

ний даёт возможность решить поставленную задачу. Данный микроконтроллер является мало потребляющим: его рабочее напряжение составляет от 6 В до 20 В [2].

Для разработки прошивки микроконтроллера использовалась программа Code Vision AVR C Compiler, а симуляция проводилась с использованием программы Proteus. На рисунке 1 представлена принципиальная схема устройства, разработанная в Proteus.

Для разработки схемы устройства (рисунок 2) использовались следующие элементы: микроконтроллер Arduino Mega 3.0; Bluetooth модуль HC-06 DIP; светодиодная матрица 16 × 16; блок питания 5V 3A.

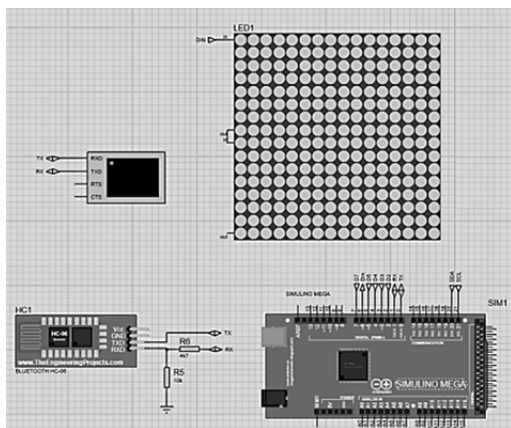


Рисунок 1 — Принципиальная схема устройства



Рисунок 2 — Схема получившегося устройства

Устройство ещё не собрано окончательно и проходит тестирование систем.

Заключение. В результате разработки был создан проект по управлению светодиодной матрицей на микроконтроллере, позволяющее выводить графическую информацию на светодиодную матрицу. Таким образом применение данному устройству можно найти в выводе текстовой информации в виде бегущей строки, либо в выводе графических изображений, что широко применимо в рекламной деятельности. Функция рисования может помочь в творческой деятельности для создания своих пиксель-артов. Таким образом данное устройство позволяет нам применять его во множестве сфер нашей жизни повседневно.

Список цитируемых источников

1. *Соммер, У.* Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freedom. / У. Соммер. — СПб. : BHV, 2013. — 256 с.
2. *Хофманн, М.* Микроконтроллеры для начинающих / М. Хофманн. — СПб. : BHV, 2013. — 304 с.

УДК 519.872

Д. С. Кислый, В. С. Бурмако, А. В. Шах

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАРКЕТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ТОЧКИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Введение. В настоящее время качество обслуживания как элемент бизнес-коммуникаций получает свое развитие по мере насыщения рыночной инфраструктуры точек общественного питания и обострения конкурентной борьбы. Для планирования численности персонала, оценки и оптимизации качества обслуживания клиентов можно воспользоваться методами теории массового обслуживания.

По методам теории массового обслуживания решаются многочисленные задачи в области маркетинга [1]. Так, в организации торговли эти методы позволяют определить оптимальное количество торговых точек данного профиля, численность продавцов в, частоту завоза товаров, другие параметры [2]. Другим характерным примером систем массового обслуживания могут служить составы или базы снабженческо-сбытовых

организаций; задача теории массового обслуживания сводится к тому, чтобы установить оптимальное соотношение между числом требований, поступивших на базу на обслуживание и числом обслуживающих устройств, при котором суммарные затраты на обслуживание и убытки от простоя транспорта или потери клиентов были бы минимальными [3; 4].

В качестве примера применения методов теории массового обслуживания рассмотрим задачу анализа деятельности точки общественного питания:

На автовокзале есть 3 кафе. Среднее время стоянки автобуса составляет 8 мин. Пассажир делает заказ в том кафе, где меньше очередь. Если за время 8 мин пассажира не успевают обслужить, то пассажир уходит из очереди. Пассажиры прибывают на автостанцию с интенсивностью 0,45 человек/мин. Среднее время обслуживания одного посетителя 2 мин. Средний чек покупки составляет 6,45 р. Требуется провести анализ эффективности деятельности кафе.

