

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра системного анализа и
автоматического управления

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОЛЛ-ЦЕНТРА
С НЕТЕРПЕЛИВЫМИ КЛИЕНТАМИ
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 481 группы
направления 27.03.03 — Системный анализ и управление
факультета компьютерных наук и информационных технологий
Душановой Екатерины Васильевны

Научный руководитель
доцент, к. ф.-м. н.

Е. С. Рогачко

Заведующий кафедрой
к. ф.-м. н., доцент

И. Е. Тананко

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

Успешное функционирование колл-центров является важным аспектом для компаний, оказывающих услуги обслуживания клиентов. В последнее время наблюдается растущее количество исследований, которые посвящены проблемам, возникающим при функционировании колл-центров, но для колл-центров, учитывающих нетерпеливость клиентов, проведено очень мало исследований. Существуют две основные категории научных статей в этой области. Первая категория включает работы, в которых рассматривается функционирование колл-центра без учета нетерпеливости клиентов [1-3]. Работы второй категории посвящены исключительно исследованиям колл-центров, учитывающих нетерпеливость клиентов. В эту категорию входит и настоящая бакалаврская работа. Для построения модели колл-центра, учитывающей нетерпеливость клиентов, использовались смешанные системы массового обслуживания. Основной задачей моделирования колл-центра при заданных параметрах является нахождение основных характеристик функционирования системы.

Цель бакалаврской работы – исследование работы колл-центра с нетерпеливыми клиентами.

Поставленная цель определила **следующие задачи**:

1. изучить системы массового обслуживания с различными ограничениями на длину очереди и на время пребывания требований в системе и в очереди;
2. определить наилучшую математическую модель колл-центра;
3. разработать программу, позволяющую находить основные характеристики функционирования модели колл-центра с нетерпеливыми клиентами;
4. провести численные эксперименты с программой и использовать результаты моделирования для решения задач анализа и оптимизации работы колл-центра.

Методологические основы исследования работы колл-центров с нетерпеливыми клиентами представлены в работах М.Г. Носовой, М.В. Дегтярёвой [4], В.А. Дудиной, А.М. Журко, М.С. Степанова [5], O. Garnett, A. Mandelbaum, M. Reiman [6], S. Zeltyn, A. Mandelbaum [7], H. Takagi, Y. Taguchi [8].

Практическая значимость бакалаврской работы. Была разработана программа для моделирования колл-центра с нетерпеливыми клиентами. Программа позволяет находить основные характеристики колл-центра с заданными параметрами. Программа может использоваться для решения задач анализа и оптимизации внутренних процессов работы колл-центра.

Структура и объем работы. Бакалаврская работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объем работы — 55 страниц, из них 45 страниц — основное содержание, включая 17 рисунков и 3 таблицы, список использованных источников информации — 25 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Описание работы колл-центра с нетерпеливыми клиентами» содержит описание структуры колл-центра, а также классификацию колл-центров по типу обрабатываемых вызовов.

Рассматривается процесс обработки входящих вызовов в колл-центре при ограничении на число мест в очереди (рисунок 1).



Рисунок 1 – Процесс обработки входящего вызова в колл-центре с нетерпеливыми клиентами

Процесс обработки входящего вызова предполагает, что клиент, позвонивший в колл-центр в момент, когда все операторы заняты обслуживанием, становится в очередь при условии, что количество входящих вызовов в очереди не превышает установленного ограничения. Если число уже находящихся в очереди вызовов достигло этого ограничения, то поступающий входящий

вызов будет заблокирован, и клиенту будет сообщено об этом. Находясь в очереди и ожидая ответа оператора, клиент может проявить нетерпеливость и прервать вызов до начала обслуживания. Если такой ситуации не произошло и клиент дождался своей очереди, ему будет предоставлена возможность общения с оператором. После завершения разговора с оператором вызов покидает систему.

В данном разделе также рассматривается случай, при котором операторы колл-центра, помимо обслуживания входящих вызовов, могут выполнять и другие задачи. Поэтому после завершения обработки одного вызова оператор может не быть готов к принятию следующего, поскольку ему необходимо выполнить дополнительную работу. Например, это может быть административная работа, связанная с поддержкой системы колл-центра, включающая в себя внесение информации о вызовах в систему, обновление статистики обслуживания.

