



УДК 519.872, 519.876.5

© 2020 г. **Н.Н. Максимова**, канд. физ.-мат. наук,

**С.Ю. Тето**

(Амурский государственный университет, Благовещенск)

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СУПЕРМАРКЕТА ЦИФРОВОЙ И БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ

С использованием пакета AnyLogic создана имитационная модель супермаркета цифровой и бытовой техники. Проведен анализ работы системы исходя из входных данных. Выявлены «слабые» места системы и предложены методы по их устранению.

**Ключевые слова:** системы массового обслуживания, имитационное моделирование, AnyLogic.

DOI: 10.22250/isu.2020.63.3-16

### Введение

Имитационное моделирование широко применяется для решения проблем в современном мире. Это довольно удобный инструмент для анализа: он нагляден, прост для понимания и проверки. В разных областях науки, техники, экономики имитационное моделирование дает четкое представление о сложных системах и помогает найти оптимальные решения. Компьютерное моделирование используется в бизнесе, когда проведение экспериментов на реальной системе невозможно или непрактично, чаще всего из-за их стоимости или длительности [1].

Возможность анализировать модель в действии отличает имитационное моделирование от других методов. Пользователь изучает процессы и вносит изменения в имитационную модель в ходе работы, что позволяет лучше проанализировать работу системы и быстро решить поставленную задачу [2].

В настоящее время существует множество пакетов для построения и исследования имитационных моделей. Пакет AnyLogic – профессиональный

инструмент нового поколения, который предназначен для разработки и исследования имитационных моделей. AnyLogic был разработан на основе новых идей в области информационных технологий, теории параллельных взаимодействующих процессов и теории гибридных систем [3 – 7].

Пакет AnyLogic позволяет строить имитационные модели сложных систем массового обслуживания [8, 9], осуществлять имитационное моделирование транспортной инфраструктуры [10], транспортных потоков [11], деятельности отделов менеджмента [12], проводить исследование поведения потребителей на рынке [13] и прогнозирование надежности элементов информационных систем [14], а также осуществлять оптимизационные эксперименты над построенными моделями [13, 15] с целью определения оптимальных значений параметров систем. Разумеется, возможности пакета AnyLogic не ограничиваются указанными примерами имитационных моделей.

### **Постановка задачи**

Построим имитационную модель реального супермаркета цифровой и бытовой техники (г. Благовещенск). Все описанные ниже входные данные относительно времени работы, расположения стеллажей, касс и т.п. являются реальными, статистические данные о работе супермаркета – результат ежедневных наблюдений в течение нескольких лет.

Время работы магазина 10:00 – 22:00. Интенсивность прихода покупателей зависит от времени суток и дней недели. Расписание интенсивности посетителей зависит от дня недели (рабочие или выходные дни) и временного периода в течение дня (утренние, дневные и вечерние часы). В рабочие дни 179 человек в период с 10:00 до 12:00, 876 – с 13:00 до 19:00, 100 – с 16:00 до 22:00. В выходные дни: 255 человек с 10:00 до 12:00, 1640 – с 13:00 до 19:00, 132 – с 16:00 до 22:00. Однако только 20% посетителей являются покупателями.

Покупатели могут выбрать одну из трех фаз обслуживания:

- 1) быстрая продажа – самостоятельно, без помощи консультанта, выбрать товар и оплатить на кассе;
- 2) работа с консультантом – обратиться за помощью к консультанту для выбора и проверки товара;
- 3) оформить кредит (сначала покупатель обращается к консультанту за помощью в выборе товара, затем идет оформлять кредит).

Время выбора покупки варьируется от 2 до 15 мин. (в среднем 5 мин.).

В супермаркете три кассы; в будние дни кассы обслуживают два кас-

сира, в выходные – три. Время обслуживания на кассе от 30 сек. до 75 сек., в среднем 55 сек.

В торговом зале постоянно находятся консультанты. Количество их зависит от дня недели: в будни 12 человек в смену, в выходные дни – 17 человек в смену. Время работы консультанта с покупателем – от 2 до 30 мин., в среднем – 10 мин.

Кредиты оформляют 5 специалистов, четверо работают до 21:00, один продолжает работать до закрытия магазина. Время оформления кредита – от 15 до 45 мин., в среднем – 20 мин.

После работы с консультантом или с кредитным специалистом покупателя направляют в кассу для оплаты или регистрации кредита.

Если время ожидания консультанта или кредитного специалиста превышает 20 мин., то клиент выходит из супермаркета без покупки.

Необходимо с помощью библиотеки моделирования процессов, используя исходные данные, составить блок-схему работы супермаркета, проанализировать выходные данные: среднее время обслуживания, средняя длина очереди, количество занятого персонала на всех трех фазах обслуживания.

Очевидно, что описанная система относится к системам массового обслуживания (СМО). Математическое моделирование СМО предполагает создание системы дифференциальных уравнений для вычисления предельных вероятностей нахождения системы в различных состояниях [16].

Однако при создании моделей сложных систем возникают трудности при учете всех возможных параметров, влияющих на характеристики системы.

Получаемые системы могут быть весьма громоздкими. На помощь в данном случае приходит имитационное моделирование СМО.

### **Логическая схема имитационной модели**

Разработку схемы работы имитационной модели будем вести при следующих условиях и входных данных.