Основная часть. Аналитические математические модели представляют собой явные математические выражения выходных параметров как функций от параметров входных и внутренних. Аналитическое моделирование основано на косвенном описании моделируемого объекта с помощью набора математических формул, а также она представляет собой конструкцию, которую можно проанализировать и решить математическими средствами [5].

Согласно поставленной задаче составим математическую модель

Данная система моделируется многоканальной СМО с «нетерпеливыми» заявками.

Состояния системы:

- 1) S0 — система свободна (все точки свободны);
- 2) S1 — 1 точка занята, 2 точки свободны;
- 3) S2 — 2 точки заняты, 1 точка свободна;
- 4) S3 — все точки заняты.

Параметры системы:

1) число каналов обслуживания $n = 3$;

2) интенсивность входящего поток заявок $\lambda = 0,45$ (человек/мин);

3) интенсивность потока обслуживания $\mu = \frac{1}{2} = 0,5$ (человек/мин);

4) среднее время, ограничивающее пребывание заявки в очереди, $\bar{T}_{\text{ож}} = 8$ минут, следовательно, ин-

тенсивность потока уходов $\omega = \frac{1}{\bar{T}_{\text{ож}}} = \frac{1}{8} = 0,125$ (человек/мин);

5) средний чек покупки $S_{\text{покуп}} = 6,45$ р.;

6) стоимость аренды торгового места $S_{\text{аренд}} = 61$ р./день.

Определим интенсивность нагрузки: $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,45}{0,5} = 0,9$ (эрланга).

Интенсивность нагрузки $\rho = 0,9$ показывает степень согласованности входного и выходного потоков заявок канала обслуживания и определяет устойчивость системы массового обслуживания.

Определим приведенную интенсивность потока «уходов»: $\beta = \frac{\omega}{\mu} = \frac{0,125}{0,5} = 0,25$.

Поскольку $\rho / n = 0,3 < 1$, то очередь не растет безгранично, имеет смысл говорить о предельном стационарном режиме работы системы массового обслуживания.

Определим вероятность того, что все 3 кафе свободны (доля времени простоя каналов) по следующей

формуле: $P_0 = \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \right)^{-1}$.

Таким образом,

$$P_0 = \left(\sum_{k=0}^3 \frac{0,9^k}{k!} + \frac{0,9^3}{3!} \right)^{-1} = \left(1 + 0,9 + \frac{0,9^2}{2!} + \frac{0,9^3}{3!} + \frac{0,9^3}{3!} \right)^{-1} = 0,39.$$

Следовательно, 39 % в течение часа кафе будет не занят. Время простоя равно $t_{\text{пр}} = P_0 \times 60 = 0,39 \times 60 = 23,4$ мин. Получаем из 12 часов работы кафе 24 мин кафе не будет занято покупателями.

Определим вероятности состояний кафе по формуле: $P_k = \frac{\rho^k}{k!} \times P_0, k = 1, \dots, n$.

Вероятность того, что занято 1 кафе: $P_1 = \frac{\rho^1}{1!} \times 0,39 = 0,9 \times 0,39 = 0,351$.

Вероятность того, что заняты 2 кафе: $P_2 = \frac{\rho^2}{2!} \times 0,39 = \frac{0,9^2}{2} \times 0,39 = 0,158$.

Вероятность того, что заняты 3 кафе: $P_3 = \frac{\rho^3}{3!} \times 0,39 = \frac{0,9^3}{6} \times 0,39 = 0,048$.

Среднее число занятых кафе (среднее число заявок под обслуживанием) определим по следующей формуле: $\bar{K} = \sum_{k=1}^{n-1} k \times P_k + n \times \left(1 - \sum_{k=0}^{n-1} P_k\right)$.

