

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ АНАЛИЗА ЕЕ РАБОТЫ**

Бобков С.П., Астраханцева И.А., Волков В.С.

Бобков Сергей Петрович (ORCID 0000-0001-7315-1625), Астраханцева Ирина Александровна (ORCID 0000-0003-2841-8639), Волков Валерий Сергеевич
Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.
E-mail: bsp@isuct.ru, i.astrakhantseva@mail.ru, vvvolk@yandex.ru

Статья посвящена исследованию возможности использования методов имитационного моделирования для оптимизации структуры системы массового обслуживания. Отмечается, что аналитический подход к моделированию таких систем предполагает введение ряда допущений, что снижает адекватность модели. Для анализа поведения сложных систем предлагается использовать модели в виде имитационных алгоритмов. В работе использован дискретно-событийный подход к имитационному моделированию. Исследовано влияние числа каналов системы массового обслуживания на основные показатели ее эффективности. Показана возможность применения указанных моделей для исследования поведения реального объекта и оптимизации его работы.

Ключевые слова: имитационное моделирование, системы массового обслуживания, дискретно-событийный подход.

**SIMULATION OF THE QUEUING SYSTEM FOR THE PURPOSE OF ANALYSIS OF ITS WORK
Bobkov S.P., Astrakhantseva I.A., Volkov V.S.**

Bobkov Sergey Petrovich (ORCID 0000-0001-7315-1625), Astrakhantseva Irina Aleksandrovna (ORCID 0000-0003-2841-8639), Volkov Valery Sergeevich
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: bsp@isuct.ru, i.astrakhantseva@mail.ru, vvvolk@yandex.ru

The article is devoted to the study of the possibility of using simulation methods to optimize the structure of the queuing system. It is noted that the analytical approach to modeling such systems involves the introduction of a number of assumptions, which reduces the adequacy of the model. To analyze the behavior of complex systems, it is proposed to use models in the form of simulation algorithms. The work uses a discrete-event approach to simulation. The influence of the number of channels of the queuing system on the main indicators of its efficiency is investigated. The possibility of using these models for studying the behavior of a real object and optimizing its operation is shown.

Keywords: simulation modeling; queuing systems; discrete event approach.

Введение

В настоящее время во многих сферах экономической деятельности важную роль стали играть системы массового обслуживания (СМО), предназначенные для многократной реализации однотипных задач. Системы подобного типа широко используются в финансово-экономической сфере, на производстве, в обслуживании, на транспорте, при реализации информационных технологий и пр. Широкое распространение СМО и современный уровень

требований рыночной экономики предъявляют повышенные требования к эффективности функционирования данных систем. В этих условиях возрастает роль математических и имитационных методов моделирования СМО с целью изучения их поведения в различных условиях и определения оптимальных параметров эксплуатации.

Модельное представление системы массового обслуживания (далее СМО), позволяет рассматривать ее следующим образом [1]. Заяв-

ки (требования, запросы) на обслуживание поступают в систему, где обрабатываются каналами обслуживания в течение некоторого времени. В качестве каналов выступают технические средства (оборудование, приборы) или персонал (сотрудники). В СМО могут быть организованы очереди ожидания, где заявки дожидаются освобождения каналов. Входной поток заявок имеет случайный характер, поскольку интервалы между приходящими заявками случайны. Также случайными являются характеристики процесса обслуживания заявок вследствие того, что заявки различной сложности требуют неодинакового времени на обслуживание. В результате взаимодействия этих двух случайных процессов в какие-то моменты времени СМО может быть переполнена заявками и все каналы и места в очереди окажутся занятыми. Возможен и противоположный эпизод, когда система не загружена.

На практике обе описанные ситуации нежелательны. В случае переполнения системы она не может принять новые заявки, и они отвергаются (уходят не обслуженными). Это приводит к экономическим потерям вследствие упущенной выгоды. Возможны также и репутационные потери. В случае недогрузки системы могут иметь место потери из-за простоя каналов. В этой связи, весьма важными становятся вопросы анализа работы СМО с целью определения ее оптимальных характеристик [2]. Для этих целей наиболее подходят методы моделирования СМО, позволяющие прогнозировать наиболее значимые параметры ее работы.

