Выбор стратегии продавца на электронной торговой площадке

М.А. Шмелев, email: shmelev1996@mail.ru
М.Г. Матвеев, email: mgmatveev@yandex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Рассматривается задача выбора оптимальной стратегии продавца на электронной торговой площадке. Необходима правильная оценка количества сделок, от которой зависит прибыль продавца на рынке. Поэтому проведено сравнение среднего арифметического с интегралом Шоке по нечеткой мере. Матрицы парных сравнений определяют типы покупателей, используемые при проведении практической части исследования. Также введено ограничение для каждой из матриц, чтобы наблюдалась сильная взаимосвязь цены и качества. В итоге нечеткий интеграл Шоке оказался полезнее среднего арифметического ввиду большей близости к результатам имитации.*

Ключевые слова: *электронная торговая площадка, типы покупателей, интеграл Шоке, матрицы парных сравнений, количество сделок, обобщенный спрос.*

Введение

В современную эпоху электронно-торговые площадки с технологией маркетплейс (Amazon, Ozon, Wildberries) пользуются все большим спросом со стороны потребителей. Маркетплейсы стремятся получить доход за успешное посредничество между продавцами и покупателями через максимально удовлетворение потребностей потребителей на основе использования цифровых платформ [1]. К частому использованию маркетплейсов привели следующие факторы: удобство оформления покупок в интернете, большой выбор товаров, умеренная ценовая политика, а также продвижение с помощью рекламных кампаний.

Целью любого продавца на электронной торговой площадке является извлечение прибыли. Некоторые из них ориентируются исключительно на её максимизацию. Однако значительная часть продавцов стремится продать максимально возможное количество имеющегося товара.

На рынке продавцы и покупатели не всегда совпадают по целям: покупатель может стремиться купить качественный товар дешевле, а продавец – продать дороже. Но формирование оптимального предложения для потребителей зачастую невозможно без учета их желаний. Так, от количества совершенных сделок зависит прибыль продавца на рынке.

Задача данной статьи – выбор оптимальной стратегии продавца для разных видов покупателей на рынках. Продавцу важна возможность формировать свое предложение как для текущей ситуации, так и при изменение ситуации на конкретном рынке. Использование среднего арифметического для теоретической оценки количества сделок может повлиять на достоверность этой оценки [2]. Поэтому далее проведено сравнение с более сложным оператором агрегирования – интегралом Шоке по нечеткой мере [3]. Таким образом, проверка корректности применения интеграла будет осуществлена на практике.

Важным является выбор вида имитационного моделирования. При решении этой задачи стоит учесть некоторые допущения. Пусть продавец формирует свое предложение без учета действий других продавцов. Он опирается только на полную информацию об обобщенном спросе покупателей. С учетом этих предположений в статье будет применяться дискретно-событийное имитационное моделирование [4].

Поставленная задача должна опираться на соответствующий математический аппарат. Дискретно-событийное имитационное моделирование обобщенного спроса и сравнение среднего арифметического и интеграла Шоке в применении на практике – ключевые этапы для анализа количества сделок. После следует оценка адекватности полученных результатов.

1. Построение имитационной модели

В данной статье используется имитационное моделирование (в нашем случае – дискретно-событийное), а не аналитическое решение. Иначе пришлось бы иметь дело с уравнениями, трудно решаемые алгебраически. Имитационное моделирование [5] предполагает наличие случайности, обеспечиваемой путем применения генератора псевдослучайных чисел, равномерно распределённых на интервале [0;1].

Реальные рынки электронной коммерции содержат тысячи продавцов и покупателей. Если смотреть на рынок с позиции конкретного продавца, то при синтезе имитационной модели не обязательно воспроизводить реальный масштаб рынка. Поэтому целесообразно провести моделирование рынка с большим количеством покупателей (в нашем случае их число $m = 1001$) и одним продавцом с целью прогнозировать количество сделок, которое получится при продаже товаров с конкретными характеристиками: цена, размер, качество.

Качество как степень соответствия потребностям покупателей не может рассматриваться отдельно от цены на конкретный товар. Из этого предположим, что параметры цены и качества являются зависимыми друг от друга, а размер – независимая характеристика. Также на рынке встречаются разные виды покупателей. В экономической литературе хорошо известен эффект Веблена [6], возникающий в случае демонстративного потребления. Потребитель, обращающий внимание на качество продукции и престижность, среди схожей продукции выбирает самый дорогой товар по цене.

Для каждого покупателя с помощью синтеза имитационной модели генерировался вектор $x = (x_1, x_2, x_3)$, где x_1, x_2, x_3 - значения параметров «цена», «размер», «качество» соответственно.