Среднее число занятых кафе определим по формуле:

$$\bar{K} = \sum_{k=1}^2 k \times P_k + 3 \times \left(1 - \sum_{k=0}^2 P_k\right) = (1 \times 0,351 + 2 \times 0,158 + 3 \times (1 - 0,39 - 0,351 - 0,158)) = 0,87.$$

Среднее число покупателей в очереди: $\bar{N}_{оч} = \frac{\rho - \bar{K}}{\beta} = \frac{0,9 - 0,87}{0,25} = 0,12$.

Среднее число покупателей в системе определяется как сумма: $\bar{N}_{сис} = \bar{N}_{оч} + \bar{K} = 0,12 + 0,87 = 0,99$.

Абсолютная пропускная способность кафе определяется как: $A = \lambda - \bar{N}_{оч} \times \omega = 0,45 - 0,12 \times 0,125 = 0,435$.

Относительная пропускная способность кафе определяется как: $Q = \frac{A}{\lambda} = \frac{0,435}{0,45} = 0,97$.

Таким образом, при заданных параметрах 97 % обслуживаются системой и только 7 % «нетерпеливых» покидают ее необслуженными.

Среднее время, проведенное покупателем в очереди, рассчитывается по формуле Литтла:

$$T_{очр} = \frac{1}{\lambda} \times \bar{N}_{оч} = \frac{1}{0,45} \times 0,12 = 0,267.$$

Среднее время пребывания покупателя в системе $T_{сис}$ (в минутах): $T_{сис} = T_{очр} + \frac{Q}{\mu} = 0,267 + \frac{0,97}{0,5} = 2,21$.

Поскольку очереди практически нет ($\bar{N}_{оч} = 0,12$), то среднее время в очереди $T_{очр} = 0,267$ мин = 16,02 с и среднее время, проведенное в системе, складывается в основном из времени обслуживания одной заявки.

Каждое кафе занимается обслуживанием покупателей в среднем ежедневно в течение $0,9 \times (20 - 8) = 10,8$ ч = 648 мин.

За это время он обслуживает $648 \div 2 = 324$ покупателя, поэтому ежедневная выручка в среднем составит $324 \times 6,48 = 2\,099,52$ р.

Заключение. В ходе работы над проектом была построена математическая модель многоканальной системы массового обслуживания без ограничения на длину очереди, но с ограничением на время ожидания на примере анализа работы точки общественного питания.

Список цитируемых источников

1. Лапицкая, О. В. Принятие решений в маркетинге / О. В. Лапицкая, А. В. Шах // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого : науч.- практ. журн. — 2019. — № 2. — С. 62—69.
2. Назаров, А. А. Теория массового обслуживания : учеб. пособие / А. А. Назаров, А. Ф. Терпугов — Томск : Изд-во НТЛ. 2010. — 228 с.
3. Шах, А. В. Имитационное моделирование покупательского спроса / А. В. Шах // Молодые исследователи — регионам : материалы Междунар. науч. конф., Вологда, 18—19 апр. 2017 г. : в 4 т. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Вологод. гос. ун-т ; А. А. Синицын (отв. ред.). — Вологда : ВоГУ, 2017. — Т. 2. — С. 306—308.
4. Шах, А. В. Применение теории систем массового обслуживания в управлении торговым предприятием / А. В. Шах, А. А. Ермакова // Техника и технологии: инновации и качество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 20 дек. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т ; редкол. : В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. — Барановичи, 2019. — С. 32—34.
5. Шах, А. В. Компьютерное моделирование многоканальной системы массового обслуживания с ожиданием и ограничением на длину очереди / А. В. Шах, В. С. Бурмако // Современные тенденции в науке, технике, образовании : сб. науч. тр. по материалам X Междунар. науч.-практ. конф., Смоленск, 18 мая 2020 г. — Смоленск : Наукосфера. 2020. — С. 87—90.