1. Заданы функции распределения:

$A(t)$  – функция распределения для интервалов поступления заявок; согласно статистическим данным интервал времени между соседними «заявками» зависит от дня недели и от времени суток. Тем самым случайная величина «интервал поступления заявок» задается в виде кусочно-постоянной функции вида

$$A(t) = \begin{cases} 120/N_{\text{morn}}, & t \in [10:00, 12:00], \\ 480/N_{\text{day}}, & t \in [12:00, 20:00], \\ 120/N_{\text{even}}, & t \in [20:00, 22:00], \end{cases}$$

где  $N_{\text{morn}}$ ,  $N_{\text{day}}$ ,  $N_{\text{even}}$  – соответственно количество посетителей в утренние, дневные и вечерние часы;  $B(t)$  – функция распределения для интервалов времени, в течение которого покупатель самостоятельно выбирает товар; задается треугольным распределением по формуле

$$f(t) = \begin{cases} \frac{2(t-t_{\min})}{(t_{\max}-t_{\min})(t_{\text{mod}}-t_{\min})}, & t_{\min} \leq t \leq t_{\text{mod}}; \\ \frac{2(t_{\max}-t)}{(t_{\max}-t_{\min})(t_{\max}-t_{\text{mod}})}, & t_{\text{mod}} < t \leq t_{\max}; \\ 0, & t \notin [t_{\min}, t_{\max}], \end{cases}$$

где  $t_{\min} = 2$  мин.,  $t_{\max} = 15$  мин.,  $t_{\text{mod}} = 5$  мин.;  $C(t)$  – функция распределения для длительностей обслуживания у консультанта; также задается треугольным распределением с параметрами  $t_{\min} = 2$  мин.,  $t_{\max} = 30$  мин.,  $t_{\text{mod}} = 10$  мин.;  $D(t)$  – функция распределения для длительностей обслуживания у кредитного специалиста; задается треугольным распределением с параметрами  $t_{\min} = 15$  мин.,  $t_{\max} = 45$  мин.,  $t_{\text{mod}} = 20$  мин.;  $E(t)$  – функция распределения для длительностей обслуживания на кассе; задается треугольным распределением с параметрами  $t_{\min} = 30$  сек.,  $t_{\max} = 75$  сек.,  $t_{\text{mod}} = 55$  сек..

2. Задано количество: консультантов в торговом зале,  $m_{\text{конс}}$  (12 человек в будние дни, 17 – в выходные); количество кредитных экспертов,  $m_{\text{кр}}$  (4 человека с 10:00 до 21:00, 1 человек с 10:00 до 22:00); количество работающих касс,  $m_{\text{касс}}$  (2 человека в будние дни, 3 – в выходные).

3. Заданы вероятности того, что: пришедший посетитель будет или не будет клиентом ( $p_{\text{кл}} = 0.2$ ,  $q_{\text{кл}} = 0.8$ ); клиенту понадобится или не понадобится помощь консультанта ( $p_{\text{конс}} = 0.7$ ,  $q_{\text{конс}} = 0.3$ ); клиенту для покупки необходим кредит или нет ( $p_{\text{кр}} = 0.3$ ,  $q_{\text{кр}} = 0.7$ ).

4. Задано время моделирования:  $T = 720$  (мин).

5. Задано максимальное время нахождения в очереди к консультантам, кредитным экспертам и к кассам:  $T_{\text{out}} = 20$  мин.

6. Дисциплина обслуживания у консультантов, кредитных специалистов и на кассе – FIFO (англ. «first in, first out», «первым пришел – первым ушел»).

7. В начале моделирования система свободна.

Тем самым, СМО полностью формализована. Блок-схема имитационной модели представлена на рис. 1.