Среди аналитических подходов к моделированию СМО наиболее представительным можно считать метод, использующий уравнения А.Н. Колмогорова для марковских цепей с непрерывным временем [3]. Данный метод позволяет определять вероятности возможных состояний системы заданной структуры и по ним вычислять показатели эффективности СМО. К таким показателям можно, например, отнести вероятность обслуживания; пропускную способность системы; длительность нахождения заявки в системе; занятость каналов и очередей и пр. Вместе с тем аналитический подход обладает некоторыми недостатками, которые касаются ряда упрощающих допущений относительно параметров входящего потока заявок и продолжительности их обслуживания. Кроме того, расчетные зависимости аналитического метода «жестко» привязаны к структуре исследуемой СМО и при ее изменении требуют значительной корректировки. В то же время именно оптимизация структуры является важнейшим методом повышения эффективности работы СМО.

Данные обстоятельства вызывают необходимость использования имитационных подходов к моделированию [4], которые позволяют заменить чисто математические объекты имитационными алгоритмами, и использовать ЭВМ как исследовательский инструмент.

Описание объекта моделирования

Возможности имитационного моделирования СМО рассмотрим на примере анализа функционирования одного из отделов компании, занимающейся разработкой и внедрением информационных компьютерных систем для комплексной автоматизации деятельности предприятий. В функции отдела входит внедрение и сопровождение программных продуктов, в том числе решение вопросов их улучшения, оптимизации, устранения дефектов, оказания консультаций.

Предварительный анализ работы отдела показал, что работа с клиентами подчиняется следующим правилам.

– Поступающим в систему заявкам, в зависимости от их важности и срочности присваивается значение одного из трех приоритетов: «1», «2», «3» (расположены по убыванию).

– Поступившие заявки принимаются к исполнению сотрудниками отдела. Число сотрудников, работающих с заявками – m .

– Если все сотрудники заняты, заявка фиксируется и ставится в очередь ожидания.

– При выборе заявки из очереди действует правило относительного приоритета, то есть при поступлении заявки с более высоким приоритетом текущая обработка заявок не прерывается, но поступившая заявка занимает в очереди ожидания первое место.

– Заявки в системе являются «нетерпеливыми», то есть по истечении некоторого времени ожидания заявка по разным причинам отменяется клиентом, т.е. покидает систему не обслуженной.

Таким образом, изучаемый отдел может рассматриваться, как система массового обслуживания, которая имеет m каналов обслуживания и очередь бесконечной длины. В систему поступают нетерпеливые заявки с разным приоритетом.

Перед проведением процедур имитационного моделирования была проведена статистическая оценка данных работы реального объекта. Были исследованы некоторые имеющиеся результаты работы отдела внедрения за 1,5 года, когда число сотрудников, непосредственно работавших с заявками, составляло 9 человек. Статистическая оценка проводилась с целью подбора наиболее подходящих законов распределения случайных характеристик входящих потоков заявок, продолжительности обслуживания и предельного времени ожидания нетерпеливых заявок. В ходе проведения статистической обработки в экспериментальных данных были определены результаты измерений, выделяющиеся из общей выборки (выбросы), которые в дальнейшем были исключены из рассмотрения.

Было установлено, что входящие потоки заявок вполне удовлетворительно описываются экспоненциальным законом распределения величины промежутка времени между поступлениями заявок. При этом интенсивность поступления заявок приоритета «1» (немедленная) равнялась 0,18 заявок/час. Для заявок приоритета «2» (важная) – 0,02 заявок/час; для заявок приоритета «3» (обычная) – 0,78 заявок/час.

Обработка опытных данных также показала, что случайная продолжительность обслуживания одной заявки сотрудником также может описываться экспоненциальным законом распределения и в среднем составляет 12,5 час. Исходных данных по предельному времени ожидания заявок получить не удалось, но по количеству ушедших заявок была определена вероятность ухода заявок из очереди ожидания. Она составила 0,03.

Кроме того, удалось оценить следующие параметры работы реальной системы: пропускная способность – 0,97 заявок/час; среднее количество заявок в очереди ожидания – 10,35 заявок; среднее время пребывания заявки в системе – 24,8 часов.

Имитационная модель системы

Для изучения работы системы был использован программный комплекс визуального моделирования Matlab-Simulink [5, 6], позволяющий имитировать динамические события управляемые системы. Схема модели приведена на рис. 1. В целях облегчения восприятия вспомогательные блоки, предназначенные для визуализации и вывода результатов, на рис. 1 не показаны.

