К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТОРГОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Дуплякин В.М., Княжева Ю.В.

Россия, г. Самара, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Аннотация: Рассматривается алгоритмизация математической модели системы массового обслуживания торгового предприятия с последующей численной реализацией на основе метода статистического имитационного моделирования. На примере реального торгового предприятия, демонстрируется экономическая эффективность внедрения разработанной методики и программного обеспечения оптимизации системы массового обслуживания в торговле.

Ключевые слова: Оптимизация, торговое предприятие, массовое обслуживание покупателей, эффективность оптимизации

Предлагается использовать статистическую имитационную модель (СМО) торгового предприятия, работающего в нестационарных условиях, включающую следующие компоненты [1, 2]:

- **Модель входного потока заявок,** представляющая собой зависимость интенсивности входного потока от времени $\lambda_g(t)$ ($g=\overline{1, period}$) при определенной средней интенсивности λ, где $period$ - период работы магазина в днях [3, 4].

Для исследования интенсивности входного потока собирается статистическая информация, отражающая изменение интенсивности входного потока покупателей в течение дня и в зависимости от дня недели $y_{1g}, y_{2g}, \ldots, y_{Ng}$ для конкретного торгового предприятия. $t_1, t_2, \ldots, t_N$ - время замера интенсивности входного потока в течение каждого дня недели, где N – число промежутков времени замера интенсивности входного потока. Аппроксимация полученных статистических данных осуществляется при помощи интерполяционного кубического сплайна $S_g(t)$ кусочно-полиномиальной формы с заданием краевых условий, т.е. на каждом участке $[t_j, t_{j+1}]$ с номером j приближающая функция $S_g(t)$ представляется в виде полинома

$P_j(t) = \sum_{i=0}^{k-1} a_i^{(j)} (t - t_j)^i$, $(k-1=3)$. Краевые условия заключаются в совпадении значений первой и второй производных на границах промежутков $[t_1, t_N]$.

Построение сплайна сводится к определению множества коэффициентов a_i^j посредством решения систем линейных уравнений. Интерполяционный сплайн $S_g(t)$ строится таким образом, чтобы для таблично заданной функции y_g выполнялось условие интерполяции $S_g(t_i) = y_g(t_i),\ i = 1, \ldots, N$.

$$\lambda_g(t) = \frac{\lambda}{\overline{S}_g(t)} \cdot S_g(t),\ \overline{S}_g(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_g(t_i)}{N},$$

где λ - фактическая средняя интенсивность входного потока в течение дня, чел/час.

- **Модель потока выходов из очереди**. В данной модели время ожидания r-ой заявки для g-ого дня работы магазина $t_{r,g}^{отказ}$ считается случайной величиной, распределённой по заданному закону (нормальный закон, равномерный, закону Пуассона) с параметром $\nu_{r,g} > 0$, (для двухпараметрических законов математическим ожиданием случайной величины является интенсивность потока необслуженных заявок $\nu_{r,g}$, а отклонение – определённый процент от интенсивности). Причём $t_{r,g}^{отказ}$ – максимально возможное время ожидания r-ой заявки в очереди для g-ого дня работы магазина, а $\nu_{r,g}$ - интенсивность потока необслуженных заявок в момент поступления r-ой заявки для g-ого дня работы магазина [1, 2]

$$\nu_{r,g} = c \cdot e^{b \cdot F_{r,g}^{очер}},\ r = \overline{1, N_g},\ g = \overline{1, period},$$

где c, b - константы;

e - основание натурального логарифма;

$F_{r,g}^{очер}$ - число человек в очереди около данной кассы в момент поступления r-ой заявки для g-ого дня работы магазина, чел.

Существует такое значение длины очереди F^*, определяемое по

статистическим данным, при котором покупатель покидает магазин сразу при входе, как только видит людей у каждой кассы большее, чем F^*.

В итоге, время ожидания r-ой заявки для g-ого дня работы магазина $t_{r,g}^{отказ}$ представляет собой случайную величину, распределённую по заданному закону (нормальный закон, равномерный, закон Пуассона) с параметром $\nu_{r,g} > 0$ при условии, что среднее число человек около каждой кассы $F^{очер}$ не превышает значения F^*, т.е. $0 \le F^{очер} < F^*$, в противном случае, при $F^{очер} \ge F^*$ $t_{r,g}^{отказ} = 0$.

