



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Серия Математика и информационные технологии. 2024, № 1, с. 35-43.

Поступила: 21.12.2023

Окончательный вариант: 14.02.2024

© УлГУ

УДК 004.942

## Разработка имитационной модели кол-центра с «нетерпеливыми» заявками с использованием программного обеспечения AnyLogic

Назаров В.В.<sup>\*</sup>, Савинов Ю.Г.

<sup>\*</sup>[n3onmell@inbox.ru](mailto:n3onmell@inbox.ru)

Ульяновский государственный университет, Россия

---

Представлено описание имитационной модели кол-центра с «нетерпеливыми» заявками. На основе разработанной имитационной модели предложены решения процедур обработки для повышения общей эффективности работы.

*Ключевые слова:* система массового обслуживания, имитационное моделирование, оптимизация, система AnyLogic

---

### Введение

Сложная система представляет собой множество взаимосвязанных элементов, взаимодействующих по сложным правилам. Она характеризуется множеством компонентов, нелинейными взаимодействиями, динамичностью и адаптивностью. Примеры включают экосистемы, интернет, мозг и глобальную экономику.

Значительное количество сложных технических и вычислительных систем в формализованном виде представляются системами массового обслуживания (СМО). Их функционирование будем считать бизнес-процессом, под которым в широком смысле будем понимать любую систематическую деятельность. Для исследования сложных систем на практике широко используются структурные, имитационные [1] и аналитические [2] модели.

Имитационное моделирование охватывает создание компьютерных или математических моделей, которые представляют собой абстракцию реальных систем. Эти модели используются для имитации поведения системы во времени, что позволяет исследовать ее характеристики, оптимизировать процессы и принимать более информированные решения. Имитационное моделирование применяется в различных областях, таких как бизнес, производство, логистика, экология и другие [3].

Целью работы является построение имитационной модели кол-центра с «нетерпеливыми» заявками в среде AnyLogic. Параметры и схема СМО настроены по реальным данным (кол-центра АО "АЛЬФА-БАНК" в г. Ульяновск). Целью моделирования является определение наименьшего числа операторов, достаточного для функционирования кол-центра при заданных параметрах. При этом не стоит задача оценить численно экономический эффект от оптимизации числа операторов, поскольку для этого необходимы, как минимум дополнительные данные о стоимости содержания операторов и оценка экономических потерь от «нетерпеливо» ушедших клиентов.

Выбор AnyLogic в качестве среды имитационного моделирования обосновывается следующими аргументами. Эта система предоставляет возможность проведения имитационного эксперимента и оптимизации. Кроме этого, AnyLogic это российская система, что в современных условиях немаловажно. Также следует отметить, что построение имитационной модели и проведение имитационных экспериментов в AnyLogic возможно человеком без навыков программирования, что позволяет использовать её в своей работе бизнес-аналитикам и системным аналитикам компаний.

Несмотря на то, что математические модели СМО, необходимые для описания работы кол-центров с «нетерпеливыми» заявками (у таких заявок ограничено время ожидания или пребывания в системе) известны давно (см., например, [4-6]), есть существенные трудности для широкого применения таких моделей.

Во-первых, популярные среды имитационного моделирования (GPSS, Arena) не поддерживают данный класс систем с «нетерпением» [7].

Во-вторых, аналитические методы анализа подобных немарковских СМО (см., например, [8-12]) требуют использования продвинутого математического аппарата, а результаты в виде суммы бесконечных рядов, полученные этими методами, не подходят для компьютерного моделирования [13]. Тем не менее интерес к СМО с «нетерпением» не прекращается (см., например, работы [14-25] и ссылки в них). Что связано, несомненно, с большим практическим интересом к таким моделям.

В среде AnyLogic также нет встроенных классов «нетерпеливых заявок», поэтому типичные модели кол-центров, реализованные в AnyLogic, это модели без «нетерпеливых» клиентов (см. например, [26-27]).

Таким образом, актуальной является задача построения имитационной модели кол-центра с «нетерпеливыми» заявками в среде AnyLogic.