Далее в разделе приводятся международные стандарты для основных характеристик функционирования колл-центра.

Второй раздел «Основная модель колл-центра с нетерпеливыми клиентами» посвящен описанию модели массового обслуживания для колл-центра с нетерпеливыми клиентами.

В качестве основной модели колл-центра рассматривается смешанная система массового обслуживания $M/M/N/K$. Максимальное количество входящих вызовов, одновременно находящихся в очереди, ограничено числом $K = B - N$, где N – общее число операторов колл-центра, а B – максимальное количество входящих вызовов в системе. Входящий поток поступления вызовов является пуассоновским с интенсивностью λ , а длительности обслуживания одного вызова одним оператором имеют экспоненциальное распределение с параметром μ . Также в модели учитывается отказ от обслуживания по причине нетерпеливости клиента.

Подраздел 2.1 посвящен математическому описанию и вычислению характеристик системы $M/M/N/K$, в которой число вызовов в очереди ограничено, в то время как на длительность пребывания вызова в очереди ограничения не накладываются [9]. В подразделе приводятся формулы стационарных вероятностей состояний и основных характеристик функционирования системы.

Подраздел 2.2 посвящен математическому описанию и вычислению характеристик системы $M/M/N/K$, в которой число вызовов и длительность пребывания требования в очереди ограничены.

Особенность данной системы заключается в том, что всякое вновь поступившее требование, застав все приборы уже занятыми обслуживанием, покидает систему, если уже имеется очередь, в которой находится не менее K требований, и если его длительность ожидания обслуживания в очереди больше некоторой длительности w – экспоненциально распределенной случайной величины со средним значением \bar{w} .

В подразделе приводятся формулы стационарных вероятностей состояний и основных характеристик функционирования системы:

1. Вероятность того, что k приборов заняты обслуживанием,

$$P_k = \frac{\alpha^k}{k!} P_0, \quad 0 \leq k \leq N,$$

где $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$.

2. Вероятность того, что все приборы заняты обслуживанием и s требований находится в очереди,

$$P_{N+s} = \frac{\frac{\alpha^{N+s}}{N!}}{\prod_{m=1}^s (N + m\beta)} P_0, \quad 1 \leq s \leq K,$$

где $\beta = \frac{\nu}{\mu}$.

3. Вероятность того, что все обслуживающие приборы свободны и в системе нет ни одного требования,

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^N \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^N}{N!} \sum_{s=1}^K \frac{\alpha^s}{\prod_{r=1}^s (N+r\beta)}}.$$

4. Среднее число приборов, занятых обслуживанием,

$$\bar{h} = \sum_{k=1}^N k P_k + N \sum_{s=1}^K P_{N+s}.$$

5. Вероятность обслуживания требования

$$P_{ser} = \frac{\mu^- \bar{h}}{\lambda}.$$

6. Вероятность отказа в обслуживании требования

$$P_{ab} = 1 - P_{ser}.$$

Третий раздел «Модель колл-центра с нетерпеливыми клиентами и дополнительной работой операторов» содержит описание модели колл-центра, учитывающей не только нетерпеливость клиентов, но и дополнительную работу операторов.

В подразделе 3.1 рассматривается система массового обслуживания $M/M/N/B$, где N – количество обслуживающих приборов – представляет общее количество операторов колл-центра. Максимальное количество входящих вызовов, которые могут одновременно находиться в системе, ограничено значением B . Входящий поток вызовов является пуассоновским, длительность интервалов между последовательным поступлением вызовов имеет экспоненциальное распределение с параметром λ . Дисциплина обслуживания $FCFS$. Длительность обслуживания входящего вызова одним оператором является случайной величиной v и имеет экспоненциальное распределение с параметром μ . Длительность выполнения необходимой дополнительной работы оператором после завершения обслуживания вызова является случайной величиной a и распределена по экспоненциальному закону с параметром σ . Находясь в очереди, клиент может проявить нетерпеливость и отказаться от обслуживания до того, как его соединят с оператором. Длительность интервала времени до момента отказа от обслуживания и ухода из системы имеет экспоненциальное распределение с параметром θ .

