

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТОРГОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье представлены результаты исследований, на основе которых предложена комплексная экономико-математическая модель и разработано программное обеспечение максимизации прибыли торгового предприятия за счет оптимизации системы массового обслуживания при нестационарном входном потоке и переменных характеристиках самой системы.

Эффективным методом решения задач оптимизации нестационарных систем массового обслуживания, как и многих других, не имеющих аналитического решения, является метод статистического моделирования, предусматривающий имитацию на ЭВМ процессов, протекающих в исследуемой системе. Математическое описание процесса в этом случае, как правило, задается описанием алгоритма процедуры расчета. Моделирующий алгоритм многократно воспроизводит изучаемый случайный процесс, накапливает сведения о его динамике и после обработки обеспечивает оценку показателей работы системы [1].

Аналитические решения задач массового обслуживания, широко используемые в прикладной практике, описывают стационарный период работы системы и построены с использованием пуассоновского потока событий. В то же время анализ продолжительности переходных периодов во многих случаях характеризуется тем, что они могут составлять существенную часть рабочего периода системы, поэтому, не учитывая период нестационарности, невозможно оптимизировать рабочие характеристики системы в целом, что весьма характерно для массового обслуживания в торговых предприятиях.

Таким образом, актуальность данной темы исследования продиктована необходимостью развития формализованных средств аппарата моделирования, анализа и оптимизации систем массового обслуживания с целью повышения эффективности их функционирования в нестационарных условиях.

Применительно к торговому предприятию предлагается схема взаимодействия потоков заявок и обслуживаний, а также формирования финансовых потоков, представленная на рисунке 1.

Изучение СМО начинается с анализа входящего потока требований, представляющего собой совокупность требований, которые поступают в систему и нуждаются в обслуживании. Входящий поток требований исследуется с целью выявления закономерностей этого потока и дальнейшего улучшения качества обслуживания [2].

В теории массового обслуживания, как правило, считается, что время между моментами поступления заявок в систему распределено по экспоненциальному закону (1) с интенсивностью входного потока заявок α (2), не зависящей от времени t .

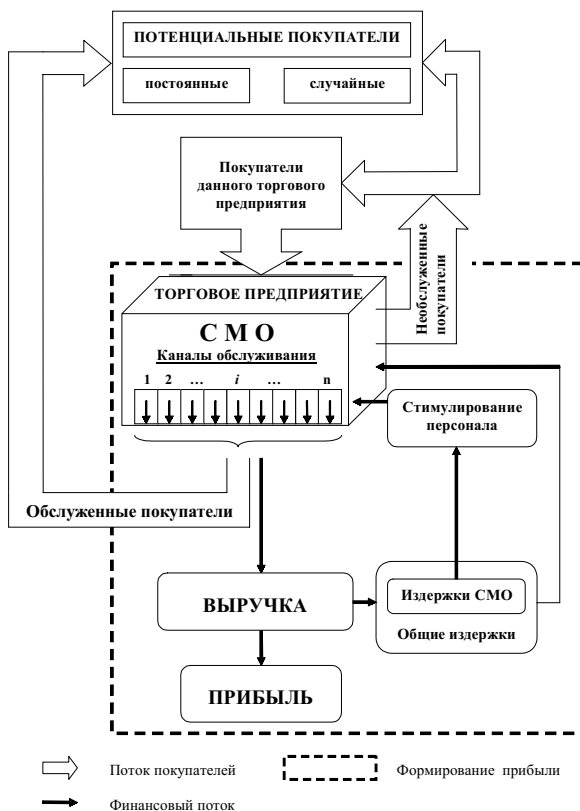


Рисунок 1. Схема формирования потоков в СМО торгового предприятия

$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\lambda = 1/m_{\text{вх}} \quad (2)$$

где $m_{\text{вх}}$ – среднее значение интервала времени между поступлением очередных заявок [3].

Реальная интенсивность входного потока торгового предприятия не является постоянной, она меняется в течение дня (утро, день, вечер, ночь), недели (выходные, будни) и месяца. Эти изменения связаны с занятостью работающего населения, с периодичностью поступления денежных средств, например получение заработной платы, а в течение года – с сезонными колебаниями. В данной работе рассматриваются изменения интенсивности в течение дня.

Для исследования интенсивности входного потока собрана статистическая информация, отражающая изменение интенсивности потока покупателей в течение дня конкретного торгового предприятия. На основании собранных статистических данных построена зависимость изменения интенсивности входного потока от времени, которая представлена на рисунке 2.

