



ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ КАССОВОЙ ЗОНЫ ГИПЕРМАРКЕТА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В. Е. Таратун, М. В. Галимова

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Представлена методика оптимизации работы кассовой зоны гипермаркета, основанная на использовании имитационного моделирования и теории массового обслуживания. На основе разработанной модели и проведенного анализа предложены рекомендации по управлению количеством касс и персонала, позволяющие повысить эффективность обслуживания покупателей и увеличить прибыльность торгового предприятия.

Ключевые слова: имитационное моделирование, система массового обслуживания, гипермаркет, теория массового обслуживания, анализ, касса.

Для цитирования:

Таратун, В. Е. Оптимизация работы кассовой зоны гипермаркета на основе имитационного моделирования и теории массового обслуживания / В. Е. Таратун, М. В. Галимова // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 2(45). – с. 42-46. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-2-42-46.

Введение

В условиях современной экономики, ключевую роль играет качественное обслуживание покупателей в розничной торговле. Как отмечают исследователи, с каждым годом в России увеличивается количество коммерческих предприятий, и этот процесс не может не влиять на экономику страны в целом. В наши дни все важнее становится розничная торговля [1]. Именно розничные предприятия обеспечивают непосредственный контакт с потребителем. Ему предлагаются товары и услуги, удовлетворяющие запросы. В этом процессе, важным этапом является работа кассовой зоны. От ее эффективности напрямую зависят скорость обслуживания, удовлетворенность покупателей и, как следствие, прибыльность торгового предприятия.

Для оптимизации работы розничных предприятий, в частности, для улучшения работы кассовых зон, активно применяются методы теории массового обслуживания (ТМО) [2].

Кассовая зона представляет собой классическую систему массового обслуживания (СМО), где потоком требований выступают покупатели, а каналами обслуживания – кассы [3]. ТМО предоставляет мощный математический аппарат для анализа и оптимизации подобных систем.

СМО – это система, предназначенная для обслуживания потока требований (заявок), поступающих в случайные моменты времени [4]. В зависимости от различных факторов, таких как количество каналов обслуживания, наличие или отсутствие очереди, дисциплина обслуживания, выделяют различные типы СМО [5].

В данной работе рассматривается применение ТМО к анализу кассовой зоны гипермаркета. Кассовая зона представляет собой многоканальную СМО с ограниченной длиной очереди и дисциплиной FIFO [6].

В качестве инструмента для имитационного моделирования была выбрана платформа AnyLogic, которая предоставляет широкие возможности для моделирования дискретно-событийных, агентных и гибридных систем [7].

Описание исследуемого гипермаркета

В качестве объекта исследования выбрана кассовая зона городского гипермаркета.

Кассовая зона располагается в передней части торгового зала и имеет 10 мест для ожидания в очереди. Режим работы гипермаркета - с 8:00 до 23:00 ежедневно.



Для моделирования кассовой зоны были определены следующие параметры:

Интенсивность потока покупателей составляет 90 человек в час.

Общее количество касс в кассовой зоне составляет 7 экспресс-касс (которые всегда открыты) и от 1 до 5 обычных касс.

Время, затрачиваемое кассиром на обслуживание одного покупателя, соответствует среднему времени 1.5 минуты.

Время, затрачиваемое покупателем на самообслуживание, соответствует среднему времени 0.75 минуты.

Вероятность того, что покупателю на экспресс-кассе потребуется помощь супервизора, составляет 20%.

Время, на которое увеличивается время обслуживания на экспресс-кассе в случае обращения к супервизору, равно случайному значению от 20 секунд до 3 минут.

Покупатели выбирают кассу с наименьшей очередью.

Порядок обслуживания покупателей в очереди соответствует принципу First-In-First-Out (FIFO) - "Первым пришел - первым обслужен".

Количество кассиров, работающих на обычных кассах, варьируется от 1 до 5.