Исходя из особенностей поведения покупателей в очереди, в данной работе рассматривается две разновидности модели потока уходов, которые различаются способом определения интенсивности потока необслуженных заявок:

1. «Терпеливые» покупатели: $\nu_{r,g}$ - является входным параметром модели и представляет собой некоторую среднюю величину, определяемую по статистическим данным.

2. «Нетерпеливые» покупатели: $\nu_{r,g}$ - определяется по приведённой выше формуле.

- **Модель обслуживания покупателей** в СМО торгового предприятия, предлагаемая в данной работе, строится с использованием следующих характеристик [1, 2]:

Время поступления r-ой заявки $t_{r,g}^{пост}$ для g-ого дня работы магазина.

Время наполнения корзины r - ым покупателем, для g-ого дня работы магазина, $t_{r,g}^{нап.кор}$ - случайная величина, имеющая непрерывное равномерное распределение на отрезке $[a,b]$, где $a,b \in \Re$, при $a = nap_min$ и $b = nap_max$. Если $t_{r,g}^{отказ} = 0$, то $t_{r,g}^{нап.кор} = 0$.

Время обслуживания r-ой заявки – для g-ого дня работы магазина $t_{r,g}^{обсл}$ - непрерывная случайная величина, имеет показательное распределение с параметром $\mu > 0$, она принимает только неотрицательные значения, а её

плотность и функция распределения зависят от выбранного закона распределения (экспоненциальный закон, нормальный, закон Пуассона, равномерный закон).

Время освобождения кассы. При моделировании времени освобождения кассы учитывалась следующая особенность поведения покупателей в очереди: покупатель подходит для обслуживания к той кассе, где очередь двигается быстрее. $t_{q,g}$ – время окончания обслуживания q – ой кассой одной из N_g заявок.

Число обслуженных заявок. Обслуженной считается заявка, которую успели обслужить до окончания времени работы системы T_2.

$Q_{r,g}(t_{i,g}^{пост}, t_{i,g}^{нап.кор}, t_{i,g}^{обсл}, t_{i,g}^{освоб}, t_{i,g}^{отказ})$ $(i = \overline{1, r-1})$ - число обслуженных заявок к моменту поступления r-ой заявки $t_{r,g}^{пост}$ для g-ого дня работы магазина.

Число отказов. Отказом считаются следующие ситуации: заявка поступила в СМО, попала в очередь и не дождалась начала обслуживания; заявка поступила в СМО, время работы системы закончилось, а обслуживание заявки так и не началось.

$S_{r,g}(t_{i,g}^{пост}, t_{i,g}^{нап.кор}, t_{i,g}^{освоб}, t_{i,g}^{отказ})$ $(i = \overline{1, r-1})$ - число отказов к моменту поступления r-ой заявки $t_{r,g}^{пост}$ для g-ого дня работы магазина.

Число человек в очереди или длина очереди – это количество человек, которое в данный момент времени стоит в прикассовой зоне и ждёт начала обслуживания плюс те, которые непосредственно обслуживаются.

Число человек в очереди $F_{r,g}^{очер}$ на момент поступления r-ой заявки $t_2 = t_{r,g}^{пост}$, для g-ого дня работы магазина.

Фактическое время ожидания r–ой ***заявки в очереди*** $t_{r,g}^{ожид}$ - это время, которое заявка проводит в очереди в ожидании обслуживания, $t_{r,g}^{ожид}(t_{r,g}^{пост}, t_{r,g}^{нап.кор}, t_{r,g}^{освоб}, t_{r,g}^{отказ}, T_2)$ - дискретная функция, вычисляется алгоритмически.

Время пребывания заявки в СМО $t_{r,g}^{преб}$ - это время, которое покупатель находится в магазине, $t_{r,g}^{преб}(t_{r,g}^{пост}, t_{r,g}^{нап.кор}, t_{r,g}^{освоб}, t_{r,g}^{отказ}, T_2)$.