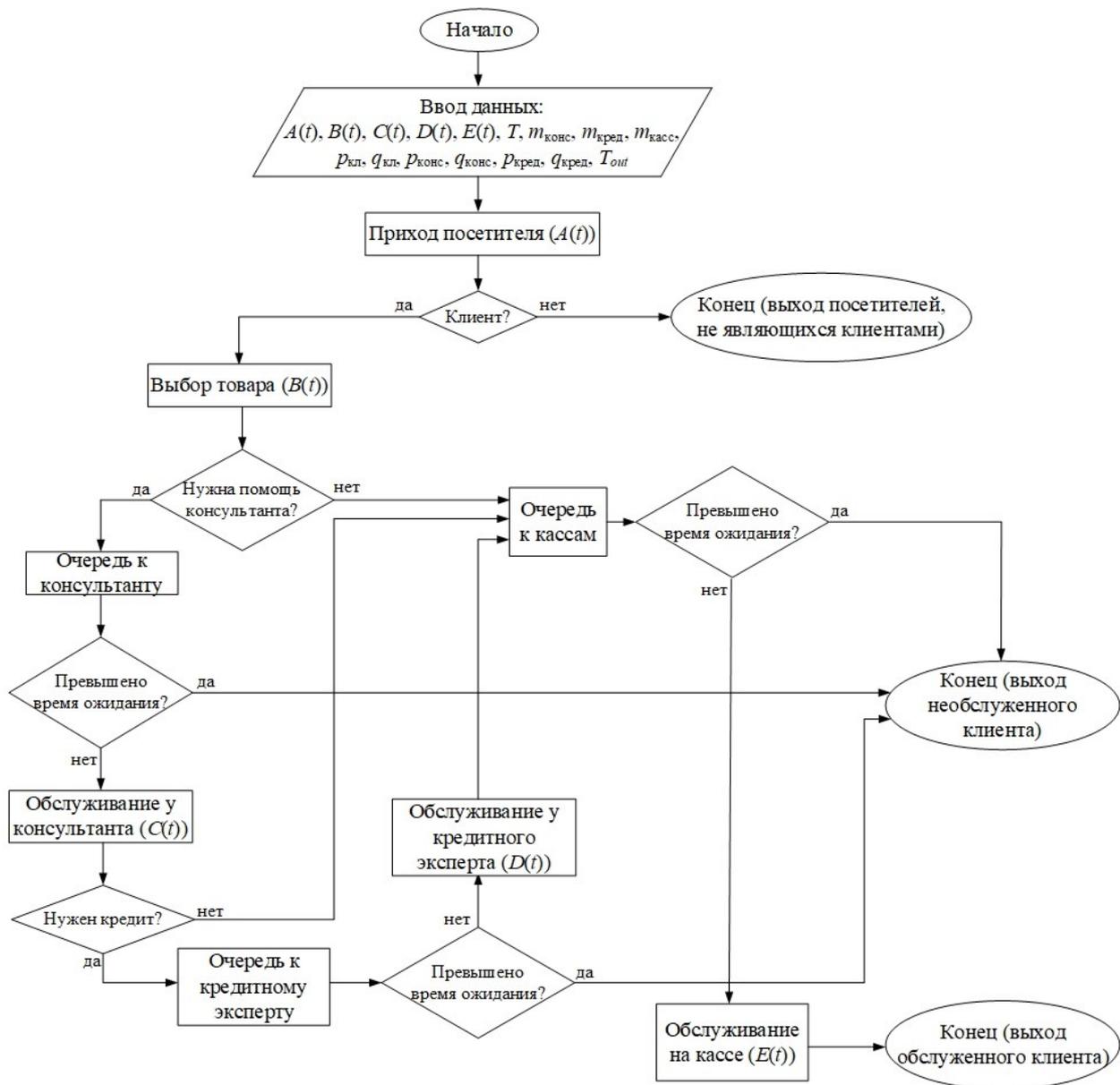


Рис. 1. Блок-схема имитационной модели.

В результате моделирования определены усредненные характеристики:

время нахождения в системе,  $t_{\text{общ}}$  (отсчет начинается с момента прихода клиента в торговый зал и прекращается в блоке «Конец (выход обслуженного клиента)»);

время обслуживания у консультанта,  $t_{\text{конс}}$  (подсчет производится при прохождении блока «Обслуживание у консультанта»);

время обслуживания у кредитного специалиста,  $t_{\text{кр}}$  (подсчет производится при прохождении блока «Обслуживание у кредитного эксперта»);

время обслуживания на каждой из касс,  $t_{1\text{касс}}, t_{2\text{касс}}, t_{3\text{касс}}$  (подсчет производится при прохождении блока «Обслуживание на кассе» для каждой из касс отдельно);

длина очереди к консультанту,  $l_{\text{конс}}$  (подсчет производится в блоке «Очередь к консультанту»);

длина очереди к кредитному специалисту,  $l_{\text{кр}}$  (подсчет производится в блоке «Очередь к кредитному эксперту»);

длина очереди на каждой из касс,  $l_{1\text{касс}}, l_{2\text{касс}}, l_{3\text{касс}}$  (подсчет производится в блоке «Очередь к кассам» для каждой из касс отдельно);

число занятых консультантов,  $n_{\text{конс}}$  (подсчет производится в блоке «Обслуживание у консультанта»);

число занятых кредитных экспертов,  $n_{\text{кр}}$  (подсчет производится в блоке «Обслуживание у кредитных экспертов»).

## Построение имитационной модели супермаркета в ППП AnyLogic

При построении модели супермаркета используются элементы Библиотеки моделирования процессов (рис. 2).

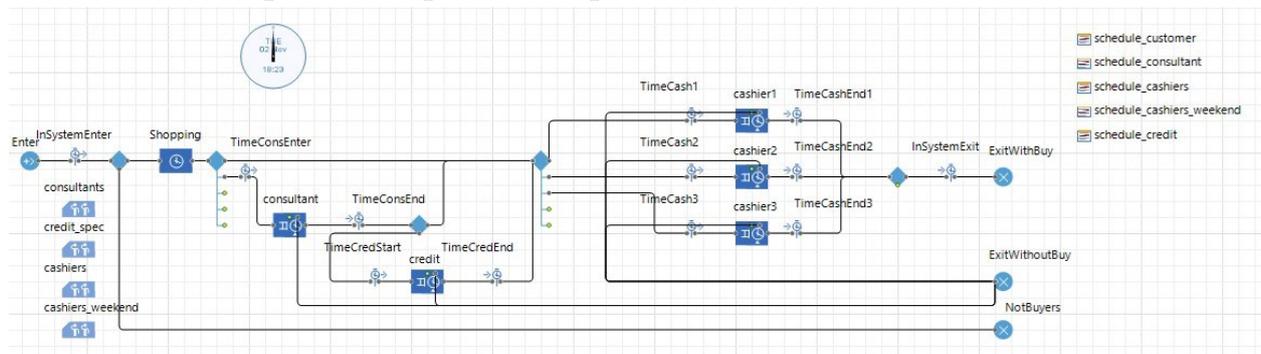


Рис. 2. Блок-схема супермаркета в пакете AnyLogic.c.

В блоке *Enter* задано расписание прихода покупателей согласно постановке задачи. Расписание представлено на рис. 3.

**schedule\_customer - Расписание**  
ВИДИМОСТЬ: да

**Данные**

Тип:

Единица измерения:

Расписание задает:  Интервалы (Начало, Конец)  Моменты времени

Длительность:  Неделя  Дни/Недели  Другая (нет привязки к календарю)

Значение по умолчанию:

Повторять расписание еженедельно

пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	Нача...	Конец	Значе...
✓	✓	✓	✓	✓	☐	☐	10:00	12:00	179.0
☐	☐	☐	☐	☐	✓	✓	10:00	12:00	255.0
✓	✓	✓	✓	✓	☐	☐	12:00	20:00	876.0
☐	☐	☐	☐	☐	✓	✓	12:00	20:00	1640.0

Рис. 3. Расписание интенсивности прибытия покупателей.

Для разделения покупателей и посетителей используется блок *Select Output*, который направляет покупателей дальше по системе, а посетителей к уничтожающему блоку *Sink – NotBuyers*.