Пусть $S(t)$ – количество входящих вызовов, находящихся в системе, и пусть $A(t)$ – количество операторов колл-центра, выполняющих дополнительную работу после вызова, в момент времени t . Тогда двумерный процесс $\{(S(t), A(t)), t \geq 0\}$, описывающий функционирование системы, представляет собой непрерывный марковский процесс, где $0 \leq S(t) \leq B$ и $0 \leq A(t) \leq N$.

Обозначим стационарные вероятности состояний системы

$$P_{ij} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{S(t) = i, A(t) = j\}, \quad 0 \leq i \leq B, \quad 0 \leq j \leq N.$$

Через (i, j) обозначается состояние системы $\{S(t) = i, A(t) = j\}$, при котором количество операторов колл-центра, занятых обслуживанием, равно $\min(i, N - j)$, а количество входящих вызовов, находящихся в очереди и ожидающих обслуживания, равно $i - \min(i, N - j) = \max(0, i - N + j)$.

В подразделе 3.2 приводятся система линейных алгебраических уравнений для нахождения стационарного распределения вероятностей состояний и формулы основных характеристик функционирования системы:

1. Вероятность блокировки входящего вызова

$$P_b = \sum_{j=0}^N P_{Bj}.$$

2. Вероятность ожидания обслуживания

$$P_w = \begin{cases} \sum_{j=0}^N \sum_{i=N-j}^{B-1} \hat{P}_{ij}, & B \geq N, \\ \sum_{i=0}^{B-1} \sum_{j=N-i}^N \hat{P}_{ij}, & B < N, \end{cases}$$

где \hat{P}_{ij} – условная вероятность того, что при поступлении входящего вызова система находится в состоянии (i, j) при условии, что вызов не будет заблокирован,

$$\hat{P}_{ij} = \frac{P_{ij}}{1 - P_b}, \quad 0 \leq i \leq B - 1, 0 \leq j \leq N.$$

3. Среднее число входящих вызовов в очереди

$$\bar{b} = \begin{cases} \sum_{j=0}^N \sum_{i=N-j}^B (i + j - N) P_{ij}, & B \geq N, \\ \sum_{i=0}^B \sum_{j=N-i}^N (i + j - N) P_{ij}, & B < N. \end{cases}$$

4. Среднее время ожидания обслуживания в очереди

$$\bar{w} = \frac{\bar{b}}{\lambda(1 - P_b)}.$$

5. Вероятность отказа от обслуживания

$$P_{ab} = \theta \bar{w}.$$

6. Среднее число входящих вызовов, находящихся на обслуживании,

$$\bar{c} = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-1} \left[\sum_{i=0}^{N-j-1} iP_{ij} + \sum_{i=N-j}^B (N-j)P_{ij} \right], & B \geq N, \\ \sum_{i=0}^B \left[\sum_{j=0}^{N-i-1} iP_{ij} + \sum_{j=N-i}^N (N-j)P_{ij} \right], & B < N. \end{cases}$$

7. Вероятность успешного обслуживания

$$P_{ser} = \frac{\mu \bar{c}}{\lambda(1 - P_b)}.$$

Четвертый раздел «Описание алгоритма и программы для анализа колл-центра с нетерпеливыми клиентами» содержит описание разработанных алгоритма и программы.

В подразделе 4.1 описывается алгоритм метода анализа модели колл-центра с нетерпеливыми клиентами. Алгоритм состоит из пяти блоков.

В первом блоке выбирается вид колл-центра с нетерпеливыми клиентами (с учетом дополнительной работы операторов или без учета).

Во втором блоке вводятся параметры системы в зависимости от сделанного выбора в блоке 1.

В третьем блоке выполняется проверка корректности введенных данных.

В четвертом блоке вычисляются характеристики функционирования колл-центра в зависимости от сделанного выбора в блоке 1.

В пятом блоке выводятся основные характеристики функционирования колл-центра.

В подразделе 4.2 описывается структура программы. Приводятся описание модулей, методов и функций, а также список основных идентификато-

ров, используемых в программе.