С помощью дискретного распределения вероятностей, показанного в табл. 1, генерировался независимый параметр «размер». Значения для зависимых параметров цены и качества рассчитывались с помощью матрицы парных сравнений Саати, характеризующей конкретный тип покупателей.

На примере рынка «жадных» покупателей покажем процедуру построения матрицы парных сравнений. Такой тип покупателя стремится купить товар высокого качества, но по низкой цене.

Таблица 1

Дискретное распределение вероятностей для размера

Значение	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Вероятность	0,05	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,05

Расстановка значений осуществляется следующим образом. Пусть b_1 – минимальная цена, a_1 – минимальное качество. Элемент $w_{11} = \frac{a_1}{b_1} = 1$ как диагональный элемент матрицы парных сравнений. Если цена минимальная, а качество немного улучшилось: $w_{12} = \frac{a_2}{b_1} = 2$. Найдем следующий элемент: $w_{13} = \frac{a_3}{b_1} = 3$. И так далее по первой строке. Переходим ко второй строке матрицы. Цена повысилась, а качество минимальное: $w_{21} = \frac{a_1}{b_2} = \frac{1}{2}$. При повышении цены следующий элемент: $w_{22} = \frac{a_2}{b_2} = 1$. Таким образом, можно достроить матрицу до конца. Стоит заметить, что подсчет элементов матрицы можно произвести по формуле:

$$w_{ij} = \frac{j}{i}, \qquad (1)$$

для упорядоченных значений $(a_1, a_2, \ldots, a_i, \ldots, a_n)$ и $(b_1, b_2, \ldots., b_j, \ldots, b_n)$, n – размерность матрицы.

Это не единственный тип покупателей, который можно встретить на рынке. Рынок «особо жадных» покупателей представим в виде формулы $w_{ij} = 2^{j-i}$. Также существует отдельный тип покупателей, для которых наблюдается эффект Веблена – элитные покупатели. Данные клиенты, покупающие в основном товар по высокой цене и высокого качества, характеризуются формулой $w_{ij} = \frac{j}{n+1-i}$.

Покупатели умеренного типа стремятся приобрести товар среднего качества по средней цене. Примером матрицы парных сравнений, характеризующей «умеренных» покупателей, является матрица С:

$$C = \begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & 2 & 1 & \frac{1}{2} \\ 1 & 2 & 4 & 4 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 4 & 2 & 1 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & 2 & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \end{pmatrix} \qquad (2)$$

Перейдем к описанию генерации обобщенного спроса. Имитация (получение 1001 значения цены и качества) проводилась на основе последовательного метода обратных функций [7]. Он основан на свойстве, что каждому значению из заданной таблицы распределения сопоставляется интервал, равный по длине его вероятности. Зададим накопленные вероятности следующим образом:

$$s_0 = 0, s_n = 1; s_i = s_{i-1} + p_i, \quad (3)$$

где s_i – накопленные вероятности, с которыми сравнивается конкретное α в цикле, пока первый раз не реализуется неравенство $\alpha \le s_i$. Полученное значение i позволит с помощью модифицированной таблицы распределения (для нашего случая находим нужную строку или столбец в матрице условных вероятностей конкретного параметра) найти значение $y = F^{-1}(\alpha)$, где F – заданное распределение.

Изучение зависимых параметров цены и качества возможно благодаря имитационному моделированию рынка [8]. Для подсчета необходимых для программной части вероятностей воспользуемся следующим алгоритмом. Просуммируем все элементы обратно-симметричной матрицы: $S = \sum_{ij} w_{ij}$. Вычислим безусловные вероятности $p_{ij} = \frac{w_{ij}}{S}$, а затем условные вероятности (в нашем примере это вероятности для качества): $p_i\left(a_i / b_j\right) = \frac{p_{ij}}{\sum_j p_{ij}}$.

Подсчет значений вероятности для параметра «цена» выглядит следующим образом:

$$p(b_j) = \frac{p_{ij}}{p_i(a_i / b_j)} \quad (4)$$

Однако в исходном виде матрицы парных сравнений, характеризующие типы покупателей, не обеспечивают высокую корреляцию ($r \ge 0,7$) между ценой и качеством. Поэтому введем ограничение для каждой из матриц, чтобы наблюдалась сильная взаимосвязь цены и качества. Оно выражается в использовании вероятности для качества p_{new}:

$$p_{new} = \frac{round((\alpha \cdot p(b_j) + (1 - \alpha) \cdot p_i(a_i / b_j)) \cdot 5)}{5} \quad (5)$$

где α – параметр корректировки. Для рассматриваемой задачи зададим $\alpha = 0{,}5$. Это означает, что при пересчете вероятности для качества в равной степени учитываются и цена, и качество.

