут потеряны в состоянии  $(v + w - i)$ , где  $i = 0, 1, \dots, v + w - 1$ . Поступление группы файлов, состоящих из  $i + 1, i + 2, \dots, v + w$  файлов, приведет к потере соответственно  $1, 2, \dots, v + w - i$  файлов. Среднее число файлов, потерянных в состоянии  $(v + w - i)$ , определяется из выражения:

$$f_{i+1} \cdot 1 + f_{i+2} \cdot 2 + \dots + f_{v+w} \cdot (v + w - i) = \sum_{s=i+1}^{v+w} f_s (s - i). \quad (4.3)$$

Усредняя по всем  $i = 0, 1, \dots, v + w - 1$ , получаем выражение для  $\Lambda_b$ :

$$\Lambda_b = \lambda p_f \sum_{i=0}^{v+w-1} p(v + w - i) \sum_{s=i+1}^{v+w} f_s (s - i). \quad (4.4)$$

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

$$\Lambda_\ell = \sum_{i=v+1}^{v+w} p(i)(i - v)\sigma. \quad (4.5)$$

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

$$\pi_f = \frac{\Lambda_b + \Lambda_\ell}{\lambda p_f \bar{b}}. \quad (4.6)$$

Остальные характеристики обслуживания поступающих запросов обозначим следующим образом. Пусть  $m$  — среднее число занятых операторов;  $m_v$  — среднее число операторов, занятых обслуживанием голосовых запросов;  $m_f$  — среднее число операторов, занятых обслуживанием файлов;  $L_f$  — среднее число файлов, находящихся на ожидании;  $W_f$  — среднее время нахождения файла на ожидании. Введенные характеристики определяются из соотношений:

$$m = \sum_{i=1}^v p(i)i + v \sum_{i=v+1}^{v+w} p(i); m_v = \frac{\lambda p_v (1-b_v)(1-\pi_v)}{\mu}; m_f = m - m_v. \quad (4.7)$$

$$L_f = \sum_{i=v+1}^{v+w} p(i)(i-v); W_f = \frac{L_f}{\lambda p_f (p(v) + p(v+1) + \dots + p(v+w-1))}. \quad (4.8)$$

#### 4.7. Система уравнений равновесия

Для того чтобы воспользоваться введенными определениями для численной оценки значений характеристик, необходимо составить и решить систему уравнений равновесия (СУР). Приведем 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. В исследуемой модели справочного узла есть три типа событий, меняющих ее состояние: поступление заявок каждого потока, завершение их обслуживания и уход с мест ожидания из-за старения передаваемой информации.

С помощью индикаторной функции  $I(\cdot)$ , СУР можно представить в виде одного соотношения, справедливого для всех  $(i) \in S$ . Для всех  $i = 0, 1, \dots, \nu + w$  вид уравнения СУР для состояния  $(i)$  определяется после подстановки значения  $i$  в следующую систему соотношений:

$$\begin{aligned}
 & P(i) \{ \lambda p_v (1 - b_v) I(i < \nu) + \lambda p_f I(i < \nu + w) + i \mu I(0 < i \leq \nu) + \\
 & + (\nu \mu + \sigma(i - \nu)) I(\nu < i \leq \nu + w) \} = \\
 & = P(i - 1) \lambda p_v (1 - b_v) I(0 < i \leq \nu) + \sum_{\ell=1}^i P(i - \ell) \lambda p_f \left( f_\ell + I(i = \nu + w) \sum_{j=\ell+1}^{\nu+w} f_j \right) + \\
 & + P(i + 1) (i + 1) \mu I(i < \nu) + P(i + 1) \{ \nu \mu + (i + 1 - \nu) \sigma \} I(\nu \leq i < \nu + w).
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Значения  $P(i)$  должны быть нормированы:

$$\sum_{i=0}^{\nu+w} P(i) = 1.$$

Реализовав приведенное соотношение для всех  $i = 0, 1, \dots, \nu + w$ , получаем систему отдельных уравнений равновесия:

$$\begin{aligned}
P(0)(\lambda p_v(1-b_v) + \lambda p_f) &= P(1)\mu, \\
P(1)(\lambda p_v(1-b_v) + \lambda p_f + \mu) &= P(0)(\lambda p_v(1-b_v) + \lambda p_f f_1) + P(2)2\mu, \\
&\dots\dots\dots \\
P(i)(\lambda p_v(1-b_v) + \lambda p_f + i\mu) &= \lambda p_v(1-b_v)P(i-1) + \\
&+ \lambda p_f(P(0)f_i + \dots + P(i-2)f_2 + P(i-1)f_1) + P(i+1)(i+1)\mu, \\
i &= 2, 3, \dots, \nu-1; \\
P(\nu)(\lambda p_v(1-b_v) + \lambda p_f + \nu\mu) &= \lambda p_v(1-b_v)P(\nu-1) + \\
&\dots\dots\dots \\
&+ \lambda p_f(P(0)f_\nu + \dots + P(\nu-2)f_2 + P(\nu-1)f_1) + P(\nu+1)(\nu\mu + \sigma) \\
P(\nu+w-1)(\lambda p_v(1-b_v) + \lambda p_f + \nu\mu + (w-1)\sigma) &= \\
\lambda p_v(1-b_v)P(\nu+w-2) &+ \\
&+ \lambda p_f(P(0)f_{\nu+w-1} + \dots + P(\nu+w-2)f_1) + P(\nu+w)(\nu\mu + w\sigma), \\
P(\nu+w)(\nu\mu + w\sigma) &= \lambda p_v(1-b_v)P(\nu+w-1) + \\
&+ \lambda p_f \left( \begin{aligned} &P(0)f_{\nu+w} + P(1)(f_{\nu+w-1} + f_{\nu+w}) + \dots \\ &+ P(\nu+w-1)(f_1 + f_2 + \dots + f_{\nu+w}) \end{aligned} \right).
\end{aligned} \tag{4.10}$$

Для  $P(i)$  выполнено условие нормировки:

$$\sum_{i=0}^{\nu+w} P(i) = 1. \tag{4.11}$$

#### 4.8. Рекурсивный алгоритм оценки характеристик

Выполним суммирование по  $i$ , меняющимся от 0 до  $j-1$ . После несложных алгебраических преобразований получаем следующее соотношение:

$$\begin{aligned}
&\lambda(p_v(1-b_v) + p_f) \sum_{i=0}^{j-1} P(i) + \sum_{i=0}^{j-1} P(i)(i\mu I(i \leq \nu) + (i-\nu)\sigma I(i > \nu)) = \\
&= \lambda p_f \sum_{i=0}^{j-1} \sum_{k=0}^{i-1} P(k) f_{i-k} + \lambda p_v(1-b_v) \sum_{i=0}^{j-2} P(i) + \\
&+ \sum_{i=0}^j P(i)(i\mu I(i \leq \nu) + (\nu\mu + (i-\nu)\sigma) I(i > \nu)).
\end{aligned} \tag{4.12}$$

В следующем выражении представим более детально первую сумму справа:

$$\begin{aligned}
& P(0)f_1 + (P(0)f_2 + P(1)f_1) + (P(0)f_3 + P(1)f_2 + P(2)f_1) + \dots + \\
& + (P(0)f_{j-1} + P(1)f_{j-2} + \dots + P(j-2)f_1) = \\
& = P(0)(f_1 + f_2 + \dots + f_{j-1}) + \\
& + P(1)(f_1 + f_2 + \dots + f_{j-2}) + \dots + P(j-2)f_1 = \\
& = P(0)\sum_{i=1}^{j-1} f_i + P(1)\sum_{i=1}^{j-2} f_i + \dots + P(j-2)\sum_{i=1}^1 f_i = \\
& = P(0)\left(1 - \sum_{i=j}^{\nu+w} f_i\right) + P(1)\left(1 - \sum_{i=j-1}^{\nu+w} f_i\right) + \dots + P(j-2)\left(1 - \sum_{i=2}^{\nu+w} f_i\right) + \\
& + P(j-1)\left(1 - \sum_{i=1}^{\nu+w} f_i\right).
\end{aligned} \tag{4.13}$$

При выполнении последнего из приведенных преобразований использовалось соотношение  $\sum_{i=1}^{\nu+w} f_i = 1$ . Из предыдущего выражения получаем рекурсивную формулу, связывающую последовательные значения  $P(j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, \nu + w$ . Она имеет вид:

$$\begin{aligned}
& P(j)(j\alpha I(j \leq \nu) + (\nu\mu + (j - \nu)\sigma)I(j > \nu)) = \\
& = \lambda p_f \left( P(0)\sum_{i=j}^{\nu+w} f_i + P(1)\sum_{i=j-1}^{\nu+w} f_i + \dots + P(j-2)\sum_{i=2}^{\nu+w} f_i \right) + \\
& + \lambda P(j-1)(p_f + p_v(1 - b_v)I(j \leq \nu)).
\end{aligned} \tag{4.14}$$

Полученные выше соотношения легко преобразовать в рекурсию для оценки стационарных вероятностей модели и характеристик модели. Приведем основные этапы ее реализации:

1. Задаются численные значения входных параметров модели. Это величины:

$$\lambda, p_v, p_f, b, f_s, s = 1, 2, \dots, b, \mu, \sigma, \nu, w.$$

2. Берем значение  $P(0) = 1$ .