В подразделе 4.3 на примерах поясняются правила использования программы, описывается вид окон программы с исходными данными и результатами вычислений. Программный код написан на языке Python в интегрированной среде разработки PyCharm. Программа имеет оконный интерфейс.

Пятый раздел «Результаты исследования работы колл-центра с нетерпеливыми клиентами» содержит описание проведенных исследований зависимости различных характеристик функционирования колл-центра от изменения исходных параметров.

По результатам исследования были сделаны следующие основные выводы:

1. при увеличении числа операторов среднее число входящих вызовов, ожидающих обслуживания в очереди, уменьшается, в то время как число свободных операторов, наоборот, увеличивается, что может привести к большому значению коэффициента простоя операторов;
2. число операторов можно менять динамически в течение рабочего дня в зависимости от значения интенсивности потока входящих вызовов, то есть возможен гибкий график работы операторов;
3. с увеличением длительности выполнения дополнительной работы в рамках принятых стандартов среднее число входящих вызовов в очереди и вероятность отказа от обслуживания увеличиваются, но незначительно;
4. при изменении интенсивности входящего потока вызовов увеличение длительности выполнения дополнительной работы после вызова может значительно повлиять на то, соответствует ли исследуемая характеристика принятым стандартам[10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе была рассмотрена и изучена математическая модель колл-центра, способная учитывать нетерпеливость клиентов. Помимо основной модели также был рассмотрен ее частный случай, учитывающий дополнительную работу операторов после обслуживания вызова.

Был разработан алгоритм метода анализа работы колл-центра с нетерпеливыми клиентами. Программная реализация разработанного алгоритма была написана на языке программирования Python в интегрированной сре-

де разработки PyCharm. Данная программа позволяет выбрать вид колл-центра, задать параметры и получить основные характеристики функционирования в зависимости от выбора вида колл-центра.

Программа может использоваться для определения основных характеристик функционирования колл-центра при заданных параметрах. Данные, полученные в результате работы программы, применимы для разработки стратегий оптимизации процессов в колл-центре, а также для оценки эффективности внедренных изменений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Зарубин, А.А. Call- и контакт-центры: эволюция технологий и математических моделей / А.А. Зарубин // Вестник связи. – 2003. – № 2. – С. 85-89.
- 2 Armony, M. Customer contact centers with multiple service channels / M. Armony, C. Maglaras // Operations Research. – 2004. – V. 52. –№ 2. –P. 271-292.
- 3 Пшеничников, А.П. Обобщенная модель call-центра / А.П. Пшеничников, М.С. Степанов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Т. 15. – С. 125-129.
- 4 Носова, М.Г. Построение и анализ модели контакт-центра как системы массового обслуживания с многоуровневыми IVR и нетерпеливыми запросами / М.Г. Носова, М.В. Дегтярёва // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 9. – С. 101-106.
- 5 Дудина, В.А. Модель контакт-центра с учетом навыков операторов и нетерпеливости абонентов / В.А. Дудина, А.М. Журко, М.С. Степанов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Том 11. № 12. – С. 43-68.
- 6 Garnett, O. Designing a Call Center with Impatient Customers / O. Garnett, A. Mandelbaum, M. Reiman // Manufacturing and Service Operations Management. –2002. –V. 4. –P. 208–227.
- 7 Mandelbaum, A. Staffing Many-Server Queues with Impatient Customers: Constraint Satisfaction in Call Centers / S. Zeltyn, A. Mandelbaum // Operations Research. –2009. –V. 57. –№ 5. –P. 1189–1205.
- 8 Takagi, H. Analysis of a queueing model for a call center with impatient

- customers and after-call work / Н. Takagi, Y. Taguchi // International Journal of Pure and Applied Mathematics. — 2013. –V. 90. – P. 205 — 239.
- 9 Новиков, О.А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О.А. Новиков, С.И. Петухов. — М.: Издательство «Советское радио», 1969. — 400 с.
- 10 What Are the Industry Standards for Call Centre Metrics? [Электронный ресурс] // Call-Center helper [Электронный ресурс] : [сайт]. — URL: <https://www.callcentrehelper.com/industry-standards-metrics-125584.html> (дата обращения: 15.05.2023).