На этом рисунке линия, отражающая среднее значение, представляет эквивалентный теоретический стационарный подход к описанию входного потока а линия, отражающая статистику, воспроизводит модельный подход.

Анализ изменения интенсивности рассматриваемого входного потока, позволяет сделать следующие выводы: в течение дня в работе магазина существует два пика: первый – с 12 до 13.30, второй – с 17.30 до 20. Эти пики можно объяснить тем, что большинство людей в нашем городе имеют нормированный рабочий день, поэтому первый пик – обед, второй – окончание работы и возвращение домой «через магазин».

Флуктуации в районе 8 часов объясняется тем, что у многих людей рабочий день начинается в 9–10 часов и они заходят в магазин перед работой. Небольшой изгиб в районе 22–23 часов отражает поведение тех людей, которые вечером прогуливаются и по пути заходят в магазин.

Аппроксимация зависимости интенсивности входного потока на основе статистических данных осуществляется поэтапно. Сначала выделяется линейный тренд методом наименьших

квадратов. Затем выделяются остатки линейного приближения. После этого выделенные остатки моделируются разложением в ряд Фурье по косинусам с обратным отсчетом времени. Далее вычисляются модельные значения искомой функции в первом приближении. Применяемая процедура аппроксимации не дает достаточно точного результата, поэтому была дополнительно использована численная оптимизация найденных значений. В качестве меры расхождения между наблюдаемыми и расчетными значениями функции выбрана сумма модулей разностей, поскольку она обеспечивает повышенную робастность по сравнению с квадратичной мерой отклонений.

Для оптимизации использовалась процедура поиска минимума функции по методу Ньютона с квадратичной оценкой текущих координат решения, результаты которой представлены графически на рисунке 3. Как видно из приведенного рисунка, большая часть расчетных точек практически сливается с исходными данными.

В результате функция, описывающая изменение интенсивности входного потока в течение дня, имеет вид:

$$Y(i) = \sum_{j=0}^{17} D_j(\cos \omega_j(t_0 - t_i^*)) + a \cdot t_i + b, \quad (3)$$

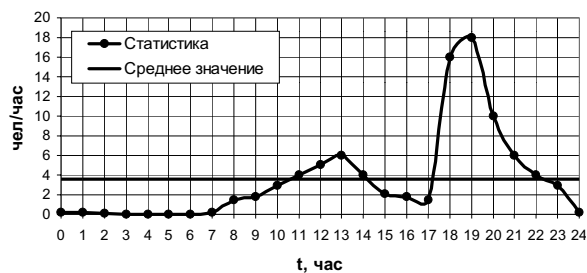


Рисунок 2. Изменение интенсивности входного потока

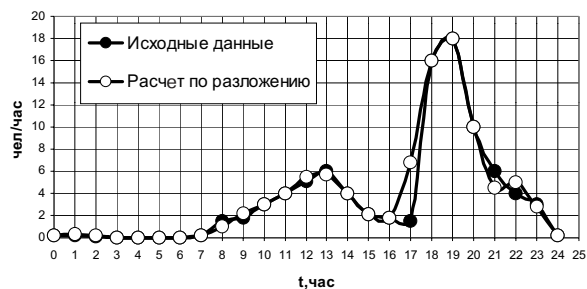


Рисунок 3. Результат уточненной аппроксимации

где $t_0=24$, $t_1 = \overline{0,24}$, $a = 0,336846$, $b = -0,492154$, а остальные параметры приведены ниже в таблице 1.

Далее вычисляется среднее значение полученной функции на промежутке от 0 до 24. В итоге средняя интенсивность входного потока составляет $\bar{Y} = 3.8742$.

Чтобы постоянный покупатель отказался приходить в магазин, необходимо, чтобы он систематически был неудовлетворен обслуживанием в данном магазине, т.е. только в долгосрочной перспективе можно говорить о влиянии неудовлетворенности покупателя в обслуживании на его последующий приход в магазин.

Если говорить о кусочно-линейной интенсивности входного потока покупателей, то можно предложить формулу, связывающую отказы и интенсивность входного потока:

$$\lambda_{n+1} = \frac{K_n + (1-\theta) \cdot (S_n + S'_n)}{D}, \quad (4)$$

где λ_{n+1} – интенсивность входного потока в следующем периоде,

θ – доля заявок получивших отказ и не пришедших больше,

K_n – число обслуженных заявок за время D в текущее периоде,

S_n – число отказов за время D в текущем периоде,

S'_n – число неявных отказов за время D в текущее периоде,

D – время работы магазина.