3. Выражаем величины  $P(j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, \nu + w$  через  $P(0)$ , используя рекурсию:

$$P(j) = \frac{\lambda}{j\alpha I(j \leq \nu) + (\nu\mu + (j - \nu)\sigma)I(j > \nu)} \times \\ \times (S(j)p_f + P(j-1)(p_f + p_v(1 - b_v)I(j \leq \nu))). \quad (4.15)$$

где

$$S(j) = P(0) \sum_{i=j}^{\nu+w} f_i + P(1) \sum_{i=j-1}^{\nu+w} f_i + \dots + P(j-2) \sum_{i=2}^{\nu+w} f_i. \quad (4.16)$$

4. Находим величину нормировочной константы  $N$ :

$$N = \sum_{j=0}^{\nu+w} P(j). \quad (4.17)$$

5. Находим нормированные значения вероятностей  $p(j), j = 0, 1, \dots, \nu + w$ :

$$p(i) = \frac{P(j)}{N}. \quad (4.18)$$

6. Производим расчет характеристик обслуживания запросов, поступающих в контакт-центр.

Сформулированная процедура без труда реализуется на любом алгоритмическом языке программирования.

#### **4.9. Оценка показателей качества обслуживания голосовых и файловых заявок**

Воспользуемся построенной моделью и разработанными на ее основе расчетными алгоритмами для решения разного рода задач, относящихся к практическому использованию справочно-информационных служб. Особенностью модели является анализ совместного обслуживания голосовых запросов и запросов в форме файлов. В модели допускается поступление файлов группами случайного размера, а также предусматривается возможность ограниченного ожидания заблокированных файлов. Эту характеристику модели можно интерпретировать как учет старения передаваемой информации. Выясним, как эти особенности формирования и обслуживания поступающих запросов

влияют на показатели качества функционирования справочно-информационных служб.

Рассмотрим модель контакт-центра со следующими фиксированными значениями входных параметров:

$$\begin{aligned}v &= 20; \\ p_v &= 0,8; p_f = 0,2; \\ b &= 3; \\ f_s &= 1/3; \\ s &= 1,2,3; \\ \bar{b} &= 2; \\ b_v &= 0,5;\end{aligned}$$

В качестве единицы времени примем среднее время обслуживания оператором поступившего запроса. Тогда  $\mu = 1; \sigma = 0,2$ . Параметры поступления запросов выбраны так, чтобы потенциальная нагрузка, формируемая каждым из рассматриваемых видов запросов, принимала одинаковое значение. Речь идет о предложенной нагрузке голосового трафика, рассчитываемой из выражения  $\lambda p_v (1 - b_v) h$ , и о предложенной нагрузке поступающих файлов, которая оценивается из соотношения  $\lambda p_f \bar{b} h$ . Здесь  $h$  – среднее время обслуживания запроса равное  $h = \frac{1}{\mu}$ . Обслуживание запросов каждого вида приводит к потенциальному занятию в среднем  $\lambda \cdot 0,4$  операторов.

На рисунках 4.3-4.4 показано изменение  $\pi_v$  и  $\pi_f$  от увеличения потенциальной загрузки оператора  $\rho$ . Величина  $\rho$  определяется из выражения:

$$\rho = \frac{1}{v} \left( \lambda p_v (1 - b_v) h + \lambda p_f \bar{b} h \right). \quad (4.19)$$

Эта величина в процессе вычислений изменялась от 0,5 до 3. При фиксированном значении  $\rho$  находилась величина  $\lambda$ , которая использовалась при расчете показателей обслуживания заявок. Значения характеристик определялись с использованием рекурсии. Величина  $w$  приведена у соответствующих кривых.

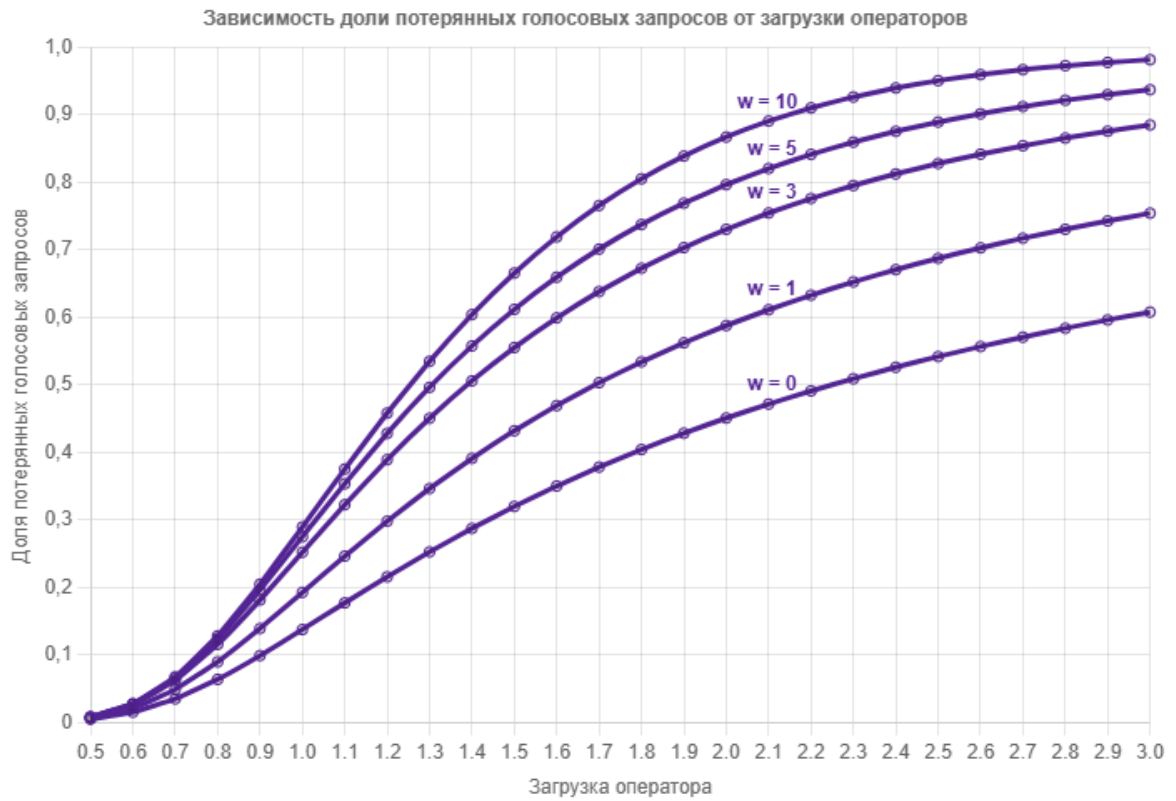


Рисунок 4.3 — Значения доли потерянных голосовых запросов  $\pi_v$  с ростом потенциальной загрузки оператора  $\rho$  и изменением числа мест ожидания  $w$