Далее начинаются фазы обслуживания. Первая фаза – так называемая *Быстрая продажа*: покупатель самостоятельно выбирает товар из группы самообслуживания или паллетной выкладки, без помощи консультантов, и отправляется к кассам для расчета. Эта фаза реализована блоками *Shopping, Select Output5*, блоками обслуживания *cashier1, cashier2* и *cashier3* (кассы) и уничтожающим блоком *ExitWithBuy*.

В блоке *Shopping* задано время выбора товара *triangular(2, 5, 15)*, первый блок *Select Output5* отправляет 30% покупателей к кассам для быстрой продажи, остальным 70% необходима помощь консультанта. Второй блок *Select Output5* с равной вероятностью отправляет на обслуживание к одной из трех касс с наименьшей очередью [6].

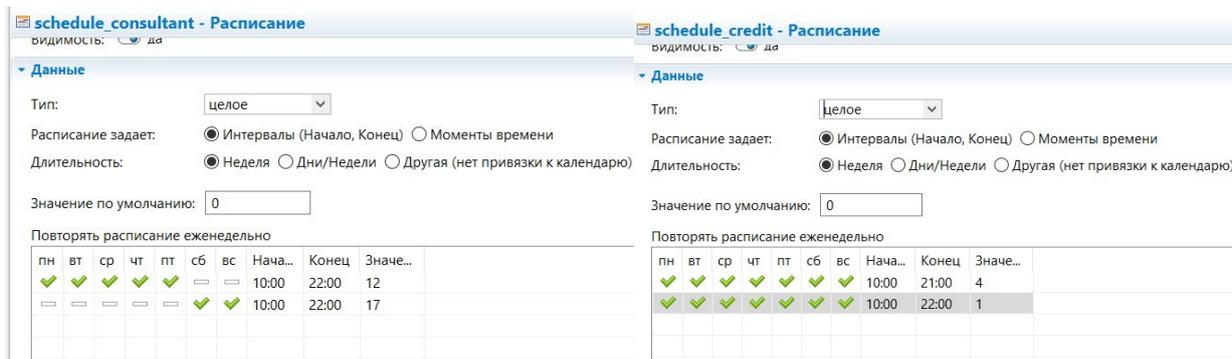
Вторая фаза – помощь консультанта. Она заключается в консультации по характеристикам товара и целостности упаковки. Если клиент готов оплатить товар наличными или банковской картой, то консультант сопровождает его в кассовую имитационной моделиону. Эта фаза реализована блоками *Consultant, Select Output, Select Output5*, блоками обслуживания *cashier1, cashier2* и *cashier3* и *ExitWithBuy*. В сервисе *Consultant* задано время работы консультанта с клиентом *triangular(2, 10, 30)*.

В случае, если клиент желает приобрести товар в кредит, начинается третья фаза – оформление кредита у кредитного специалиста. После оформления покупатель должен подойти к кассе для регистрации кредита и забрать товар. Используются блоки *Credit* (с параметром *triangular(15, 20, 45)* – временем подачи заявки), *Select Output5*, блоки обслуживания *cashier1, cashier2, cashier3* и *ExitWithBuy* [7].

Блоки – сервисы *Consultant, Credit, cashier1, cashier2* и *cashier3* используют для работы блоки – ресурсы *consultant, sredit\_spec* и *cashiers* соответственно. Количество и время работы сотрудников задано согласно расписаниям, представленным на рис. 4.

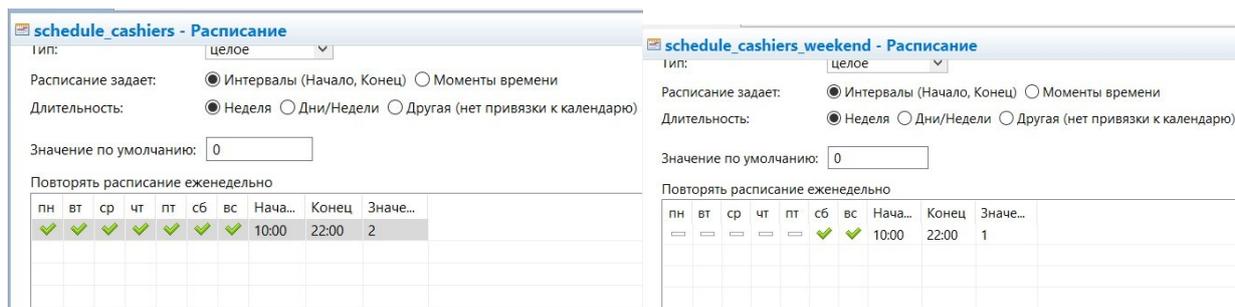
В случае задержки в обслуживании более 20 мин. в этих блоках установлен тайм аут, т.е. клиент покидает систему на одной из трех фаз необслуженным. Для этих целей реализован блок *ExitWithoutBuy* [3].

В результате реализованы три варианта выхода посетителей из супермаркета: с покупкой *ExitWithBuy*, не дождавшись обслуживания *ExitWithoutBuy* и не совершив покупки *NotBuyers*.



а)

б)



в)

г)

Рис. 4. Расписание работы сотрудников:

а) консультантов; б) кредитных специалистов;  
в) кассиров в будние дни; г) кассиров в выходные дни.

Для сбора статистических данных этих трех вариантов используется элемент статистики – круговая диаграмма. Результат сбора статистических данных в будние дни представлен на рис. 5.

Прикладной пакет AnyLogic позволяет графически изобразить модель в виде 2d и 3d анимации. Есть возможность загрузить готовую схему в виде картинки и на нее наносить элементы разметки пространства, размещать агентов [4].

Схематически магазин представлен на рис. 6. Изображены кредитная и кассовые зоны, а прилавки и складская зона недоступны для посетителей.

Аттракторами отмечены точки появления и направления покупателей и сотрудников при работе системы, места образования очередей.

Особую наглядность и привлекательность представляет 3d изображение работы системы.

На рис. 7 – 3d изображение кассовой и кредитной зоны, где выделены одежда клиентов и униформа сотрудников, представлен интерьер и рабочие места.