Количество супервизоров, помогающих покупателям на экспресс-кассах и контролирующих работу кассовой зоны, также варьируется от 1 до 5.

Модель на рис. 1 разработана в AnyLogic с использованием дискретно-событийного подхода [8]. Она позволяет учитывать стохастический характер процессов.

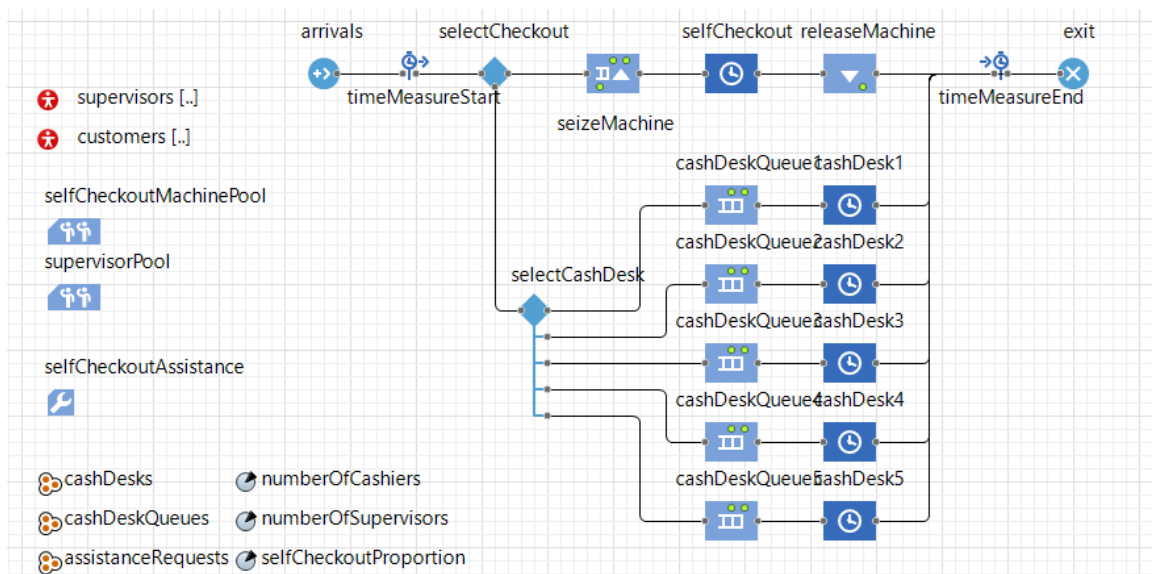


Рис. 1. Имитационная модель гипермаркета в AnyLogic

Для анализа результатов имитационного моделирования применяются методы ТМО. Для оценки пропускной способности системы используется следующая формула [9]:

Вероятность простоя системы (P_0):

$$P_0 = \left(\sum_{i=0}^n \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i}{i!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n+1}}{n! \left(n - \frac{\lambda}{\mu}\right)} \right)^{-1} \quad (1)$$

где: λ - интенсивность потока покупателей, μ - интенсивность обслуживания одной кассой, n - количество работающих касс.



Сценарии моделирования

Для оценки влияния различных факторов на эффективность работы кассовой зоны гипермаркета были проведены следующие эксперименты с имитационной моделью:

Изменение количества работающих обычных касс: Количество обычных касс варьировалось от 1 до 5 с шагом 1. Для каждого значения проводилось однократное моделирование работы кассовой зоны в течение заданного периода времени.

В каждом эксперименте фиксировались следующие показатели эффективности: среднее время ожидания в очереди, пропускная способность касс и средняя загрузка персонала на рис. 2.