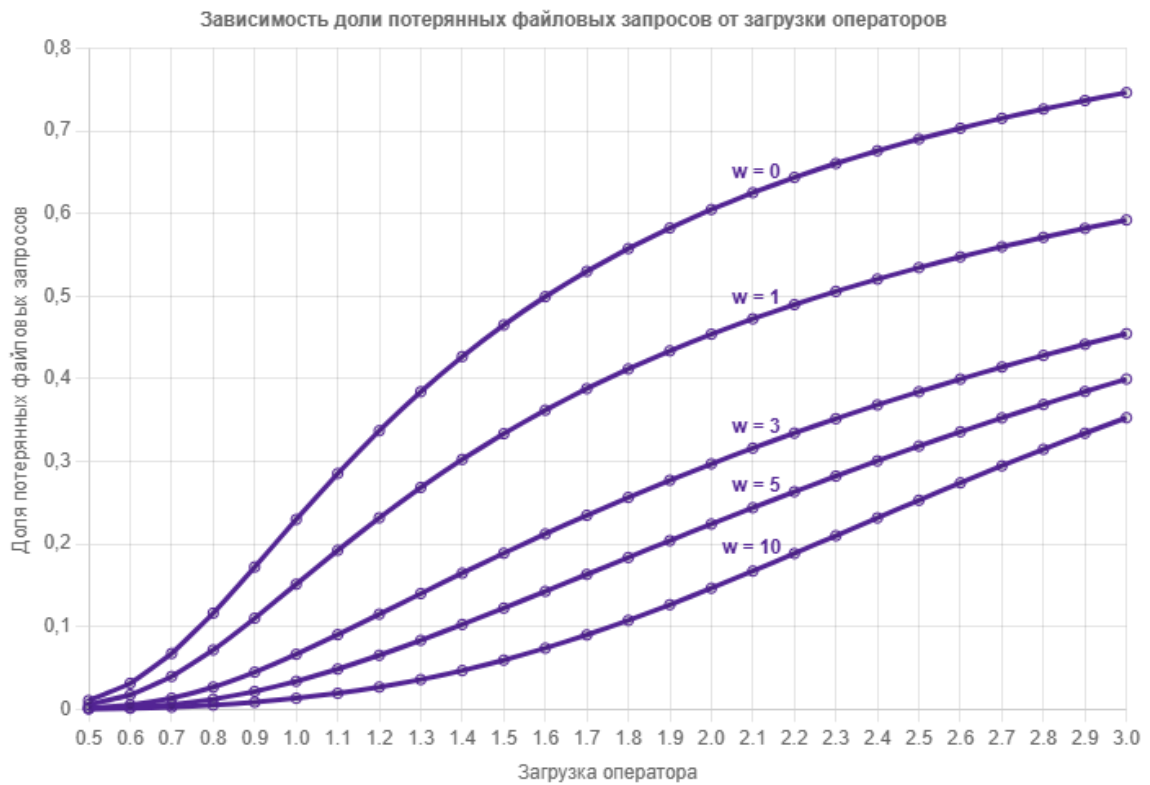


Рисунок 4.4 — Значения доли потерянных файловых запросов  $\pi_f$  с ростом потенциальной загрузки оператора  $\rho$  и изменением числа мест ожидания  $w$



Каждый оператор обслуживает как голосовые запросы, так и запросы, поступившие в форме файлов. Обозначим через  $\delta_v$  и  $\delta_f$  соответственно среднее число голосовых запросов и запросов в форме файлов, обслуженных одним оператором. Эти же характеристики можно интерпретировать как доли времени занятости оператора соответственно на обслуживание голосовых запросов и запросов в форме файлов. Величины  $\delta_v$  и  $\delta_f$  определяются из выражений

$$\delta_v = \frac{m_v}{v}; \quad (4.20)$$

$$\delta_f = \frac{m_f}{v}. \quad (4.21)$$

Анализ результатов расчетов, представленный на рисунках 4.5-4.6, приводит к следующим выводам:

При одинаковой потенциальной нагрузке и отсутствии возможности ожидания потери файлов выше, чем потери голосовых запросов. Этот результат вытекает из учета группового поступления файлов. Отрицательные последствия этого явления нивелируются за счет использования ожидания. Всплески нагрузки файлов гасятся наличием накопителя для заблокированных файлов. Размер буфера, который решает сформулированную задачу примерно равен максимальному числу файлов в поступившей группе. В данном случае это значение определяется из соотношения  $w=3$ . Дальнейшее увеличение буфера становится нецелесообразным.

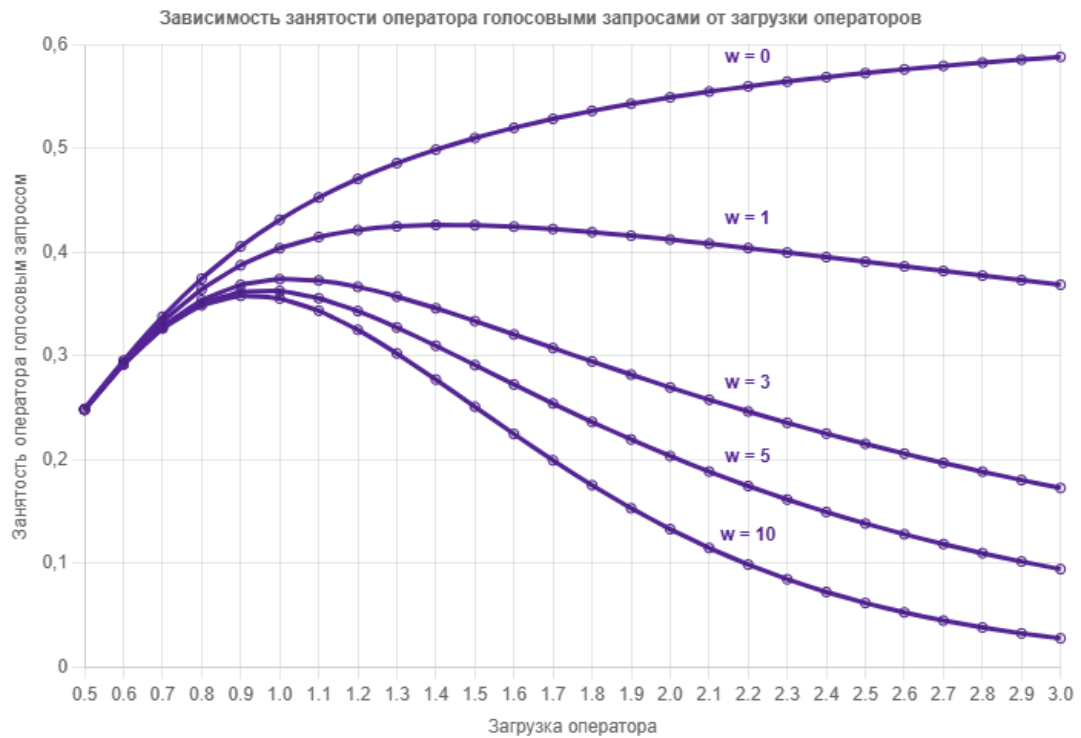


Рисунок 4.5 — Среднее число голосовых запросов  $\delta_v$ , обслуженных одним оператором с ростом потенциальной загрузки оператора  $\rho$  и изменением числа мест ожидания  $w$

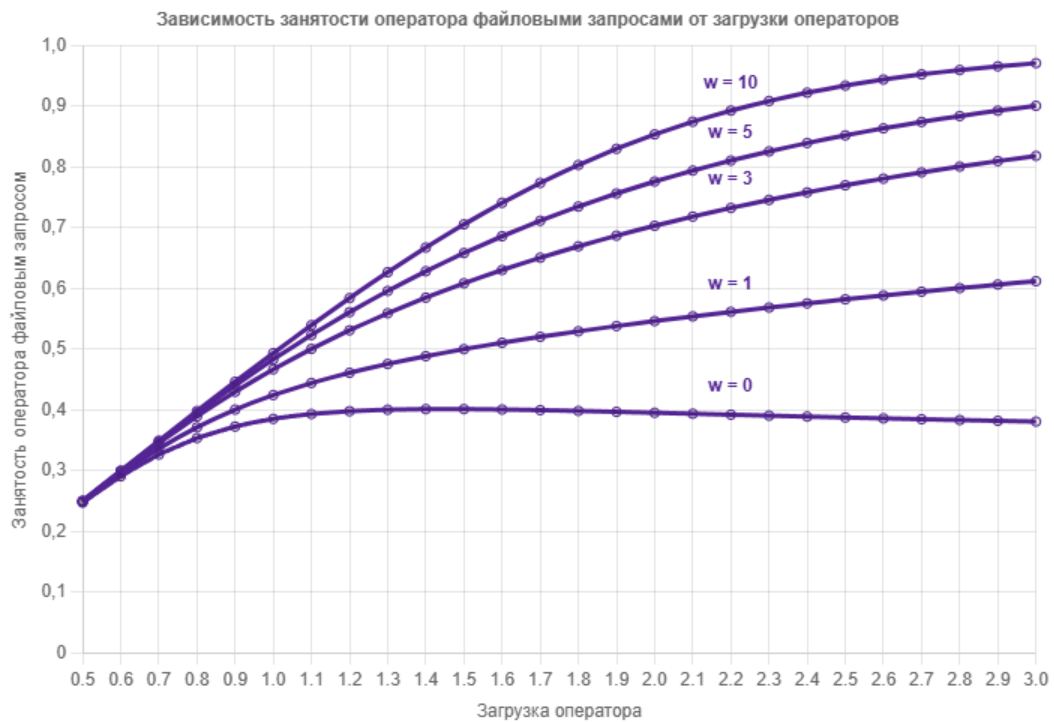


Рисунок 4.6 — Среднее число файловых запросов  $\delta_f$ , обслуженных одним оператором с ростом потенциальной загрузки оператора  $\rho$  и изменением числа мест ожидания  $w$

Использование ожидания увеличивает долю файлов, попавших на обслуживание, уменьшая их потери. Соответственно увеличиваются потери голосовых запросов. Таким образом, применение ожидания для заблокированных файлов можно рассматривать как внесение приоритета в их обслуживание по сравнению с обслуживанием голосовых запросов. Это обстоятельство необходимо учитывать в практических приложениях.