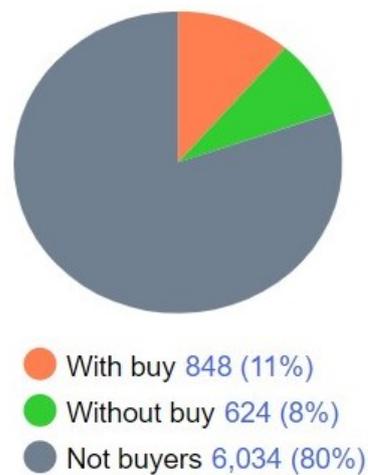


Рис. 5. Гистограмма выхода посетителей.

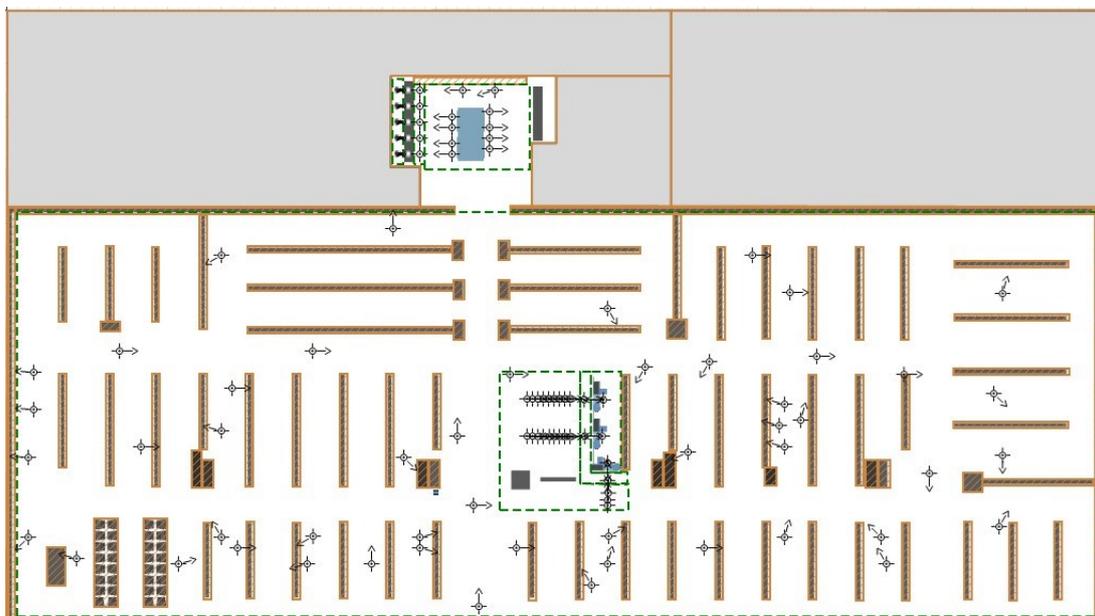


Рис. 6. Схема магазина.

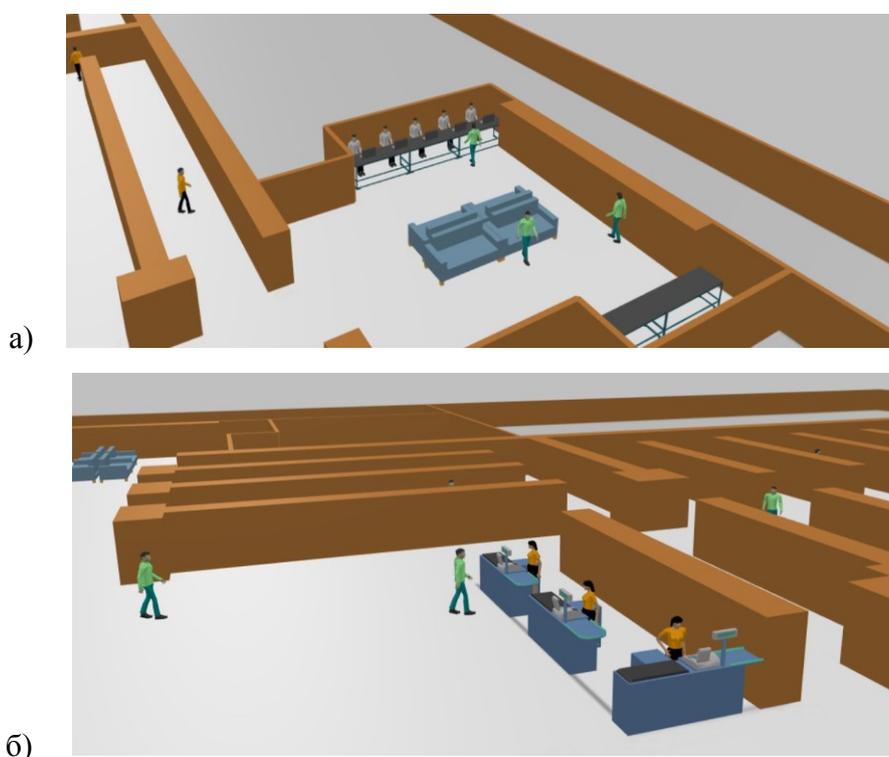


Рис. 7. 3d изображение супермаркета: а) кредитная зона; б) кассовая зона.

Перейдем к сбору статистических данных. Для сбора среднего времени обслуживания используем блоки *Time Measure Start* и *Time Measure End* Библиотеки моделирования процессов [4]. Эти блоки-счетчики фиксируют время при прохождении агентов через начальный и конечный счетчики. Свойства конечного счетчика представлены на рис. 8.

В системе использованы шесть пар счетчиков: для подсчета общего времени в системе, времени работы с консультантом, времени оформления кредита и обслуживания на трех кассах.