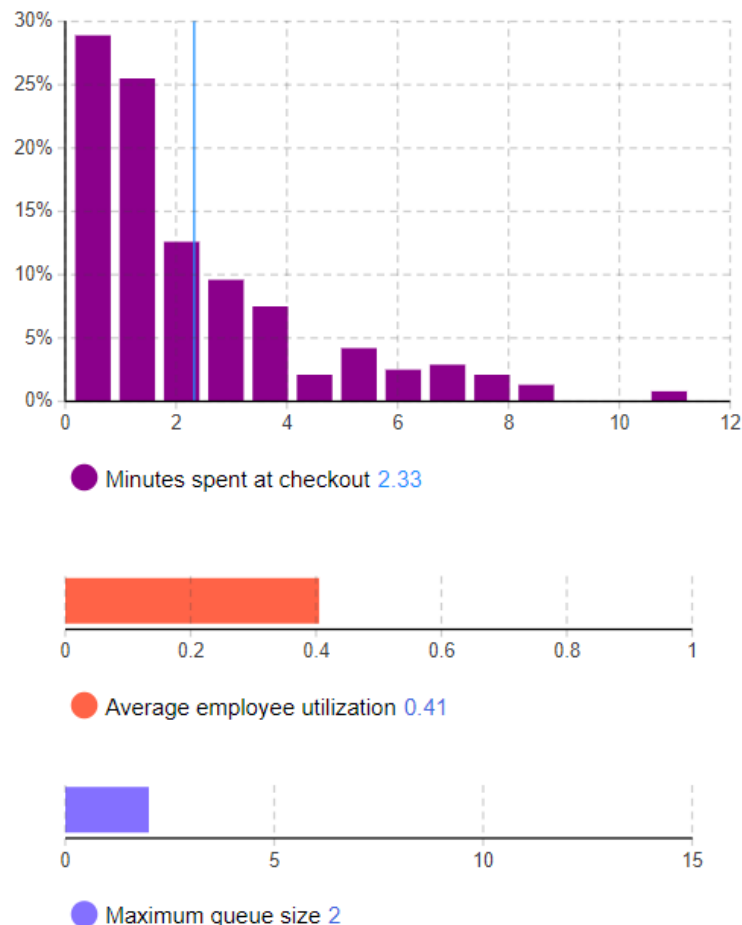


Рис. 2. Результат моделирования при трёх кассирах

Результаты моделирования в табл. 1 показывают, что увеличение количества работающих обычных касс приводит к снижению среднего времени ожидания в очереди, что положительно сказывается на удовлетворенности покупателей. При этом, увеличение количества касс также приводит к снижению средней загрузки персонала.

Таблица 1 – Результаты моделирования и анализа работы кассовой зоны

Кол-во обычных касс	Кол-во супер-визоров	Ср. время ожидания в очереди (мин)	Максимальная длина очереди	Ср. загрузка персонала	Результат	Вероятность простоя системы (P_0)
1	1	2,13	10	0,74	Ошибка	0,863
2	1	2,45	3	0,54	Успешно	0,870
3	1	2,33	2	0,41	Успешно	0,877
4	1	2,30	1	0,33	Успешно	0,883
5	1	2,16	1	0,25	Успешно	0,888



Для дальнейшего анализа эффективности работы кассовой зоны была рассчитана вероятность простоя системы для каждого случая. Результаты показывают, что с увеличением количества касс вероятность простоя системы увеличивается (рис. 3), что свидетельствует о менее интенсивном использовании кассовых аппаратов.