Сформулированные выше выводы подтверждаются данными о занятии оператора обслуживанием голосовых запросов и запросов в форме файлов, представленными на рисунках 4.5-4.6, для тех же значений входных параметров, что были использованы при расчете характеристик, показанных на рисунках 4.3-4.4. Видно, что наибольшие изменения в значениях характеристик наблюдаются для значений  $w$ , лежащих в интервале от 1 до 3. Дальнейшее увеличение накопителя меняет величины  $\delta_v$  и  $\delta_f$  не столь существенно.

Наличие рекурсивных алгоритмов оценки характеристик построенной модели упрощает решение задач планирования необходимого объема инфраструктуры контакт-центров, в которых учитываются особенности формирования и совместного обслуживания голосовых запросов и запросов в виде файлов. Как показывают данные, приведенные на рисунках 4.3-4.4 и рисунках 4.5-4.6, учет группового характера поступления файлов увеличивает долю потерянных файлов. Это приводит к увеличению числа операторов, необходимых для обеспечения заданного уровня потерь, по сравнению со сценарием одиночного поступления файлов с той же потенциальной нагрузкой. На Рисунке 4.7 приведен численный пример, иллюстрирующий это явление.

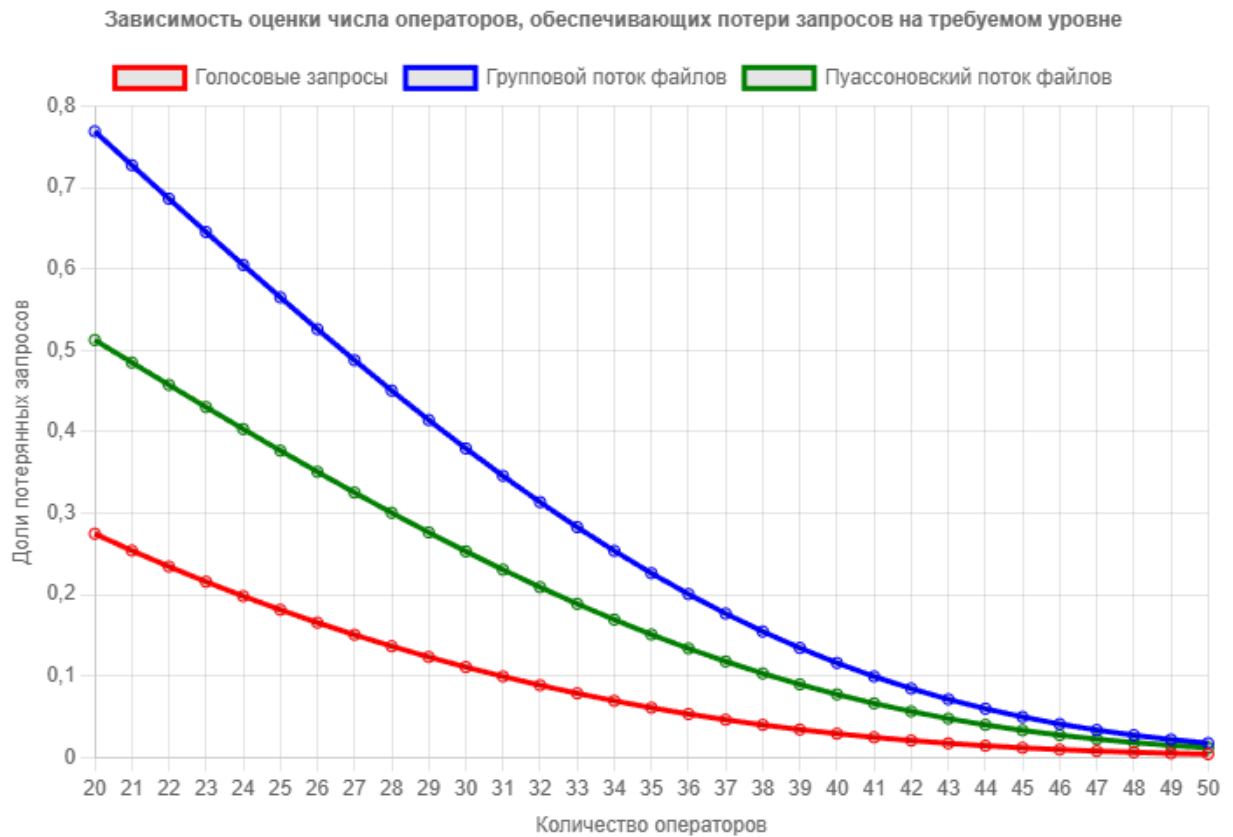


Рисунок 4.7 — Зависимость оценки числа операторов, обеспечивающих потери запросов на уровне 0.05, для разных сценариев формирования входного потока файлов

Параметры модели, использованные при расчетах, принимают значения:

$$\begin{aligned}
 \nu &= 20; \\
 w &= 0; \\
 p_v &= 0,8; p_f = 0,2; \\
 b &= 10; \\
 f_s &= 1/10; \\
 s &= 1, \dots, 10; \\
 \bar{b} &= 5.5; \\
 b_v &= 0,5;
 \end{aligned}$$

В качестве единицы времени примем среднее время обслуживания оператором поступившего запроса. Тогда  $\mu = 1; \sigma = 0,2$ . Для сравнения приведены значения потерь файлов и голосовых запросов в ситуации одиночного поступления файлов с той же потенциальной нагрузкой.

В этой ситуации  $\pi_v = \pi_f$ .

Для модели группового потока файлов требуется 46 операторов. При этом для голосовых запросов, потребуется 36 оператора.

Как уже было сказано, использование возможности ожидания для файлов обеспечивает их приоритетность их обслуживания по сравнению с обслуживанием голосовых сообщений. Этот результат можно наблюдать на рисунках 4.8-4.9, где приведены значения  $\pi_v$  и  $\pi_f$  в зависимости от увеличения числа операторов  $v$ . Рассмотрены два сценария обслуживания файлов: без очереди  $w=0$  и с очередью  $w=10$ .