Время закрытия дверей $t_g^{закр}$ - это момент времени, когда прекращается поступление покупателей в магазин, с целью успеть обслужить уже находящихся в магазине покупателей до его закрытия в момент времени T_2.

- **Модель прикассовой зоны** определяет выручку от продаж сопутствующих товаров в прикассовой зоне в зависимости от скорости, с которой покупатель проходит эту зону [5].

Предлагается следующая модель выручки от продаж в прикассовой зоне:

$$V_{pz} = c \cdot \sum_{g=1}^{period} \left[\sum_{k=1}^{Q_g} K_{k,g} \right], \; g = \overline{1, period}$$

где $V_{pz} = V_{pz}(Q_g, K_g)$ - средняя выручка от продажи товаров в прикассовой зоне за период работы *period*, руб.;

$Q_g = Q(n, \lambda(t), \mu, \nu, T)$ - число обслуженных человек за g-ый день работы магазина, чел.;

c - средняя цена единицы товара в прикассовой зоне, руб.;

$K_{k,g}$ - количество товаров, купленное k - ым покупателем в прикассовой зоне за g – ый день работы магазина , шт.

$K_{k,g} = K(\upsilon)$ зависит от скорости прохождения покупателем прикассовой зоны $\upsilon_{k,g}$.

- Особенностью **модели стимулирования операторов** СМО торгового предприятия является учёт КТУ (коэффициент трудового участия) и поощрение в виде премии.

- **Модель издержек** СМО торгового предприятия. Издержки включают в себя фонд заработной платы, основные налоги и ЕНВД (единый налог на вменённый доход).

- **Модель получения и оптимизации прибыли** в СМО торгового предприятия.

Выручка за один отчетный период (месяц) моделируется следующим образом:

$$V = Q \cdot Chek,$$

где $V = V(Q)$ – выручка от продаж, руб.;

$Q = Q(n, \lambda(t), \mu, \nu, T)$ – число обслуженных заявок за период работы магазина *period*, чел.;

Chek – средняя сумма чека, руб.

Прибыль моделируется в зависимости от наценки на товары, т.к. не предусмотрен прямой расчет себестоимости товара и закупочных цен:

$$P = V \cdot (d \cdot \frac{N_1}{1+N_1} + (1-d) \cdot \frac{N_2}{1+N_2}) - C,$$

где $P = P(Q)$ – чистая прибыль за один отчетный период, руб.;

d – доля товаров первой необходимости в стоимостном выражении;

N_1 – наценка на товары первой необходимости;

N_2 - наценка на остальные товары,

C – величина издержек за один отчетный период, руб.

Доля товаров первой необходимости *d* рассчитывается через отношение продажных цен товаров в рублях, т.е. *d* – отношение суммарной цены всех товаров первой необходимости к суммарной цене всех товаров в магазине.

Недополученная прибыль рассчитывается по формуле:

$$P_N = S \cdot Chek \cdot (d \cdot \frac{N_1}{1+N_1} + (1-d) \cdot \frac{N_2}{1+N_2}),$$

где $P_N = P_N(S)$ - недополученная прибыль за один отчетный период, руб.;

$S = S(n, \lambda(t), \mu, \nu, T)$ – число отказов, чел.

Оптимизация СМО заключается в определении такого числа каналов обслуживания *n*, при котором число обслуженных заявок $Q = Q(n, \lambda(t), \mu, \nu, T)$ обеспечивает максимум функции чистой прибыли

$$P(Q) = Q \cdot Chek \cdot (d \cdot \frac{N_1}{1+N_1} + (1-d) \cdot \frac{N_2}{1+N_2}) - (C \pm \Psi) \xrightarrow[n]{} \max,$$

где Ψ - параметр, который используется со знаком «+», если число каналов обслуживания увеличивается и со знаком «-», если число каналов обслуживания уменьшается.