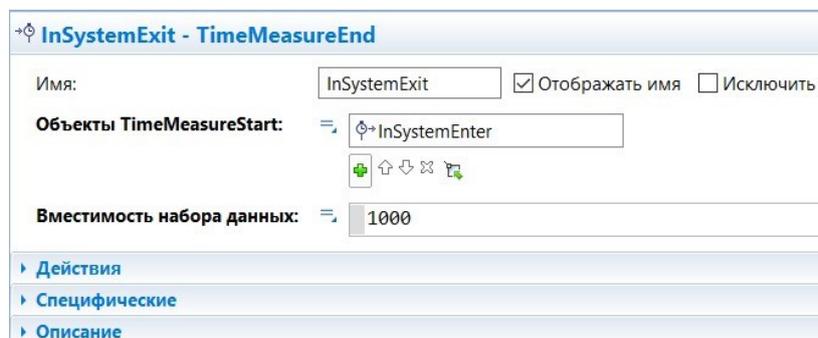


Рис. 8. Свойства счетчика Time Measure End.

Условно работу супермаркета можно разбить на этапы по времени суток и дням недели: час пик (12:00 – 20:00), начало рабочего дня (10:00 – 12:00), работа в будни (понедельник – пятница), работа в выходные дни (суббота, воскресенье). В зависимости от режима показатели будут различаться.

После запуска имитационной модели снимем показатели счетчиков в эти периоды. Для наглядности характеристики работы системы представлены в таблице.

Общее время в системе	Работа с консультантом	Оформление кредита	Касса 1	Касса 2	Касса 3
Будние дни					
Начало рабочего дня					
16,83	14,02	27,66	0,88	0,85	0
Час пик					
26,19	30,56	38,25	1,02	1,01	0
Выходные дни					
Начало рабочего дня					
21,08	13,96	34,28	0,91	0,92	1,06
Час пик					
24,24	31,08	41	1,52	1,4	2,35

### Анализ результатов работы имитационной модели

Проанализируем результаты работы построенной имитационной модели. Первые часы рабочего дня отличаются низкими показателями на всех этапах, это объясняется низкой интенсивностью прихода покупателей, очереди отсутствуют. В будние дни третья касса не работает, поэтому показатели нулевые. В часы пик повышаются показатели работы с консультантами, кредитными экспертами, обслуживание на кассе, появляются очереди, так как датчики фиксируют не время обслуживания персоналом, а время нахождения клиента на фазе обслуживания, т.е. время в очереди плюс время об-

служивания.

Графически данные показатели проиллюстрированы временным графиком и гистограммой на рис. 9 на момент окончания работы системы.

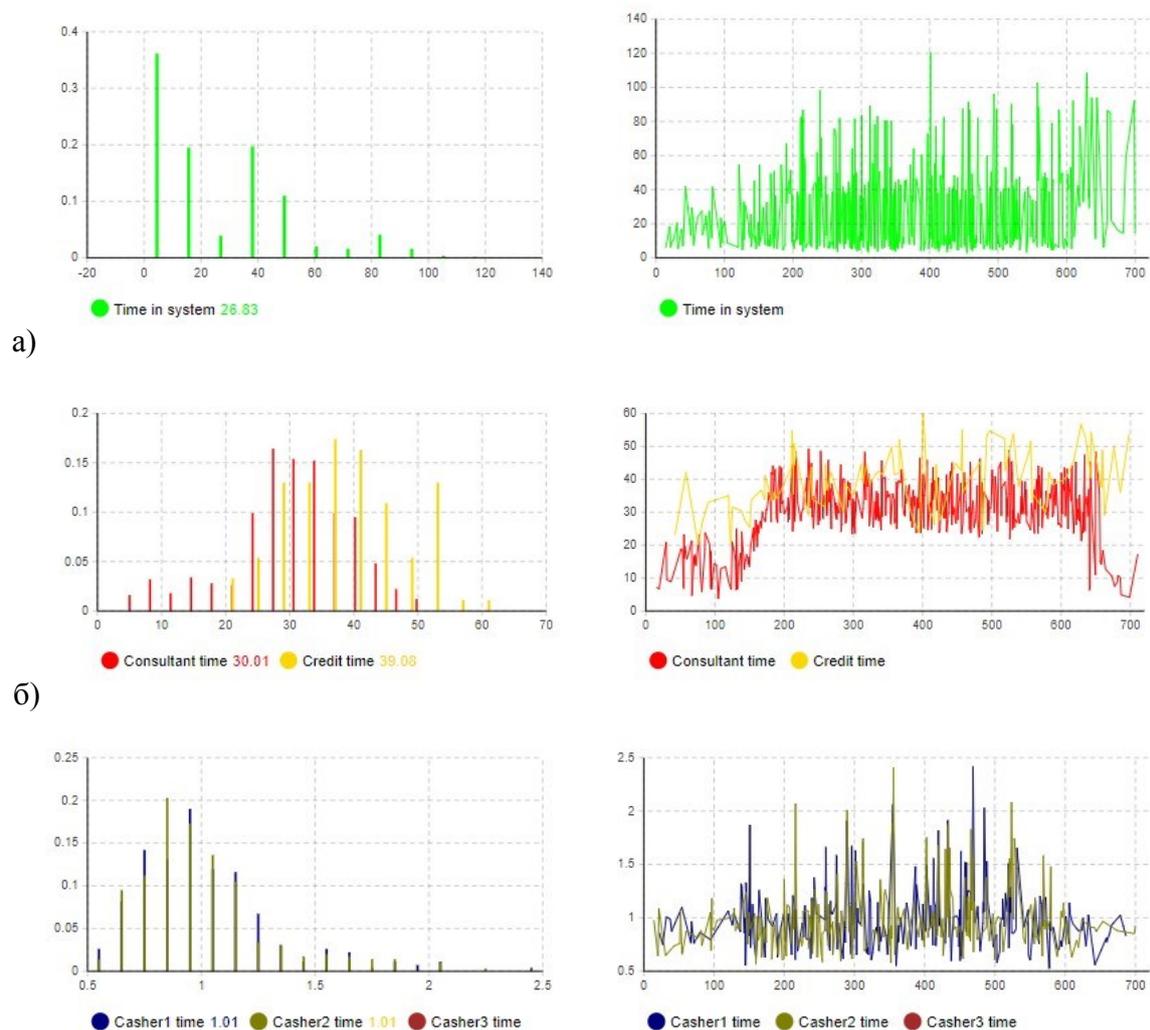


Рис. 9. Временные показатели системы: а) общее время в системе; б) время работы с консультантом и кредитным специалистом; в) время обслуживания на кассе.