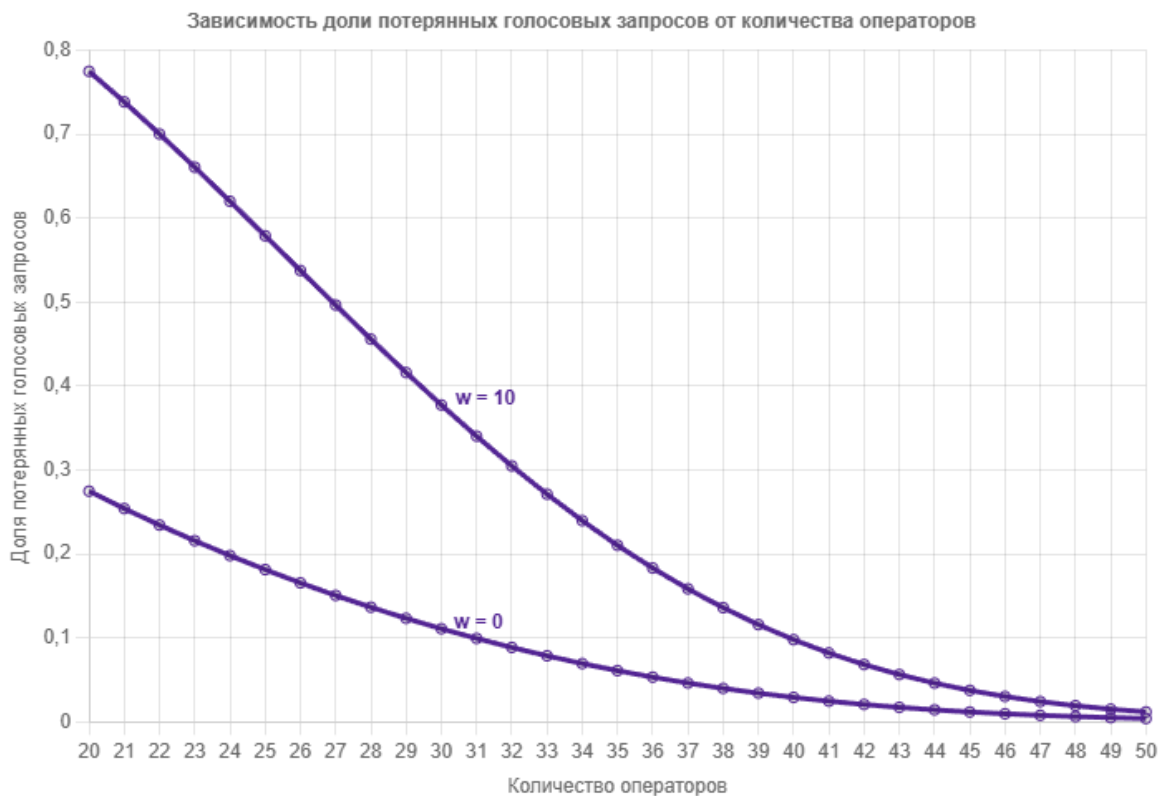


Рисунок 4.8 — Значения доли потерянных голосовых запросов  $\pi_v$  с ростом числа операторов для разных сценариев обслуживания файлов



Рисунок 4.9 — Значения доли потерянных файловых запросов  $\pi_f$  с ростом числа операторов для разных сценариев обслуживания файлов

Из представленных данных видно, что использование ожидания изменило соотношение между значениями  $\pi_v$  и  $\pi_f$  практически на противоположное.

Построенную модель и разработанные на ее основе расчетные алгоритмы можно использовать для оценки влияния от применения чат-ботов для снижения нагрузки на операторов и для оценки максимального потока запросов, который может быть обслужен с требуемым качеством фиксированным числом операторов контакт-центра. Задача оперативного планирования работы справочного узла или выгрузка трафика. Еще одна возможность применения модели заключается в создании условий по дифференцированному обслуживанию поступающих запросов. Задача выравнивания потерь голосовых сообщений и файлов за счет использования возможности ожидания. Результаты решения этой задачи показаны на Рисунке 4.10 для тех же значений параметров, что были использованы при расчете данных, представленных на Рисунке 4.3 и Рисунке 4.4. Регулируемый параметр  $w$ . Решение задачи получено при  $w=3$ .

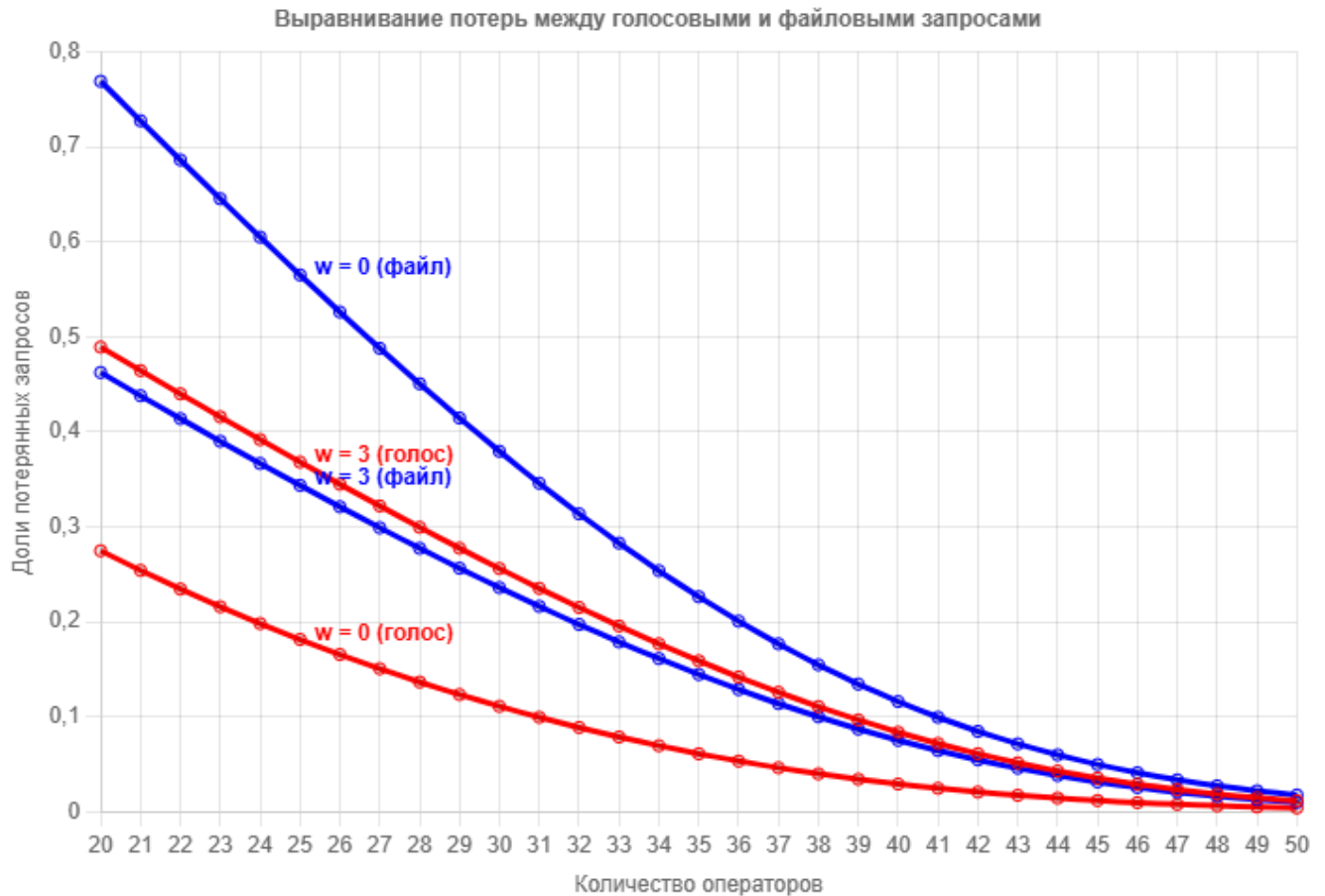


Рисунок 4.10 — Результаты выравнивания значений потерь голосовых запросов и запросов в форме файлов. Решение получено при  $w = 3$

#### 4.10. Выводы по результатам четвертого раздела

1. Разработана и исследована функциональная модель контакт-центра, осуществляющего совместное обслуживание голосовых запросов и запросов в виде файлов. Ключевыми особенностями модели являются: предварительная обработка голосовых запросов роботизированным оператором (чат-бот/IVR), поступление файлов группами случайного размера, наличие ограниченного буфера ожидания для файлов и учет старения информации в файлах, моделируемый экспоненциальным распределением времени ожидания. Данный подход позволяет адекватно отразить специфику современных многоканальных контакт-центров.

2. Состояние системы описывается двумерным марковским процессом, что обусловлено пуассоновским характером входящих потоков и экспоненциальным распределением времен обслуживания и терпения. Такой выбор позволяет применять аналитический аппарат теории марковских процессов для исследования характеристик системы, несмотря на учет таких сложных факторов, как групповое поступление заявок и старение информации.

3. На основе стационарных вероятностей состояний модели получены аналитические выражения для расчета ключевых показателей эффективности. К ним относятся доли потерянных голосовых и файловых запросов, среднее число занятых операторов (с разделением по типам запросов), среднее число файлов в очереди и среднее время ожидания файла. Отдельно вычисляются интенсивности потерь файлов из-за переполнения буфера и из-за старения информации.

4. Для определения стационарных вероятностей состояний модели построена система уравнений равновесия. Высокая размерность пространства состояний компенсируется разработкой эффективного рекурсивного алгоритма расчета вероятностей и итоговых характеристик, что позволяет избежать трудоемкого решения полной системы линейных уравнений и упрощает численную реализацию модели.

5. Проведенные численные эксперименты выявили существенное влияние группового характера поступления файлов и наличия буфера ожидания на показатели качества обслуживания. Показано, что использование очереди ожидания для файлов фактически вводит приоритет их обслуживания над голосовыми запросами, что позволяет нивелировать всплески нагрузки и значительно снизить потери файлов. Установлено, что оптимальный размер буфера ожидания близок к максимальному размеру поступающей группы файлов. Разработанная модель и алгоритмы позволяют решать практические задачи планирования ресурсов контакт-центра, такие как оценка необходимого числа операторов для обеспечения заданного уровня потерь и выравнивание качества обслуживания разнородных потоков запросов.