При соблюдении ограничений:

$$n \geq 1 \ , \ P(Q) > 0$$

$$\Psi = Q_{kass} \cdot (C_{kass} + 2 \cdot \frac{Zp_{kass}}{ЧС_{kass}} \cdot (1 + pf + fss + ffoms)) \, ,$$

где Q_{kass} - число дополнительных каналов обслуживания, при условии, что параметр Ψ используется со знаком «+», или число лишних каналов обслуживания, при условии, что параметр Ψ используется со знаком «-»;

C_{kass} - стоимость кассового бокса, руб.;

Zp_{kass} - заработная плата всех кассиров за один отчетный период, руб.;

$ЧС_{kass}$ - общее число кассиров, чел.;

pf – ставка налога по которой производятся отчисления в ПФ;

fss – ставка налога по которой производятся отчисления в ФСС;

$ffoms$ - ставка налога по которой производятся отчисления в ФФОМС.

Оптимальное решение является целочисленным (число каналов обслуживания) и всегда существует.

Рассматриваемая модель реализована в программной среде Matlab R2011a (7.12.0.635) [6]. Рабочей переменной предлагаемой модели является число работающих касс, поэтому задача оптимизации сводится к перебору целочисленных значений, что не представляет технических трудностей. С другой стороны, данная модель содержит большое число рабочих параметров, которые, например, характеризуют систему стимулирования кассиров, особенности открытия и закрытия дверей торгового зала и многое другое. Подбор рациональных значений этих параметров обычно выполняется из соображений организационно-экономической целесообразности и может быть реализован в ручном режиме.

Апробация разработанного программно-методического инструментария [7, 8, 9] проведена применительно к торговому предприятию, которое является

магазином самообслуживания торгово-розничной сети «Магнит» в г. Самара, кроме того разработанная методика и программное обеспечение использованы в совершенствовании деятельности торгового предприятия ООО «Ястреб». Итогом оптимизации СМО данного торгового предприятия стало увеличение прибыли на 17% ежемесячно за счёт введения одной дополнительной кассы и повышения производительности труда кассиров за счёт материального стимулирования, и как следствие улучшение качества обслуживания покупателей. Итоговая интенсивность обслуживания увеличилась с 20 чел/час до 25 чел/час, этого удалось достичь за счёт повышения КТУ кассирам с 1,0 до 1,35, что соответствует 35%-ому увеличению оплаты труда. Среднемесячный экономический эффект внедрения оптимизации кассового обслуживания составляет 550 тыс. рублей.

Список литературы

1. Дуплякин, В.М. Моделирование системы массового обслуживания торгового предприятия [Текст] / В.М. Дуплякин, Ю.В. Скогарева// Вестник Оренбургского государственного университета. Серия: экономические науки. - 2009. - №1(95). - С. 67-72.

2. Дуплякин, В.М. Имитационное моделирование нестационарной системы массового обслуживания торгового предприятия [Текст] / В.М. Дуплякин, Ю.В. Княжева// Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: экономика и менеджмент. - 2009. - №41(174). - С. 79-84.

3. Дуплякин, В.М. Выбор закона распределения входного потока заявок при моделировании системы массового обслуживания торгового предприятия [Текст] / В.М. Дуплякин, Ю.В. Княжева// Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва. - 2012. - №6(37). - С. 102-111.

4. Княжева, Ю.В. Моделирование входного потока в системе массового обслуживания торгового предприятия [Текст] / Ю.В. Княжева // Актуальные проблемы современной России: сборник научных трудов под ред. А.А. Оводенко. Вып. 5. – СПб.: ГУАП, 2009. - С. 159-164.

5. Дуплякин, В.М. Моделирование обслуживания в прикассовой зоне торгового предприятия / В.М. Дуплякин, Ю.В. Княжева // Международный научно-исследовательский журнал. - 2016. - № 9 (51) Часть 1. - С. 36-39. doi: 10.18454/IRJ.2016.51.100.

6. Программа «Оптимизация деятельности торгового предприятия» [Текст]: Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №11283 в ФГНУ «Государственный координационный центр информационных технологий»

Отраслевой Фонд Алгоритмов и Программ, № гос. регистрации: 50200801789 от 19.08.2008 / Автор Ю.В. Скогарева.

7. Княжева, Ю.В. Моделирование входного потока в системе массового обслуживания торгового предприятия [Текст] / Ю.В. Княжева // Проблемы экономики современных промышленных комплексов (I часть): сб. ст. IV Всерос. науч.-практ. конф. Вып. 4. Под ред. Зибарева А.Г., Новикова Д.А. – Самара: изд. СГАУ, 2008. – С. 18-24.