Еще одними важными показателями системы являются средняя длина очереди на фазах обслуживания и количество занятых специалистов.

Так как количество кассиров – два в будние дни и три в выходные, и они разделены на отдельные сервисы, то будем считать, что эти сотрудники задействованы в течение рабочего дня в полном объеме. Вычислим только среднюю длину очереди к кассам с помощью элемента *Статистика* и временного графика. Показатели представлены на рис. 10.

Расчет выполнен в будний день, когда одна касса не работает, поэтому показатель третьей кассы нулевой. А на первой и второй очередь не создается. В выходной день показатели на первой кассе составляют 0,397, на второй – 0,306, на третьей – 0,904, т.е. очереди практически тоже нет. Кассы справляются с нагрузкой.

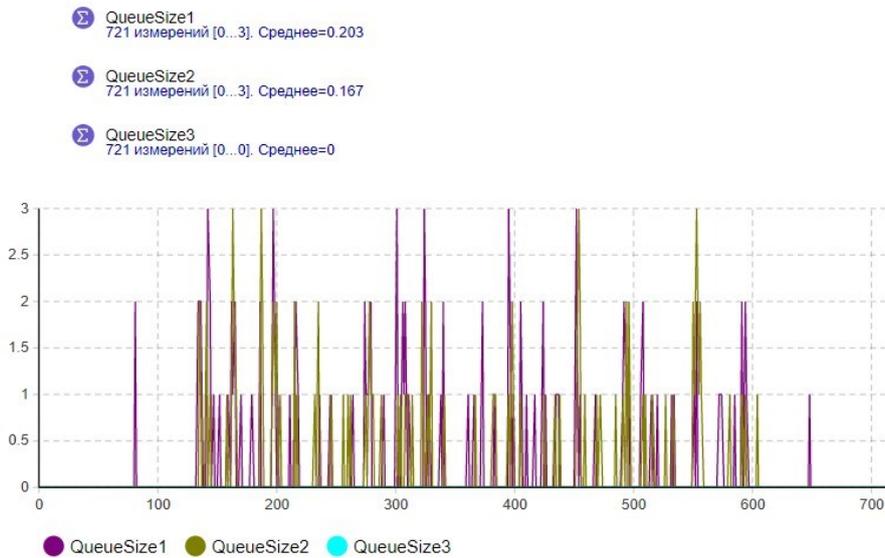


Рис. 10. Величина очереди на кассах.

Рассмотрим количество занятых консультантов и кредитных специалистов. Статистика и график представлены на рис. 11.

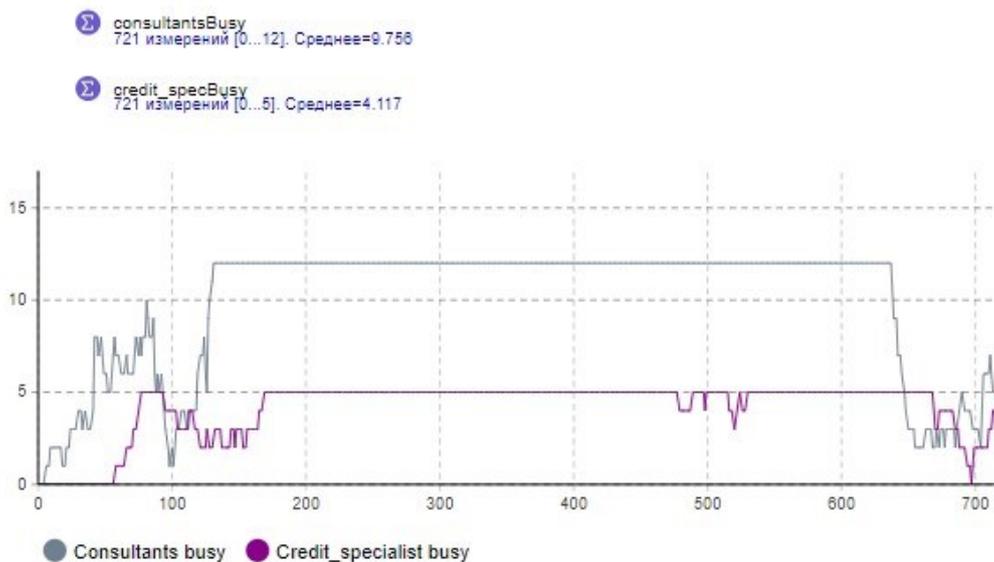


Рис. 11. Количество занятых специалистов.

Из статистики видно, что среднее количество консультантов 10 из 12 заняты в течение дня, максимальное число задействовано в час пик работы. Кредитные специалисты задействованы все. В выходные дня заняты в среднем 14 из 17 консультантов.

Рассмотрим очередь, образующуюся к специалистам, – например, к консультантам и кредитным специалистам очередь составляет в среднем 2 человека. Судя по параметрам (рис. 12), в течение дня очередь достигает 5 – 7 человек. В выходные дни очередь к консультантам составляет 3 человека, к кредитным специалистам – 5 человек, что недопустимо. Необходимо создать такие условия, чтобы очередь к специалистам сводилась к нулю.