## 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  
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 проведённого 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.

## Список литературы

1. Абрамов П. А. Модели организации работы служб поддержки. М.: Финансы и статистика, 2015. – 284 с.
2. Абрамова И. А. Контакт-центры: управление и технологии работы. М.: Финансы и статистика, 2017. – 248 с.
3. Архипкина С. Переключи на оператора [Электронный ресурс] // [Com-news.ru](https://www.comnews.ru/digital-economy/content/216707/2021-10-04/2021-w40/pereklyuchi-operatora-pochemu-chat-boty-razdrazhayut-i-kak-etogo-izbezhat) / Режим доступа:  
<https://www.comnews.ru/digital-economy/content/216707/2021-10-04/2021-w40/pereklyuchi-operatora-pochemu-chat-boty-razdrazhayut-i-kak-etogo-izbezhat> (дата обращения: 10.06.2024).
4. Багдасарян И. В. Омниканальный маркетинг и контакт-центры: стратегия и практика. СПб.: Питер, 2021. – 304 с.
5. Баранова Е. С. Эффективность использования многоканальных систем. СПб.: Питер, 2014. – 312 с.
6. Блейк М. Искусство общения с клиентами: как создать лучший контакт-центр. М.: Альпина Паблишер, 2020. – 256 с.
7. Васильев В. М. Оптимизация процессов в службах клиентского обслуживания. Ростов н/Д: Феникс, 2016. – 352 с.
8. Гайдамака Ю. В., Заринова Э. Р., Вихрова О. Г. Применение системы поллинга с исчерпывающей дисциплиной обслуживания к анализу SIP-сервера // Т-Сomm: Телекоммуникации и Транспорт. – 2013. – № 11. – С. 73–76.
9. Гайдамака Ю. В., Заринова Э. Р., Болотова Г. О. Разработка модели функционирования SIP-сервера в виде системы поллинга с дисциплиной

- шлюзового обслуживания // Т-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. — 2013. — № 11. — С. 69–72.
10. Голосовой бот — как работает, с кем конкурирует и какому бизнесу полезен [Электронный ресурс] // [Nic.ru](https://www.nic.ru/info/blog/voice-bot) / Режим доступа: <https://www.nic.ru/info/blog/voice-bot> (дата обращения: 08.03.2024).
  11. Голосовые и обычные чат-боты: как сократить расходы на кол-центр [Электронный ресурс] // [Salesap.ru](https://salesap.ru/blog/golosovye-i-obychnye-chat-boty-kak-sokratit-rashody-na-kol-tsentr) / Режим доступа: <https://salesap.ru/blog/golosovye-i-obychnye-chat-boty-kak-sokratit-rashody-na-kol-tsentr> (дата обращения: 22.04.2024).
  12. Гольдштейн Б. С., Фрейнкман В. А. Call-центры и компьютерная телефония. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 416 с.
  13. Горшкова Е. В. Контакт-центры: технологии и организация работы. М.: Юрайт, 2019. — 312 с.
  14. Грачев А. И. Алгоритмы маршрутизации вызовов в многоканальных контакт-центрах. М.: Инфра-М, 2020. — 276 с.
  15. Григорьев А. И. Управление нагрузкой в организациях массового обслуживания. М.: Экономика, 2017. — 296 с.
  16. Давыдов Д. Р. Модели прогнозирования нагрузки в системах обслуживания. Казань: Изд-во КГЭУ, 2018. — 264 с.
  17. Данилов С. В. Современные технологии омниканального обслуживания клиентов. М.: Юрайт, 2022. — 288 с.
  18. Дибби В. Н. Модели и методы расчета мультисервисных контакт-центров: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. — 150 с.
  19. Доусон К. Руководство по работе в контактном центре: Полное руководство по запуску, управлению и улучшению вашего центра звонков. М.: Вершина, 2011. — 384 с.
  20. Зайцев А. Н. Современные подходы к управлению клиентскими сервисами. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2019. — 320 с.
  21. Законодательные аспекты искусственного интеллекта в контакт-центрах // Юридический вестник. — 2024. — № 2. — С. 15–32.

22. Иванов А. Л. Методы повышения эффективности обслуживания клиентов. М.: Юрайт, 2020. – 276 с.
23. Иванов И. А. Омниканальные технологии в управлении клиентским сервисом. СПб.: Питер, 2022. – 314 с.
24. Иванов И. А., Сидоров П. М. Моделирование массового обслуживания в контакт-центрах: методы и приложения // Вестник Московского государственного технического университета. – 2023. – № 4. – С. 200–215.
25. Иванова О. С. Искусственный интеллект в клиентском сервисе. СПб.: Питер, 2023. – 312 с.
26. Как изменился клиентский сервис в реалиях COVID-19 [Электронный ресурс] // [VC.ru](https://vc.ru/marketing/302539-longrid-kak-izmenilsya-klientskiy-servis-v-realiyah-covid-1) / Режим доступа: <https://vc.ru/marketing/302539-longrid-kak-izmenilsya-klientskiy-servis-v-realiyah-covid-1> (дата обращения: 17.05.2024).
27. Как технологии анализа данных меняют контакт-центры // Журнал бизнес-аналитики. – 2024. – № 1. – С. 78–94.
28. Кливленд Б. Управление контактными центрами на ускоренном ходу: как добиться успеха в современной динамичной среде обслуживания клиентов. М.: Олимп-Бизнес, 2012. – 320 с.
29. Кливленд Б., Харне Д. Управление контактными центрами: Руководство по планированию, внедрению и эксплуатации центров обслуживания клиентов. М.: Вершина, 2008. – 368 с.
30. Когнитивные технологии в обработке клиентских запросов // Журнал «ИТ и управление бизнесом». – 2022. – № 4. – С. 87–104.
31. Кокерелл Л. Правила обслуживания клиентов: 39 основных правил для доставки потрясающего сервиса. М.: Альпина Паблишер, 2015. – 256 с.
32. Коломбо Дж. А., Лукас Р. В. Эффективное управление контактными центрами: Достижение максимальных результатов в опыте обслуживания клиентов. М.: Олимп-Бизнес, 2013. – 400 с.
33. Колчин В. Е. Математическое моделирование процессов обслуживания. М.: Наука, 2016. – 336 с.

34. Корягин А. Эффективный инструмент оптимизации работы контакт-центра [Электронный ресурс] // [Areon.ua](https://areon.ua) / Режим доступа: <https://areon.ua/ru/crm-blogs/koryagin/chat-bot-call-center/> (дата обращения: 30.06.2024).
35. Кто в ответе за последний рубеж техподдержки? [Электронный ресурс] // [CNews.ru](https://cnews.ru) / Режим доступа: [https://www.cnews.ru/articles/kto\\_v\\_otvete\\_za\\_poslednij\\_rubezh\\_tehpodderzhki](https://www.cnews.ru/articles/kto_v_otvete_za_poslednij_rubezh_tehpodderzhki) (дата обращения: 11.06.2024).
36. Лебедев А. П. Сквозная аналитика в контакт-центрах: как измерить эффективность каналов связи // Маркетинг и клиентский сервис. — 2023. — № 7. — С. 33–46.
37. Лебедев В. Ю. Контакт-центры и управление клиентским опытом. СПб.: Питер, 2022. — 328 с.
38. Лебедев С. А. Оптимизация ресурсов в службах поддержки. М.: Инфра-М, 2017. — 288 с.
39. Лебедева Л. А. Контакт-центры: организация и технологии работы. М.: Инфра-М, 2018. — 276 с.
40. Линии технической поддержки [Электронный ресурс] // [Okdesk.ru](https://okdesk.ru) / Режим доступа: <https://okdesk.ru/blog/linii-tekhnicheskoj-podderzhki> (дата обращения: 05.08.2024).
41. Массовый подбор операторов контакт-центра: технологии и подходы // HR & Digital. — 2023. — № 5. — С. 78–92.
42. Мельникова Е. Н., Петров А. В. Прогнозирование нагрузки в контакт-центрах с использованием нейронных сетей // Информационные технологии и моделирование. — 2022. — № 3. — С. 120–136.
43. Моррисон Т. Стандарты обслуживания в цифровую эпоху. СПб.: Питер, 2022. — 312 с.
44. Нейросетевые алгоритмы в контакт-центрах // Журнал «ИТ и управление бизнесом». — 2023. — № 5. — С. 98–112.