Отсутствие отказов также влияет на интенсивность входного потока в следующем периоде, что предлагается учесть следующим образом:

$$\lambda_{n+1} = \frac{K_n \cdot (1+\theta)}{D}, \quad (5)$$

где θ – доля людей привлеченных хорошим обслуживанием.

Таблица 1. Параметры уточнённой аппроксимации

<i>i</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>D(i)</i>	0,339	0,930	-0,545	-1,943	-1,767	-3,043	-1,043	0,021	1,609
$\square(i)$	0,000	0,130	0,261	0,392	0,523	0,654	0,785	0,916	1,047
<i>i</i>	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>D(i)</i>	1,635	0,716	-0,421	-0,808	-0,839	-0,736	-0,406	-0,075	0,026
$\square(i)$	1,178	1,309	1,439	1,570	1,701	1,832	1,963	2,094	2,225

Формулу (5) можно объяснить тем, что если покупатель каждый раз приходя в магазин, будет удовлетворен обслуживанием, то через некоторое время не только он, но и его знакомые будут обслуживаться в этом магазине, конечно при условии, что уровень обслуживания останется прежним.

Специфика труда операторов СМО обуславливает особенности управления трудовым поведением работников и процессами стимулирования [4].

Предлагается следующая модель стимулирования персонала:

1. Каждому работнику начисляется определенный оклад, который может изменяться в зависимости от проработанных лет.

2. Вводится коэффициент трудового участия (КТУ), который изменяется от 0,1 до 0,9. КТУ выставляется за каждый месяц (две недели). Таким образом, заработная плата каждого работника за месяц (две недели) определяется следующим образом:

$$ЗП = \text{Оклад} \cdot (1 + \text{КТУ}), \quad (6)$$

с учетом налога на доходы физических лиц (НДФЛ)

$$ЗП = \text{Оклад} \cdot (1 + \text{КТУ}) \cdot (1 - \text{ставкаНДФЛ}). \quad (7)$$

3. Если чистая прибыль, полученная магазином за месяц, превышает плановую величину, то разница выплачивается в виде премии, причём 20% от разницы выплачивается директору, а оставшаяся сумма делится между всеми работниками поровну, за исключением уборщиц – им премия не выплачивается.

Если $(ЧП_{\text{факт}} - ЧП_{\text{план}}) = \Delta > 0$, то премия директору $Пр(д) = 0,2 \cdot \Delta$, (8)

Премия остальным работникам (кроме уборщиц):

$$Пр = \frac{(1-0,2) \cdot \Delta}{ЧС}, \quad (9)$$

где $ЧС$ – число сотрудников, за исключением уборщиц.

Если при передаче выявляется недостача, то премии лишают всю смену.

Достоинством данной модели является то, что размер заработной платы не ограничен верхним пределом. Для определенного типа людей это является сильным стимулом. По данным исследований выявлено, что 85% продавцов относятся к так называемому типу «У». А это зна-

чит, что им нужны дополнительные стимулы, чтобы стремиться к более высоким показателям в работе [4].

Среди недостатков данной модели оплаты следует отметить то, что она не учитывает квалификацию продавцов (хотя учитывает опыт работы), а потому и не стимулирует её повышение. Модель оплаты стимулирует повышение качества услуг торговли лишь косвенно. Поскольку в магазинах работают бригады продавцов, то естественно, что зарплата каждого зависит от поведения коллег, т.е. премия продавца зависит от результатов работы всего магазина. В этом случае большое значение приобретает коллектив, в котором работает конкретный продавец.

В состав издержек системы массового обслуживания входят:

1. Оплата работы персонала, учитывающая КТУ.
 2. Хозяйственные нужды, коммунальные платежи.
 3. Налоги.
- В состав уплачиваемых налогов входят:
4. Отчисления в пенсионный фонд (ПФ) от фонда ЗП.
 5. Отчисления в фонд социального страхования (ФСС) от фонда ЗП.
 6. Единый налог на вмененный доход (ЕНВД) от налогооблагаемой базы, $НБ = (\text{Базовая доходность}) \cdot (\text{Физический показатель характеризующий данный вид деятельности}) \cdot K1 \cdot K2$ (Торговая площадь).