## 1. Постановка задачи

Рассмотрим работу кол-центра, который принимает в среднем 7000 звонков за рабочую смену (12 часов). Предположения и допущения модели:

- 1) среднее количество звонков за смену: 7000;
- 2) среднее время разговора: 3 минуты;
- 3) абоненты в очереди завершают вызов в среднем после 5 минут ожидания, и звонок считается потерянным;
- 4) входящий поток простейший.

5) Исходное количество операторов 25.

Необходимо оптимизировать работу кол-центра при этом количество «нетерпеливых заявок» должно быть минимальным (меньше 1% от общего количества), а эквивалент полной занятости на одного сотрудника должен варьироваться от 50% до 90%.

## 2. Описание системы работы центра

Поступающий входящий звонок (Source ) в кол-центр изначально попадает в интерактивное голосовое меню (Delay ) , в котором он находится от 30 секунд до 1,5 минут, в конце диалога интерактивный голосовой помощник предлагает 2 варианта исхода:

- Запрос решен помощником, помощь оператора не требуется;
- Матрица коммуникации голосового помощника оказалась недостаточна для решения запроса, необходима помощь оператора.

В случае, когда запрос решен помощником звонок считаем обслуженным. В ином случае попадаем на условие проверки наличия свободного оператора:

- Нет свободного оператора (ResourcePool = 0 ) – звонок попадает в очередь (Queue ) , в которой реализована отбор «нетерпеливой» заявки за счет экспоненциального распределения. При необходимости вид распределения можно взять другим.

- Есть свободный оператор (ResourcePool > 0 ) – звонок минует очередь (Queue ) и сразу попадает на ответственного сотрудника (Service).

Если нет свободного оператора (ResourcePool = 0 ) , и заявка оказалась «нетерпеливой», звонок заканчиваем и считаем потерянным (Sink).

В случае если нет свободного оператора (ResourcePool = 0 ) и заявка не прошла отбор на «нетерпеливость», то она попадает в очередь (Queue ) и дожидается там освобождения оператора (ResourcePool > 0 ) .

В ином случае (ResourcePool > 0 ) попадаем на автоматическую систему распределения вызовов со средним временем решения вопроса (Service ) . По экспоненциальному распределению вычисляем необработанные заявки, которые после относим к потерянными звонкам (Sink ) . Остальные заявки относим к обслуженным звонкам

(Sink ) .

### 3. Моделирование и оптимизация

Система была разработана в среде имитационного моделирования AnyLogic 8.8.6. Эта среда является мощным инструментом и позволяет моделировать сложные и высокоорганизованные системы, а также осуществлять оптимизацию этих систем. AnyLogic предоставляет возможность визуализировать взаимосвязанные блоки графически, способные взаимодействовать с различными параметрами. При необходимости можно использовать библиотеки, расширяющие функциональность моделирования, а также расширять базовый класс транзактов Agent, который написан на одном из самых распространенных языков программирования - Java.

Для оптимизации модели было задано 500 единиц времени, для работы модели - 12 часов. Модель изображена на рис. 1.