45. Новые методы мотивации сотрудников в контакт-центрах // Business & HR. – 2023. – № 3. – С. 44–58.
46. Новые стандарты индустрии контакт-центров в эпоху пандемии COVID-19 [Электронный ресурс] // [Callcenterguru.ru](https://callcenterguru.ru) / Режим доступа: <https://callcenterguru.ru/articles/novyye-standarty-industrii-kontakt-tsentrov-v-epokhu-pandemii-covid19-chast-1> (дата обращения: 19.09.2024).
47. Носова М. Г., Дегтярёва М. В. Построение и анализ модели контакт-центра как системы массового обслуживания // Вестник Академии военных наук. – 2019. – Т. 66, – № 2. – С. 112–117.
48. Обзор методов маршрутизации вызовов в многоканальных контакт-центрах // Журнал телекоммуникаций. 2024. № 4. – С. 88–105.
49. Основы и принципы оптимизации процессов колл-центра [Электронный ресурс] // [Goodok.pro](https://goodok.pro) / Режим доступа: <https://goodok.pro/articles/osnovi-i-printsipi-optimizatsii-protssessov-koll-tsentra> (дата обращения: 03.10.2024).
50. Петренко Д. В. Влияние искусственного интеллекта на клиентский опыт в контакт-центрах. Казань: Изд-во КФУ, 2023. – 280 с.
51. Петрова Н. А. Системы массового обслуживания: теория и практика. М.: Финансы и статистика, 2021. – 304 с.
52. Планкетт Т. Дж. Полное руководство по управлению контактными центром: как разработать, управлять и оценить ваш центр звонков. М.: Олимп-Бизнес, 2010. – 432 с.
53. 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.
54. Попов В. Г., Степанов М. С. Обзор моделей для планирования ресурсов контакт-центра // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – № 10. – С. 55–63.

55. 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.
56. 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 Паблишер, 2022. — С. 49–51.
57. Прогноз развития рынка колл-центров в России [Электронный ресурс] // [Gidmark.ru](https://gidmark.ru) / Режим доступа: <https://gidmark.ru/cat1/prognoz-razvitiya-rynka-koll-centrov-v-rossii> (дата обращения: 25.11.2024).
58. Сидоров В. Л. Методы прогнозирования нагрузки в контакт-центрах. Ростов н/Д: Феникс, 2021. — 270 с.
59. Создание колл-центра [Электронный ресурс] // [Callcenters.by](http://callcenters.by) / Режим доступа: <http://callcenters.by/wiki/call-centers/244-sozdanie-koll-tsentra> (дата обращения: 14.12.2024).
60. Степанов М. С. Косвенная оценка параметров и характеристик обобщенной модели контакт-центра // Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». — 2015. — С. 56–58.
61. Степанов М. С. Определение и свойства входных параметров обобщенной модели контакт-центра // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2015. — Т. 9, № 7. — С. 25–30.
62. Степанов М. С. Оценка характеристик работы контакт-центра с использованием итерационных методов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2019. — Т. 8, № 7. — С. 188–192.



63. Степанов М. С. Планирование числа операторов и линий доступа в современных контакт-центрах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – Т. 8, № 8. – С. 89–91.
64. Степанов М. С. Принципы организации работы контакт-центров нового поколения // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». – 2019. – С. 52.
65. Степанов М. С. Разработка и анализ обобщенной модели обслуживания вызовов в перспективных контакт-центрах: дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. – 153 с.
66. 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.
67. Сусану С. Исследование рынка и аудитории: как правильно определить потребности клиентов [Электронный ресурс] // [VC.ru](https://vc.ru) / Режим доступа: <https://vc.ru/u/1441806-sergey-susanu/638397-issledovanie-rynka-i-auditorii-kak-pravilno-opredelit-potrebnosti-klientov> (дата обращения: 10.01.2025).
68. Туманбаева К. Х., Лещинская Э. М. Анализ функционирования распределенных контакт-центров различной архитектуры // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2014. – № 2. – С. 45–50.
69. Тургунов А. М., Зохилов К. Р. Анализ архитектуры и модели функционирования Web контакт-центров // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 8–2. – С. 123–126.
70. Чернецкий В. Как текстовые и голосовые чат-боты стали драйвером роста прибыли банков [Электронный ресурс] // [RB.ru](https://rb.ru) / Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/text-voice-bot-banking> (дата обращения: 28.02.2025).

71. Шабанов В. Чат-боты [Электронный ресурс] // [Mindbox.ru](https://mindbox.ru) / Режим доступа: <https://mindbox.ru/blog/education/chat-boty/#chatbot> (дата обращения: 09.03.2025).
72. AI and Bias in Customer Service Automation // IEEE Transactions on AI Ethics. – 2022. – V. 8. – No. 2. – P. 45–61.
73. Andersson A., Svensson P. Queue Management Strategies in Call Centers // European Journal of Operational Research. – 2023. – V. 299. — No. 3. – P. 220–235.
74. Andersson A., Svensson P. Telecommunications and Service Quality: Case Studies in Modern Call Centers // European Journal of Operational Research. – 2022. – V. 298. — No. 3. – P. 240–256.
75. Brown K., Miller J. The Future of AI in Customer Service. Harvard Business Press, 2024. – 310 p.
76. Brown K., Taylor J. Modeling Call Center Performance: New Trends and Challenges // Journal of Telecommunications Management. – 2024. – V. 18. — No. 3. – P. 119–135.
77. Chatbot Market by Component, Type, Application, Channel Integration, Business Function, Vertical, and Region [Электронный ресурс] // [Marketsandmarkets.com](https://www.marketsandmarkets.com) / Режим доступа: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-advisor-market-72302363.html> (дата обращения: 21.03.2025).
78. Ethics in AI-powered Customer Service // AI Ethics Journal. – 2023. – V. 9. — No. 1. – P. 67–83.
79. GDPR and Call Centers: Compliance Strategies // Journal of Data Protection. – 2022. – V. 14. — No. 3. – P. 112–128.
80. Gupta S., Sharma M. Queue Management in Contact Centers: A Simulation Approach // International Journal of Information Technology & Decision Making. – 2023. – V. 22. — No. 4. – P. 67–82.
81. Hansen L., Johnson D. Training Call Center Agents: Best Practices & Trends. London: Oxford Business Press, 2023. – 280 p.

82. Harris K., Anderson M. Ethics and AI in Call Centers // *AI Ethics Journal*. – 2024. – V. 10. — No. 1. – P. 67–83.
83. Harris K., Patel M. Omnichannel Strategies in Customer Service: Challenges and Solutions // *Journal of Customer Experience*. – 2023. – V. 15. — No. 1. – P. 89–104.
84. Hassan N. A., Abdallah N. M. S., Attwa R. A. Optimizing multi-skill call center staffing using queuing models: A study of service level // *Journal of Applied Research and Technology*. – 2024. – V. 22. — No. 3. – P. 88–101.
85. Hassan N., Patel K. AI Chatbots vs. Human Agents: A Comparative Study // *Journal of Service Operations*. – 2024. – V. 18. — No. 2. – P. 95–112.
86. Henderson P. *Customer Service Analytics in the Digital Age*. London: Oxford Business Press, 2023. – 298 p.
87. Henderson P. *Speech Recognition and Automation in Call Centers*. London: Oxford Business Press, 2023. – 288 p.
88. Johnson D., Gupta S. Remote Work and Call Center Efficiency // *Journal of Business Management*. – 2024. – V. 25. — No. 2. – P. 54–69.
89. Johnson R., Taylor M. *AI and Contact Centers: The Next Evolution*. NY: McGraw-Hill, 2023. – 340 p.
90. Johnson R., Williams D. Emerging Technologies in Contact Centers: Impact on Operations // *Journal of Service Management*. – 2024. – V. 35. — No. 2. – P. 100–115.
91. Jouini O., Benjaafar S., Lu B., Li S., Legros B. Appointment-driven Queueing Systems with Non-Punctual Customers // *Queueing Systems*. – 2022. – V. 101. — No. 1. – P. 1–56.
92. Kumar R., Singh A. Advances in Call Center Analytics: A Comprehensive Review // *Telecommunication Systems*. – 2022. – V. 28. — No. 4. – P. 78–92.
93. Lee J., Park S. Dynamic Resource Allocation in Multi-Skill Call Centers // *Journal of Operational Research Society*. – 2022. – V. 73. — No. 6. – P. 150–164.