8. Княжева, Ю.В. Влияние закона распределения входного потока на статистические характеристики выходных параметров системы массового обслуживания [Текст] / Ю.В. Княжева // Управление организационно-экономическими системами: моделирование взаимодействий, принятие решений: сборник научных статей. Вып. 9. Под общ.ред. Д.А. Новикова. – Самара: изд. СГАУ, 2012. – 80 с. С. 31-35.

9. Княжева, Ю.В. Повышение эффективности системы массового обслуживания торгового предприятия посредством численного статистического моделирования [Текст] /Ю.В. Княжева// Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: социально-экономические науки. - 2014. - Том 14. Вып. 2. - С. 83-100.

TO THE QUESTION OF EFFICIENCY OF OPTIMIZATION OF MASS SERVICE OF A TRADING ENTERPRISE

V.M. Duplyakin, Yu.V. Knyazheva

Russia, Samara National Research University

Abstract: Algorithmization of the mathematical model of the queuing system of a trading enterprise with subsequent numerical implementation based on the method of statistical simulation is considered. Using the example of a real trading enterprise, the economic efficiency of implementing the developed methodology and software for optimizing the queuing system in trade is demonstrated.

Keywords: Optimization, trading enterprise, mass customer service, optimization efficiency

References

1. Duplyakin, V.M. Modeling of the system of mass service of the trading enterprise [Text] / B.M. Duplyakin, Yu.V. Skogareva // Bulletin of the Orenburg State University. Series: economics. - 2009. - No. 1 (95). - P. 67-72.

2. Duplyakin, V.M. Simulation modeling of non-stationary queuing system of a commercial enterprise [Text] / V.M. Duplyakin, Yu.V. Knyazheva // Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management. - 2009. - No. 41 (174). - P. 79-84.

3. Duplyakin, V.M. Choice of the law of distribution of the input stream of applications for modeling the queuing system of a commercial enterprise [Text] / V.M. Duplyakin, Yu.V. Knyazheva // Bulletin of the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov. - 2012. - № 6 (37). - P. 102-111.

4. Knyazheva, Yu.V. Simulation of the input flow in the queuing system of the trading enterprise [Text] / Yu.V. Knyazheva // Actual problems of modern Russia: a collection of scientific works under the ed. A.A. Ovodenko. Issue. 5. - SPb .: GUAP, 2009. - pp. 159-164.

5. Duplyakin, V.M. Modeling of the service in the cashier zone of the trading company / V.M. Duplyakin, Yu.V. Knyazheva // International Scientific and Research Journal. - 2016. - No. 9 (51) Part 1. - P. 36-39. doi: 10.18454 / IRJ.2016.51.100.

6. Program "Optimization of the activity of a trading enterprise" [Text]: Certificate of industrial registration of development No. 11283 in FGNU "State Coordination Center for Information Technologies"

Sectoral Fund for Algorithms and Programs, No. gos. registration: 50200801789 dated August 19, 2008 / Author Yu.V. Skogarev.

7. Knyazheva, Yu.V. Simulation of the input flow in the queuing system of the trading enterprise [Text] / Yu.V. Knyazheva // Problems of the Economics of Modern Industrial Complexes (Part I): coll. Art. IV Vseros. scientific-practical. Conf. Issue. 4. Ed. Zibareva AG, Novikova DA - Samara: ed. SSAU, 2008. - P. 18-24.

8. Knyazheva, Yu.V. Influence of the law of distribution of the input stream on the statistical characteristics of the output parameters of the queuing system [Text] / Yu.V. Knyazheva // Management of organizational and economic systems: modeling of interactions, decision-making: a collection of scientific articles. Issue. 9. Under common . red. YES. Novikov. - Samara: ed. SSAU, 2012. - 80 with. Pp. 31-35.

9. Knyazheva, Yu.V. Increase the efficiency of the mass service system of a trading enterprise through numerical statistical modeling [Text] / Yu.V. Knyazheva // Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Socio-economic sciences. - 2014. - Volume 14. Issue. 2. - P. 83-100.