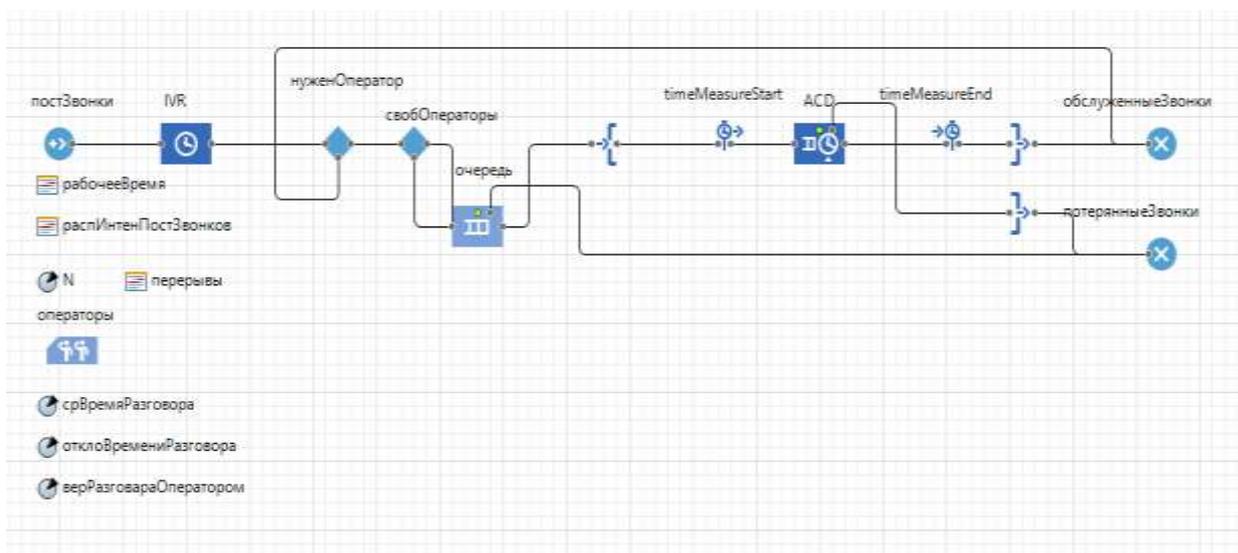


Рис. 1. Модель работы центра поддержки клиентов

Задача состоит в том, чтобы минимизировать потери заявок, указываем целевую функцию «Минимизировать» (root.потерЗвонки), параметры указаны на рис. 2.

Далее указываем требуемые данные во вкладке «Параметры» (рис. 3):

- количество операторов (N),
- среднее время разговора (срВремяРазговора\*),
- отклонение времени разговора (отклоВремениРазговора),
- вероятность разговора с оператором (верРазговораОператором).

В требованиях указываем, что эквивалент полной занятости на одного сотрудника должен варьироваться от 50% до 90% (рис. 4).

Результаты работы оптимизации продемонстрированы в таблице 1. После оптимизации модели число персонала, которое должно участвовать в обработке звонков, уменьшилось с начальных 25 до 15 человек. Полученные значения и процесс оптимизации модели представлены на рис. 5.

**Optimization - Оптимизационный эксперимент**

Имя:   Исключить

Агент верхнего уровня:

Оптимизатор:

Целевая функция:  минимизировать  максимизировать

Количество итераций

Фиксированное:

Бесконечное

Автоматическая остановка

Максимальный размер памяти:  Мб

Рис. 2. Параметры целевой функции

**Параметры**

Параметры:

Параметр	Тип	Значение			
		Мин.	Макс.	Шаг	Начальное
N	дискретный	5	100	1	25
срВремяРазговора*	фикси...анный	3			
отклоВремениРазговора	фикси...анный	0.22			
верРазговараОператором	фикси...анный	0.8			

Рис. 3. Блок параметров

**Требования**

Требования (проверяются после "прогона" для определения того, допустимо ли найденное решение):

Вкл.	Выражение	Тип	Гран...
<input checked="" type="checkbox"/>	root.операторы.utilization()	<=	0.9
<input checked="" type="checkbox"/>	root.операторы.utilization()	>=	0.5

Рис. 4. Блок требований

## Колл-центр : Optimization

	Текущее	Лучшее
Итерация:	96 <span style="color: red;">недопуст.</span>	54
Функция:	11	1,870
Параметры		Сору best
N	44	15
срВремяРазговора	3	3
отклоВремениРазговора	0.22	0.22
верРазговараОператором	0.8	0.8