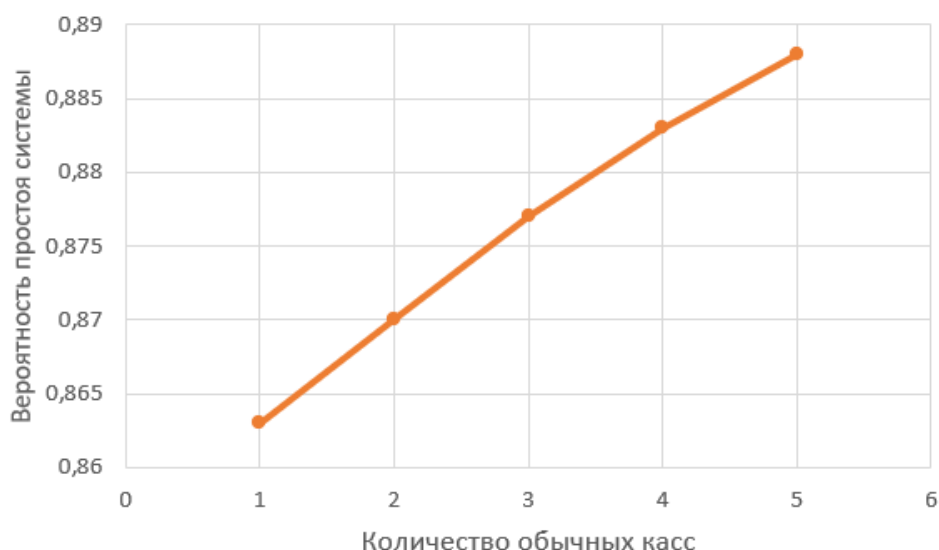


Рис. 3. График зависимости вероятности простоя системы от количества обычных касс.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что для данной конфигурации гипермаркета оптимальным является количество обычных касс, равное 2 или 3. При меньшем количестве касс система не справляется с нагрузкой, а при большем количестве наблюдается неэффективное использование ресурсов (низкая загрузка персонала).

Заключение

В данной работе была разработана имитационная модель кассовой зоны гипермаркета и проведен анализ влияния различных факторов (количество касс и интенсивность потока покупателей) на ее эффективность. Результаты моделирования показали, что для достижения высокой эффективности необходимо учитывать как среднее время ожидания в очереди, так и загрузку персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьякова, М. Е. Проектирование процесса оказания услуг на основе методов теории массового обслуживания / М. Е. Третьякова, А. Д. Смакуев, В. В. Филатов // Прикладные экономические исследования. – 2022. – № 2. – С. 24-31. – DOI 10.47576/2313-2086_2022_2_24.
2. Плескунов М. А. Теория массового обслуживания: учеб. пособие / М. А. Плескунов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун та, 2022. – 264 с.
3. Воробьев Э. И. Моделирование систем массового обслуживания в пакете ARENA 9.0: учеб. пособие / Э. И. Воробьев. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013 – 97 с.
4. Ермолаева, Е. Б. Оценка эффективности работы организации посредством моделирования СМО в системе программирования Scilab / Е. Б. Ермолаева, А. В. Филатова, И. В. Горелова // Научный вестник Волгоградского филиала РАНХиГС. Серия: Экономика. – 2018. – № 1. – С. 93-96.



5. Рассказова, М. Н. Имитационное моделирование систем: учеб. пособие / М. Н. Рассказова. – Омск: Омский государственный институт сервиса, 2010. – 80 с.
6. Ларкин Е. В. Моделирование компьютерных систем с FIFO-дисциплиной обработки прерываний / Е. В. Ларкин, А. Н. Привалов // Чебышевский сборник. – 2019. – №2 (70). – С 499-511.
7. Anylogic. Библиотека моделирования процессов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://anylogic.help/library-reference-guides/process-modeling-library/index.html#process-modeling-library> (дата обращения: 07.05.2025).
8. Круцких Т. К. Построение и исследование имитационной модели системы "Обработка заказов в интернет-магазине" с помощью AnyLogic / Т. К. Круцких // Достижения науки и образования. – 2016. – № 7(8). – С. 31-33.
9. Солнышкина И. В. Анализ организации обслуживания покупателей в зоне кассовых узлов предприятий розничной торговой сети Хабаровского края / И. В. Солнышкина // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2011. – № 2. – С. 74-77.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Таратун Виталий Евгеньевич

Канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А

E-mail: taratun.vitaliy@gmail.com

Галимова Мария Владимировна

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А

E-mail: Kivy123@mail.ru