Для розничной торговли осуществляемой через объекты стационарной торговой сети, использующей торговые залы, физическим показателем является площадь торгового зала (в квадратных метрах) и базовая доходность, равная в исследуемом случае 1800 руб.

$K1$ - коэффициент-дефлятор устанавливаемый на календарный год и учитывающий изменение потребительских цен на товары (работы, услуги) в предшествующем периоде. Определяется Правительством.

$K2$ - корректирующий коэффициент базовой доходности, учитывающий совокупность особенностей ведения предпринимательской деятельности (ассортимент, сезонность, режим работы, величину доходов и т.д.) Значения $K2$ определяются правовыми актами муниципальных районов, городских округов, городов для

всех категорий налогоплательщиков в пределах от 0,005 до 1 включительно.

В итоге, издержки моделируются следующим образом:

$$C = Z \cdot (1 + p + f) + H + e \cdot (w \cdot g \cdot K1 \cdot K2 \cdot Q), \quad (10)$$

где C – величина издержек,

Z – заработная плата,

p – ставка налога по которой производятся отчисления в ПФ,

f – ставка налога по которой производятся отчисления в ФСС,

H – хозяйственные нужды,

e – ставка единого налога на вмененный доход,

w – базовая доходность,

g – физический показатель,

Q – торговая площадь.

Выручка моделируется как

$$V = K \cdot Sum, \quad (11)$$

где V – выручка от продаж,

Sum – средняя сумма чека,

K – число обслуженных заявок.

Прибыль торгового предприятия моделируется в зависимости от наценки на товары, минуя прямой расчет себестоимости товара с использованием закупочных цен:

$$P = V \cdot \left(d \cdot \frac{N1}{1 + N1} + (1 - d) \cdot \frac{N2}{1 + N2} \right), \quad (12)$$

где P – прибыль от реализации,

d – доля товаров первой необходимости,

$N1, N2$ – наценка на товары первой необходимости и на остальные товары.

Деление на товары первой необходимости и остальные товары вызвано тем, что на определенные товары должны устанавливаться определенные наценки. Законодательством определена максимальная величина наценки на товары первой необходимости равная 25%. Существуют также ограничения на величину наценки других групп товаров, но они мало отличаются от обычной величины наценки на нерегламентированные товары, поэтому деление товаров производится только на две группы: товары первой необходимости и остальные товары.

Недополученная прибыль рассчитывается следующим образом:

$$NP = S \cdot Sum \cdot \left(d \cdot \frac{N1}{1 + N1} + (1 - d) \cdot \frac{N2}{1 + N2} \right), \quad (13)$$

где NP – недополученная прибыль,

S – число отказов (с учётом неявных отказов).

Чистая прибыль определяется как разность между прибылью и издержками.

Для численного анализа и максимизации прибыли торгового предприятия при управлении характеристиками системы расчётно-кассового обслуживания в среде MATLAB 7.0 создана программа «Оптимизация деятельности торгового предприятия»¹.

Для выяснения соотношений характеристик СМО, работающих в стационарных и нестационарных условиях выполнен численный эксперимент с использованием созданной программы. При прочих равных условиях, соответствующих характеристикам небольшого торгового предприятия, рассматриваются три случая, при которых интенсивность входного потока λ изменяется от 0,1 до 2,0, а интенсивность обслуживания имеет фиксированные значения: $\mu_1=0,2$, $\mu_2=0,5$ (рис. 4 а, б).

На графиках рисунков 4а и 4б линия «мод» отражает значения моделируемые программой, при условии, что интенсивность входного потока и потока обслуживаний в течение дня не изменяются, т. е. равны средним значениям нестационарного случая. Наблюдаемая здесь не-

стационарность объясняется наличием переходного периода, обусловленным включением и выключением СМО.

Линия «мод1» отражает значения моделируемые программой при нестационарной интенсивности входного потока описываемой зависимостью (3) и, безусловно, с учетом переходного периода. Результат получен при использовании процедуры статистического имитационного моделирования.

Линия обозначенная «теор» соответствует установившемуся режиму при стационарном воздействии, здесь используется аналитическое решение.