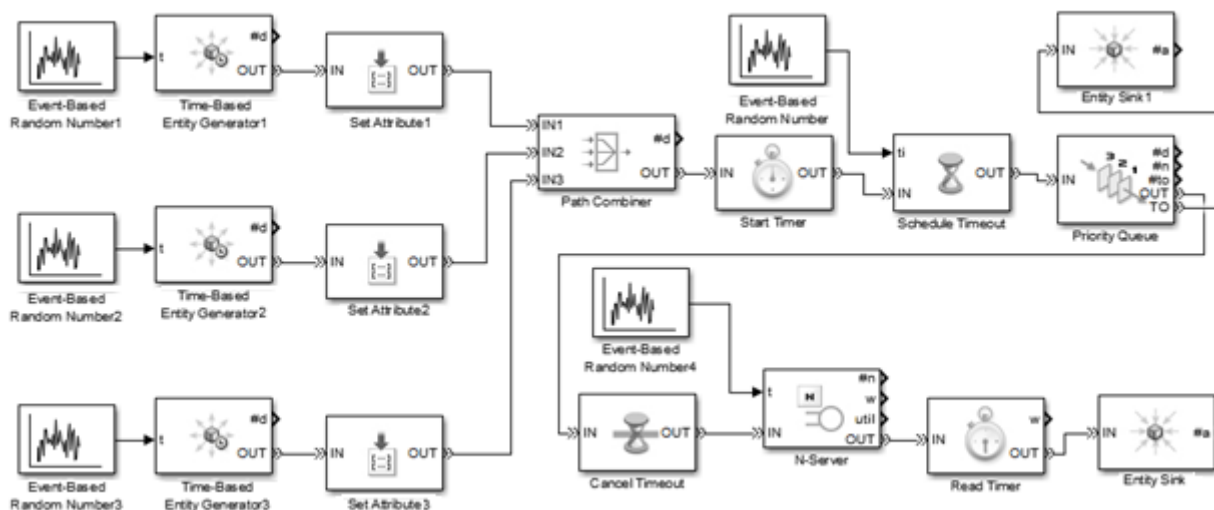


Рис. 1. Схема имитационной модели системы
Fig. 1. Scheme of the simulation model of the system

Модель работает следующим образом.

В системе присутствуют три источника, генерирующих заявки разных приоритетов. Они

работают аналогично друг другу. Случайный интервал времени между моментами прихода заявок генерируется блоками Event-Based

Random Number. Эта величина поступает на вход блоков Time-Based Entity Generator, которые генерируют заявки, после чего они поступают в блоки Set Attribute, где заявкам присваиваются соответствующие приоритеты. Заявки, приходящие разными путями, объединяются блоком Path Combiner на один выход. Далее блок Start Timer запускает отсчет времени для каждой вошедшей заявки. Для моделирования работы с нетерпеливыми заявками используется блок Schedule Timeout, задающий как начало отсчета времени пребывания заявки, так и само предельное время «терпения». Последняя величина, является случайной и поступает в данный блок от генератора случайных чисел Event-Based Random Number. Теперь все заявки поступают в блок Priority Queue. В нем заявки выстраиваются в очередь в соответствии с заданным ранее приоритетом таким образом, что более приоритетные заявки будут размещены в начале очереди. В блоке Priority Queue также контролируется продолжительность времени ожидания и если оно превысит предельное заданное, то заявка удаляется из очереди через выходной порт TO (Timed-Out). Затем покинувшая очередь заявка уходит из системы, попадая в приемник не обслуженных заявок Entity Sink 1. Заявки, время пребывания которых не превысило допустимую величину, поступают в блок CancelTimeout, в котором время «терпения» заявки отменяется. Далее заявки направляются на обслуживание в блок N-Server, где моделируется их обслуживание при помощи N независимых параллельных каналов. Продолжительность обслуживания каждой заявки зада-

ется генератором Event-Based Random Number. Обслуженные заявки направляются в блок Read Timer, где считывается время их пребывания в системе, а затем они покидают систему через приемник обслуженных заявок Entity Sink [7].

Все блоки модели, генерирующие случайные величины настраиваются в соответствии с параметрами, полученными при статистической обработке опытных данных. Для настройки генератора, устанавливающего предельное время пребывания нетерпеливых заявок в системе, были проведены дополнительные численные эксперименты. С их помощью были найдены искомые параметры генератора, при которых вероятность ухода заявок из очереди совпала с экспериментальным значением (в нашем случае 0,03).

Полученная модель использовалась для проведения вычислительных экспериментов, каждый из которых имитировал работу исследуемой СМО в течение 180 часов. Для каждого конкретного набора исходных данных число реализаций (прогонов) модели составляло до 5 раз. Далее накопленные данные обрабатывались, что давало возможность представить результаты моделирования в виде наиболее вероятных значений исследуемых величин.

Обсуждение результатов и выводы.