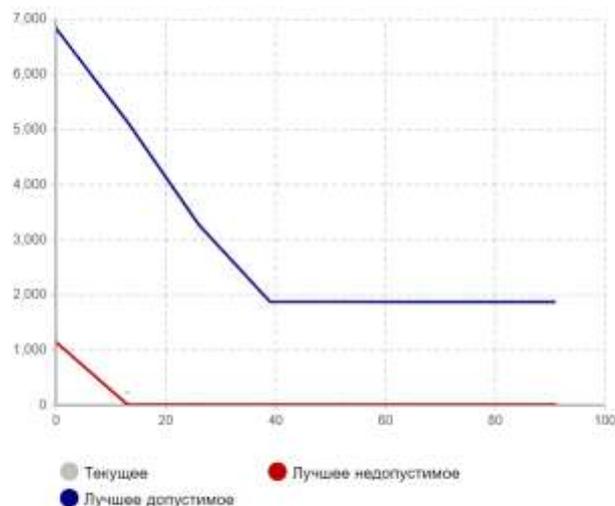


Рис. 5. Оптимизация исходной модели центра поддержки клиентов

Таблица 1. Результаты оптимизации модели

Название параметра	Пояснение	Исходное значение	Нижняя граница диапазона	Верхняя граница диапазона	Шаг итерации	Оптимальное значение
Количество персонала (N)	Количество сотрудников колл-центра	25	5	100	1	15

## Выводы

В ходе выполнения исследования была разработана имитационная модель для организации работы колл-центра с нетерпеливыми заявками в среде AnyLogic 8.8.6. Произведена оптимизация данной имитационной модели путем регулирования количества персонала, обслуживающего поступающие звонки.

Предложенная модель обеспечивает приемлемое качество обработки запросов при минимальном использовании рабочей силы, что должно значительно снизить операционные затраты при внедрении. Задача численной оценки экономического эффекта от оптимизации числа операторов не ставилась, ввиду отсутствия необходимых для расчета дополнительных данных (таких как стоимость содержания операторов и стоимости потерь от «нетерпеливо» ушедших клиентов).

## Список литературы

1. Якимов И.М. *Компьютерное моделирование*. Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2008. 220 с.

2. Кирпичников А.П. *Методы прикладной теории массового обслуживания*. Казань: Изд-во Казанс. Гос. Ун-та, 2011. 200 с.
3. Kelton, W.D., Sadowski, R.P. and Swets, N.B. *Simulation with Arena*. 5th Edition, McGraw-Hill, Boston, 2010.
4. Barrer D.Y. Queuing with Impatient Customers and Indifferent Clerks // *Operation Research*. 1957, v. 5, no 5, p.294–400.
5. Юркевич О.М. К исследованию СМО с ограниченным временем ожидания // *Изв. АН СССР, Техническая кибернетика*, 1970, № 5, с. 50-58.
6. Юркевич О.М. О многолинейных системах со случайным ограничением на время ожидания // *Изв. АН СССР, техническая кибернетика*, 1971, № 4.
7. Рыжиков Ю.И., Уланов А.В. Имитационное моделирование систем с «нетерпеливыми» заявками // *Имитационное моделирование. Теория и практика*: тр. VI Всерос. конф. Казань, 2013. С. 339–342.
8. Кирпичников А.П., Флакс Д.Б., Валеева Л.Р. Системы массового обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в системе // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015, № 1, с. 68 - 73 .
9. Кирпичников А.П., Бусарев М.И., Флакс Д.Б. Одноканальная система массового обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в системе в целом // *Вестник технологического университета*. 2011, в.22, с.155-161.
10. Кирпичников А.П., Флакс Д.Б., Вероятностные характеристики открытой многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным средним временем пребывания заявки в системе // *Вестник технологического университета*. 2014, т.17, в.24, с.422-425.
11. Кирпичников А.П., Флакс Д.Б., Галямова К.Н., Вероятность ожидания начала обслуживания в системе массового обслуживания с ограниченным средним временем пребывания заявки в системе // *Вестник технологического университета*. 2016, т.19, в.11, с.122-125.
12. Кирпичников А.П., Флакс Д.Б., Галямова К.Н. , Общее число требований в системе массового обслуживания с ограниченным средним временем пребывания заявки в системе // *Вестник технологического университета*. 2017, т.20, в.5, с.95-97.
13. Савинов Ю.Г., Подгорнов М.Д., Толубаева А.А. Стратегии выбора количества операторов кол-центра с «нетерпеливыми» клиентами методами имитационного моделирования // *Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии*. 2023, № 1, с.148-157.
14. Савинов Ю. Г., Табакова Е.Д., Сафиуллов И.Д. Оптимизация в СМО с нетерпеливыми заявками // *Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии*. 2019, № 1, с. 92-98.
15. Roubos A. Call Centers with Hyperexponential Patience Modeling / A. Roubos, O. Jouini // *International Journal of Production Economics*. 2013, v.141, p. 307–315.