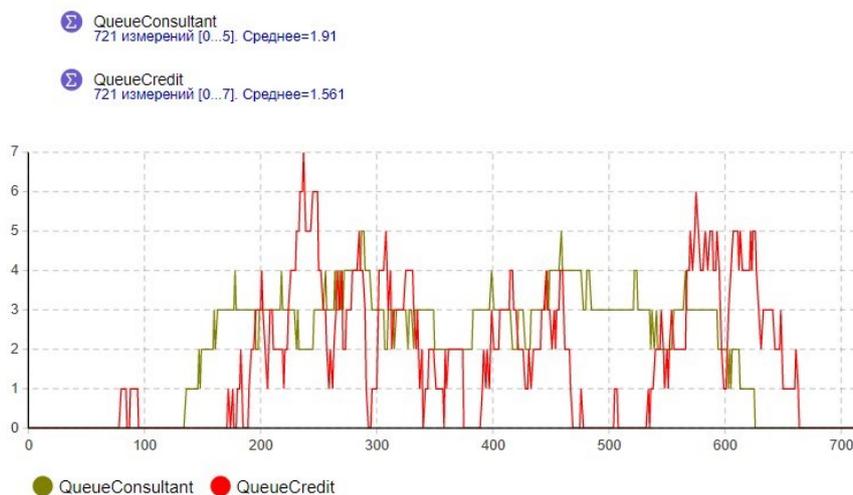


Рис. 12. Длина очереди к специалистам.

## Заключение

Имитационное моделирование позволяет создавать как модели новых систем для анализа эффективности перед разработкой реального прототипа, так и на основании уже существующих систем. Во втором случае созданная модель в максимальной степени обладает свойствами реального объекта. Такие системы создаются с целью анализа работоспособности, корректировки отдельных элементов или параметров, без внесения изменения в реальную систему [2].

В статье представлена имитационная модель супермаркета цифровой и бытовой техники. Введены начальные данные: интенсивность покупателей, количество сотрудников, время и особенности работы, реальное расположение стеллажей, касс, кредитной зоны. В результате получены выходные данные: среднее время обслуживания, среднее количество занятых сотрудников, длина очереди. Выявлена нехватка консультантов для немедленного обслуживания клиентов, без создания очереди.

Основной задачей оптимизации торговли является улучшение качества обслуживания. В данном супермаркете необходимо улучшить работу консультантов и кредитных специалистов. Этого можно достичь различными способами. Увеличение количества сотрудников нерационально, так как в течение дня нехватка их ощущается только в определенный период. Необходимо проводить различные тренинги, беседы для увеличения профессионализма сотрудников; это способствует более быстрому и квалифицированному обслуживанию клиентов. Следует оборудовать удобные места для проверки качества товара, ввести различные приложения для интернет-продаж, установить терминалы самообслуживания. Это снизит нагрузку консультантов, и они смогут оказать помощь тем, кто в ней нуждается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Афонин В.В., Федосин А.А.* Моделирование систем. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.
2. *Фомин В.Г.* Имитационное моделирование: учебное пособие. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, 2015.
3. *Боев В.Д.* Компьютерное моделирование. Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7. – СПб.: ВАС, 2014.
4. *Григорьев И.* AnyLogic за три дня: практическое пособие по имитационному моделированию. – 2017. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials>
5. *Ефромеева Е.В., Ефромеев Н.М.* Имитационное моделирование: основы практического применения в среде AnyLogic: учебное пособие. – Саратов: Вузовское образование, 2020.
6. *Лимановская О.В.* Имитационное моделирование в AnyLogic 7: В 2 ч. – Ч. 1: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017.
7. *Лимановская О.В.* Имитационное моделирование в AnyLogic 7: В 2 ч. – Ч. 2: лабораторный практикум. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017.
8. *Кирпичников А.П., Васильев В.Д., Нитишаев Р.А.* Анализ динамической модели регистрации в аэропорту с использованием средств AnyLogic // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 7. – С. 101-109.
9. *Мурушев Ф.А., Печеный Е.А., Нуриев Н.К.* Исследование поллинговых систем на основе имитационных моделей с использованием программного комплекса AnyLogic // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 109-114.
10. *Шамлицкий Я.И., Ковбаса Н.В., Мироненко С.Н., Шарипиев Д.С.* Моделирование транспортной инфраструктуры на основе программного продукта AnyLogic // Естественные и технические науки. – 2018. – № 12(126). – С.435-437.
11. *Шамлицкий Я.И., Охота А.С., Мироненко С.Н.* Моделирование транспортных потоков в среде AnyLogic // Программные продукты и системы. – 2018. – №3. – С.632-635.
12. *Димов Э.М., Маслов О.Н., Сухова С.В.* Имитационное моделирование деятельности отдела менеджмента качества на базе платформы AnyLogic // Информационные технологии. – 2017. – Т. 23, № 3. – С.172-177.
13. *Мutowкина Н.Ю.* Исследование и оптимизация поведения потребителей на рынке в программной среде AnyLogic // Системы управления и информационные технологии. – 2018. – № 4(74). – С. 39-43.
14. *Баран В.И., Баран Е.П.* Прогнозирование надежности элементов информационных систем с помощью инструментальных средств AnyLogic 7 // Вестник Российского университета кооперации. – 2016. – № 1(23). – С. 8-10.
15. *Калугин А.И.* Оптимизационный эксперимент в среде Anylogic // Наука и школа. – 2015. – № 4. – С. 168–173.
16. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. Задачи, принципы, методология Учебное пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2006.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.А. Шеленком*

*E-mail:*

*Максимова Надежда Николаевна – kpnatursu@mail.ru;*

*Тето Светлана Юрьевна – kpnatursu@mail.ru.*