94. Li W., Chen H. AI-Powered Predictive Analytics for Call Centers // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2024. – V. 27. — No. 1. – P. 12–28.
95. Li W., Chen H. Forecasting Call Center Workload Using Machine Learning // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2023. – V. 25. — No. 2. – P. 35–48.
96. 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.
97. Number of digital voice assistants in use worldwide from 2019 to 2024 [Электронный ресурс] // [Statista.com](https://www.statista.com/statistics/973815/worldwide-digital-voice-assistant-in-use) / Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/973815/worldwide-digital-voice-assistant-in-use> (дата обращения: 12.02.2025).
98. 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.
99. Rajagopal S. The Role of AI in Customer Support Services. NY: Harvard Press, 2023. – 260 p.
100. Rajagopal S., Brown J. AI-Powered Customer Support: The Future of Call Centers // Journal of Artificial Intelligence & Business Strategy. – 2023. – V. 12. — No. 1. – P. 45–60.
101. 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.
102. Singh A., Gupta R. Machine Learning in Customer Service Optimization // Telecommunication Systems. – 2023. – V. 30. — No. 2. – P. 88–102.

103. Smith J., Zhang Y. Priority Queueing Systems: Modeling and Analysis // Operations Research. – 2022. – V. 30. — No. 4. – P. 112–126.
104. Smith R., Zhang W. Predictive Analytics in Call Centers: Enhancing Customer Experience // Journal of Service Research. – 2022. – V. 24. — No. 3. – P. 201–215.
105. Stanley J., Saltzman R. M., Mehrotra V. Improving Call Center Operations Using Performance-Based Routing Strategies // Journal of Supply Chain and Operations Management. – 2022. – V. 6. — No. 1. – P. 24–32.
106. 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.
107. Stepanov M. S., Popov V. G., Fedorova N. K., Kroshin F. S. The developing of chatbot for university and college admission // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 16, № 10. – С. 51–56.
108. Taylor J., Gupta R. Evolution of Contact Centers in the Digital Age // European Journal of Business & IT. – 2022. – V. 18. — No. 2. – P. 122–138.
109. Taylor R., Wilson P. AI-Driven Customer Service: Challenges and Opportunities // Journal of Business Analytics. – 2024. – V. 21. — No. 1. – P. 45–62.
110. The Impact of Remote Work on Contact Center Efficiency // Journal of Business Analytics. – 2022. – V. 25. — No. 2. – P. 54–69.
111. Wang T., Li X. The Role of Machine Learning in Call Centers: Trends and Future Prospects // IEEE Transactions on AI & Customer Service. – 2023. – V. 19. — No. 4. – P. 99–115.
112. Wang T., Li X. Voice Recognition Technologies in Call Centers // IEEE Transactions on Speech Processing. – 2023. – V. 19. — No. 3. – P. 110–125.
113. Wang T., Zhou L. AI-Powered Call Centers: Enhancing Customer Experience // IEEE Transactions on Services Computing. – 2023. – V. 16. — No. 5. – P. 45–59.

114. Wills B. Call Center Management: Recruiting and Retention Strategies. NY: Harvard Press, 2023. – 290 p.
115. Wilson P. The Science of Customer Satisfaction: Practical Strategies for Call Centers. NY: McGraw-Hill, 2023. – 320 p.
116. Xu Y., Li Z. Multi-channel Call Center Efficiency: An Empirical Study // Journal of Service Research. – 2021. – V. 24. — No. 2. – P. 203–219.
117. Xu Y., Park S. Customer Satisfaction Trends in Omnichannel Contact Centers // Service Science. – 2023. – V. 15. — No. 3. – P. 176–192.
118. Zhang P., Lee J. Digital Transformation in Contact Centers // Journal of Customer Engagement. – 2024. – V. 22. — No. 4. – P. 215–230.
119. Zhang P., Liu Y. Customer Satisfaction in Call Centers: A Review of Key Factors // Service Science. – 2021. – V. 13. — No. 2. – P. 89–103.
120. Zhang W., Patel M. Machine Learning and Call Center Efficiency. Cambridge: MIT Press, 2023. – P. 290.

## Приложение 1



Общество с ограниченной ответственностью  
«Научно-Технический Центр АРГУС»  
**Почтовый адрес:** 197198, г. Санкт-Петербург,  
ул. Красного Курсанта, д. 25, лит. Ж  
**Юридический адрес:** 191028,  
г. Санкт-Петербург, ул. Пестеля, д. 7  
**ИНН** 7841364714  
**КПП** 784101001  
**ОГРН** 1077847466597  
**Тел.:** +7-812-333-36-60  
**E-mail:** [office@argustelecom.ru](mailto:office@argustelecom.ru)  
**URL:** [www.argustelecom.ru](http://www.argustelecom.ru)

Утверждаю  
Генеральный директор  
ООО «НТЦ АРГУС»



03.03.2025

### АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы  
Валентина Геннадьевича Попова «Разработка модели контакт-центра с учетом  
дифференциации по типам доступа»  
Комиссия в составе:

- генеральный директор, д.т.н. Гольдштейн А.Б.
- руководитель направления – Петровский Н.О.
- бизнес-аналитик, к.т.н. Кисляков С.В.

настоящим актом подтверждает, что результаты диссертационной работы Валентина Геннадьевича Попова «Разработка модели контакт-центра с учетом дифференциации по типам доступа», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, применены в ООО «НТЦ АРГУС» при разработке системы управления контакт-центрами «Аргус WFM-CC», что позволило повысить эффективность оценки количества операторов, необходимое для обслуживания поступающего потока клиентских запросов с заданным качеством.

При разработке был использован следующий новый научный результат из диссертации Попова В.Г.:

оценка числа операторов, проведенная с использованием разработанной математической модели контакт-центра, учитывающей возможность предварительного обслуживания клиентского запроса посредством чат-бота, показывает значительный выигрыш по сравнению с классическими моделями. Необходимое количество операторов сокращается до трёх раз в зависимости от значения входных параметров.

Данная оценка напрямую влияет на планирование смен и количества сотрудников контакт-центра на линии, что является одной из основных задач системы Аргус-WFM-CC.

Члены комиссии:

Гольдштейн А.Б.

Петровский Н.О.

Кисляков С.В.



## Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО  
РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ордена Трудового Красного Знамени  
федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И  
ИНФОРМАТИКИ»  
(МТУСИ)



MINISTRY OF DIGITAL  
DEVELOPMENT,  
COMMUNICATIONS  
AND MASS MEDIA OF  
THE RUSSIAN FEDERATION

MOSCOW TECHNICAL  
UNIVERSITY  
OF COMMUNICATIONS  
AND INFORMATICS  
(MTUCI)

ул. Авиамоторная, д. 8а, Москва, 111024,  
www.mtuci.ru; mtuci.rf; e-mail: kanc@mtuci.ru  
Телефон (495) 957-77-31; факс (495) 957-77-36

ОГРН 1027700117191; ИНН/КПП 7722000820/772201001; ОКПО 01179952;  
ОКВЭД 85.22, 46.19, 58.19, 61.10, 68.32, 72.19, 85.21, 85.23, 85.42.9, 71.20, 33.13, 26.60 ; ОКТМО 45388000

06.11. 2025 № 3853/02-17

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель проректора МТУСИ по учебной  
работе

*Е.В. Краснов* Краснов Е.В.

АКТ

об использовании результатов диссертационной работы  
Попова Валентина Геннадьевича

«Разработка модели контакт-центра с учетом дифференциации по типам доступа»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, в учебном  
процессе по кафедре «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ

Комиссия в составе: председатель – зав. кафедрой СС и СК, профессор Степанов  
С.Н. члены – доцент Маликова Е.Е. и доцент Данилов А.Н. составили настоящий акт в том,  
что результаты диссертационной работы:

- математическая модель совместного обслуживания голосовых и файловых запросов в контакт-центре, учитывающая особенности современных справочно-информационных систем, в том числе, групповое поступление файлов случайного размера, возможность ожидания файлов и время старения информации;
- математическая модель контакт-центра, учитывающая время обслуживания клиентского запроса чат-ботом, а также её частный случай, рассматривающий автоматизированную обработку запросов как процедуру просеянной нагрузки; методики оценки характеристик данных моделей, основанные на решении системы линейных уравнений равновесия методом Гаусса-Зейделя, и методах линейной алгебры;
- программа для исследования характеристик гибридной системы обслуживания запросов с участием чат-бота и операторов в условиях ограниченных ресурсов.

использованы в учебно-исследовательской работе бакалавров и магистров кафедры СС и СК, при преподавании дисциплин «Математическое моделирование устройств и систем» и «Телетрафик мультисервисных сетей».

Председатель комиссии:  
Члены комиссии:

*Степанов С.Н.*  
*Маликова Е.Е.*  
*Данилов А.Н.*

Степанов С.Н.  
Маликова Е.Е.  
Данилов А.Н.