16. Рыжиков Ю.И., Уланов А.В. Расчет гиперэкспоненциальной системы  $M/H2/n-H2$  с заявками, нетерпеливыми в очереди // *Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика*. 2014, т.27, № 2, с. 47–53.
17. Kawanishi K. QBD approximations of a call center queueing model with general patience distribution // *Computers & Operations Research*. 2008, v.35, no 8, p.2463-2481.
18. Jinting Wang, Raj Srinivasan, Staffing a call center with Interactive Voice Response Units and impatient calls // *IEEE*. 2008, p. 514–519.
19. Дудин С.А., Дудина О.С. Модель функционирования колл-центра как система  $MAR/PH/N/R-N$  с нетерпеливыми запросами // *Проблемы передачи информации*. 2011, № 47, с. 68–83.
20. Chen P., Chen Y. Analysis of a call center with impatient customers and repairable server // *Advances in Modelling and Analysis A*. 2017, v.54, p.127-135.
21. Balasubramanian Krishna Kumar, Ramachandran Navaneetha Krishnan, Rathinam Sankar, Ramasamy Rukmani. Analysis of dynamic service system between regular and retrial queues with impatient customers // *Journal of Industrial & Management Optimization*. 2022, v.18, no 1, p.267-267.
22. Yi Peng, Jinbiao Wu. Analysis of a batch arrival retrial queue with impatient customers subject to the server disasters // *Journal of Industrial & Management Optimization*, 2021, v.17, no 4, p. 2243-2243.
23. Dequan Yue, Wuyi Yue, Gang Xu. Analysis of customers' impatience in an  $M/M/1$  queue with working vacations // *Journal of Industrial & Management Optimization*. 2012, v.8, no 4, p. 895-895.
24. Hideaki Takagi. Times until service completion and abandonment in an  $M/M/1$  preemptive-resume LCFS queue with impatient customers // *Journal of Industrial and Management Optimization*. 2018, v.14, no 4, p. 1701-1701.
25. Zeltyn S., Mandelbaum A. Call centers with impatient customers: many-server asymptotics of the  $M/M/n+G$  queue // *Queueing Systems*. 2005, v.51, p. 361–402.
26. Мазитов А.И., Зинатуллин Н.Р. Оптимизация работы центра поддержки клиентов сотового оператора за счет оптимизации количества операторов для обработки входящих звонков клиентов в среде имитационного моделирования ANYLOGIC. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/upload/iblock/017/0175b1f9d309d0e8f289f81cae00431.pdf> (дата обращения 27.12.2023).
27. Котелова В.А., Коровкина А.О., Мокшин В.В. Оптимизация работы центра поддержки клиентов за счет увеличения или уменьшения количества сотрудников центра поддержки для обработки входящих звонков клиентов в среде имитационного моделирования ANYLOGIC // *Перспективные информационные технологии (ПИТ 2019)* [Электронный ресурс] : труды Межд. научно-технической конференции / [редкол.: Прохоров С. А. (гл. ред.) и др.]. Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН. 2019. с. 568-572.

# Development of a simulation model for a call-center with "impatient" requests using AnyLogic Software

*Nazarov, V.V. \*, Savinov, Y.G.*

[\\*n3onmell@inbox.ru](mailto:n3onmell@inbox.ru)

Ulyanovsk State University, Russia

An overview of a simulation model for a call center with "impatient" requests is presented. Based on the developed simulation model, solutions for processing procedures are proposed to improve overall operational efficiency.

**Keywords:** *queuing system, simulation modeling, optimization, AnyLogic*