Основной целью имитационного моделирования было исследование влияния количества сотрудников отдела (числа каналов) на основные показатели работы. Вычислительные эксперименты проводились для системы, имеющей 6, 9 и 12 каналов. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты имитационного моделирования работы отдела
Table 1. Results of simulation modeling of the department's work

Показатель	Реальный объект	Имитационная модель		
		6	9	12
Число каналов, шт	9	6	9	12
Вероятность потери заявки	0,03	0,053	0,03	0,018
Среднее количество заявок в очереди ожидания, шт.	10,35	15,66	10,72	6,58
Среднее время пребывания заявки в системе, часов	24,8	33,34	25,23	20,25

Прежде всего, следует сопоставить данные, полученные на имитационной модели с 9 каналами с показателями работы реального объекта. Можно отметить, что они очень близки. Это дает возможность утверждать, что используемая имитационная модель вполне адек-

ватна, по крайней мере, в использованном диапазоне входных переменных.

Полученные данные показывают, что при увеличении числа каналов снижается вероятность потери заявок. Также уменьшается количество заявок, ожидающих обслуживания и

среднее время пребывания заявок в системе. Установленные факты не противоречат классическим положениям теории массового обслуживания.

Переходя к выводам, относительно работы реального объекта, следует сказать, что увеличение количества обрабатываемых заявок и снижение их потерь явно могут дать дополнительную прибыль. Немаловажным фактором может стать и ускорение процесса обслуживания клиентов. С другой стороны, увеличение количества сотрудников, занятых обработкой заявок, ведет к дополнительным затратам. Поэтому конкретные решения по изменению кадровой структуры должны принимать менеджеры компании, владеющие конкретной финансово-экономической информацией. Однако предварительные исследования работы отдела, проведенные имитационными или иными методами, могут оказать существенную помощь при принятии оптимального управленческого решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Карташевский В.Г.** Основы теории массового обслуживания. М.: Горячая линия–Телеком, 2013. 130 с.
2. **Алиев Т.И.** Задачи и методы проектирования дискретных систем. СПб: Университет ИТМО, 2015. 127 с.
3. **Романцев В.В.** Аналитические модели систем массового обслуживания: СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 1998. 67 с.
4. **Павловский Ю.Н., Белотелов В.Н., Бродский Ю.И.** Имитационное моделирование. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 236 с.
5. Simulink. Документация. [Электронный ресурс]
6. SimEvents. Документация. [Электронный ресурс] (дата обращения: 21.01.2021).
7. Моделирование СМО в Simulink MATLAB. [Электронный ресурс] (дата обращения: 21.01.2021).
8. **Bobkov S., Galiaskarov E., & Astrakhantseva I.** (2021). The use of cellular automata systems for simulation of transfer processes in a non-uniform area. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2843 Retrieved from www.scopus.com

9. **Mizgirev L., Galiaskarov E., Astrakhantseva I., Bobkov S., & Astrakhantsev R.** (2021). Transfer learning for road-based location classification of non-residential property. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2843 Retrieved from www.scopus.com

10. **Бобков С.П., Астраханцева И.А., Галиаскаров Э.Г.** Применение системного подхода при разработке математических моделей. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* 2021. №1 (65). С. 66–71. DOI: 10.6060/snt.20216501.0008

REFERENCES

1. **Kartashevsky V.G.** Foundations of the theory of queuing. M.: Hot line-Telecom, 2013.130p.
2. **Aliev T.I.** Problems and methods of designing discrete systems. SPb: ITMO University, 2015. 127 p.
3. **Romantsev V.V.** Analytical models of queuing systems: SPbGETU (LETI), 1998. 67 p.
4. **Pavlovsky Yu.N., Belotelov V.N., Brodsky Yu.I.** Simulation modeling. M.: Publishing Center "Academy", 2008. 236 p.
5. Simulink. Documentation. [Electronic resource] / index.html (date accessed: 15.01.2021).
6. SimEvents. Documentation. [Electronic resource] (date accessed: 21.01.2021).
7. Modeling QS in Simulink MATLAB. [Electronic resource] (date of access: 21.01.2021)
8. **Bobkov S., Galiaskarov E., & Astrakhantseva I.** (2021). The use of cellular automata systems for simulation of transfer processes in a non-uniform area. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2843 Retrieved from www.scopus.com
9. **Mizgirev L., Galiaskarov E., Astrakhantseva I., Bobkov S., & Astrakhantsev R.** (2021). Transfer learning for road-based location classification of non-residential property. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2843 Retrieved from www.scopus.com
10. **Bobkov S.P., Astrakhantseva I.A., Galiaskarov E.G.** Application of a systematic approach in the development of mathematical models. *Modern high technologies. Regional application.* 2021. N 1 (65). P. 66–71. DOI: 10.6060 / snt.20216501.0008