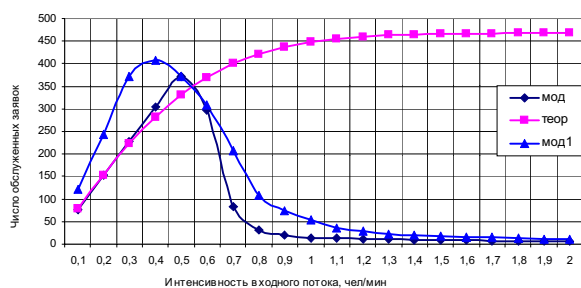
Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод о том, что формулы, приведенные в теории массового обслуживания, описывают исследуемую систему с достаточной точностью только до того момента пока отношение интенсивности входящего потока к интенсивности обслуживания меньше, либо равно количеству каналов. Если это условие нарушается, то теоретические формулы дают сильно завышенные значения. Но и когда это условие выполняется, теоретические значения совпадают только с теми модельными значениями, которые рассчитаны при условии, что интенсивность входного потока в течение дня остается постоянной.

В качестве апробации предлагаемой методики и программного обеспечения рассматривается торговое предприятие ООО «Атолл», являющееся магазином самообслуживания. В магазине работает 27 человек, а именно: 8 кассиров, 10 продавцов – консультантов, 4 менеджера, 3 уборщицы, 1 директор, 1 бухгалтер. Кассиры, продавцы – консультанты и менеджеры работают в две смены.

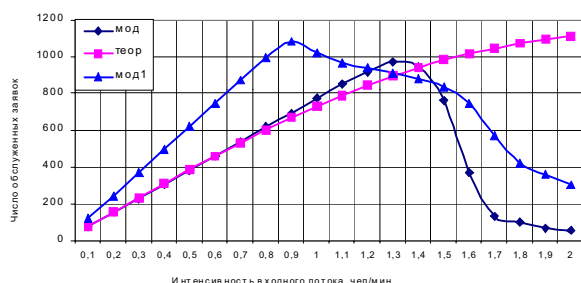
Оплата труда. Оклад: кассир – 8000 руб/мес, продавец–консультант – 6000 руб/мес, менеджер – 15000 руб/мес, уборщица – 7000 руб/мес, директор – 20000 руб/мес, бухгалтер – 20000 руб/мес.

Начисление заработка за месяц соответствует рассмотренной ранее модели стимулирования сотрудников торгового предприятия (7), (8), (9).

Режим работы с 8.00 до 21.00. Торговая площадь: 600 м².



а) динамика обслуженных заявок, $\mu=0,2$



б) динамика обслуженных заявок, $\mu=0,5$

Рисунок 4

¹ Программа является зарегистрированным программным продуктом. Номер государственной регистрации 50200801789 от 19.08.2008

Количество касс: 4 кассы. Хозяйственные нужды: 400000 руб.

Средний чек: 250 руб. Количество покупателей в день: 6000 чел.

Стоимость одного кассового аппарата: 30000 руб.

Доля товаров первой необходимости: 20%.

Наценка на товары первой необходимости 25%, а на остальные 60%.

Кассир в среднем обслуживает одного покупателя за 30 секунд, а покупатель в среднем ожидает в очереди 6-9 минут.

Программным путём имитировалась работа данного магазина за период равный 30 дням. Основные результаты статистического имитационного моделирования и оптимизации СМО ООО «Атолл» приведены в таблице 2.

Значительный размер расчётной недополученной прибыли определяет потенциальные

Таблица 2. Оптимизация характеристик СМО ООО «Атолл»

Состояние СМО	Число каналов	Прибыль, руб	Недополученная прибыль, руб
Исходное	4	11093370	12125318
Оптимизированное (прогноз)	7	23199172	отсутствует

возможности оптимизации характеристик системы расчётно-кассового обслуживания.

Выполненная оптимизация показала, что при использовании семи каналов обслуживания отказы будут отсутствовать, и, следовательно, исчезнет недополученная прибыль. Кроме того численный эксперимент показал, что целесообразно использовать дополнительные три кассы, начиная с 18.00 и до 20.00, однако экономический эффект от этого мероприятия проявится только в долгосрочной перспективе.

Список использованной литературы:

1. Шимко П.Д. Оптимальное управление экономическими системами [Текст]. – М.: Дело, 2004 – 215 с.
2. Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст]/ Б.В.Гнеденко, И.Н.Коваленко. – М.: URSS: Ком Книга, 2005. – 135 с.
3. Хинчин, А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания [Текст] / А. Я. Хинчин; под ред. Б. В. Гнеденко. – М.: УРСС, 2004. – 267 с.
4. Кибанова А. Я. Управление персоналом организации [Текст]: учебник / под ред. А. Я. Кибанова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 638 с.
5. Фомин, Г. П. Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности [Текст] / Г. П. Фомин. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 246 с.