2. Способы подсчета количества сделок

Расчет количества сделок проводился несколькими способами. Для первых двух способов учитывался обобщенный спрос. Для подсчета числа сделок применяется формула $n_{об.} = p \cdot m$, где $n_{об.}$ – количество сделок, p – вероятность совершения сделки с учетом обобщенного спроса, а m – число покупателей на рынке. Для подсчета функций принадлежности обобщенного спроса находится взвешенная сумма по каждому из параметров (цена, размер, качество). В качестве операторов агрегирования использовались среднее арифметическое (способ №1) и интеграл Шоке (способ №2).

Третий способ предполагает оценку количества сделок $n_{им.}$ на основе имитации. Учитывая, что изучается модель функционирования рынка с достаточно большим количеством покупателей, представляется громоздким строить имитацию полного процесса совершения сделок, так как потребовалось бы генерировать m (в нашем случае $m = 1001$) случайных чисел для каждого покупателя. Вместо этого разумнее использовать сгенерированные с помощью имитационной модели вектора $x = (x_1, x_2, x_3)$, описанные выше. Тогда нам потребуется генерировать три случайных числа для каждого покупателя. Вероятности совершения сделки для товара с конкретными характеристиками рассчитываются при помощи локальных соответствий и оператора агрегирования. Тогда суммирование вероятностей позволяет получить оценку количества сделок $n_{им.}$.

Все способы показаны в табл.2.

Таблица 2

Способы подсчета количества сделок

	Среднее арифметическое	Интеграл Шоке
Подсчет $n_{об.}$, на основе обобщенного спроса	Способ №1	Способ №2
Подсчет $n_{им.}$, с помощью имитации		Способ №3

В рамках данной статьи интеграл Шоке подсчитывается в связке с λ -нечеткой мерой Сугено. Нечеткий интеграл Шоке позволяет моделировать взаимодействие параметров в отличие от семейства средних операторов [9]. В [10] подробно описаны свойства данного интеграла. Нечеткий интеграл Шоке для вектора $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ по мере μ подсчитывается с помощью формулы:

$$Choq_{\mu}(f_1, f_2, \dots, f_n) = \sum_{i=1}^{n} f_{\sigma(i)} \cdot (\mu(m_{\sigma(i)}) - \mu(m_{\sigma(i+1)})), \quad (6)$$

где σ – перестановка значений $f_1, f_2, \dots, f_n$ такая, что $f_{\sigma(1)} \le f_{\sigma(2)} \le \dots \le f_{\sigma(n)}$, $\vec{m}_{\sigma} = (m_{\sigma(1)}, \dots, m_{\sigma(n+1)})$ и $m_{\sigma(n+1)} = \varnothing$.

Соответственно, необходимое значение λ находится с помощью [11, 12]:

$$\lambda + 1 = \prod_{n=1}^{N} (1 + \lambda \cdot \mu(n)); \quad \lambda > -1, \quad (7)$$

где $\mu(n)$ – плотность нечеткой меры по n-му параметру. Задание плотностей нечеткой меры экспертным способом представляется целесообразным для данного случая.

Для последовательностей значений $n_{об.}, n_{им.}$, получаемых с использованием конкретных операторов агрегирования, возможно применение коэффициента корреляции Пирсона r, позволяющего оценить адекватность используемых способов подсчета.

3. Сравнение операторов агрегирования на практике

Наибольший интерес представляет программная реализация в среде Matlab генерации обобщенного спроса и подсчета количества сделок на основе описанных ранее трех способов.

Для разных типов покупателей применялись строго определенные плотности нечеткой меры. Методы, применяемые для их определения, описаны в работах [13,14]. Для текущей задачи плотности нечеткой меры были определены экспертным способом: $den = (0,4; 0,58; 0,64)$, где наибольшее значение задано для параметра «качество». Это позволяет выверенно сравнить способы подсчета числа сделок. Также каждый тип покупателей характеризовала конкретная квадратная матрица парных сравнений размером 6 на 6. Напомним, что для обеспечения высокой корреляции между ценой и качеством накладывалось ограничение на каждую из матриц.

Начнем анализ с рынка «жадных» покупателей. С учетом наложенного ограничения, наилучшим предложением продавца для всех трех способов, как и ожидалось, оказалось $\vec{y} = (0;0,4;0,6)$, которое расшифровывается как товар с низкой ценой, средним размером и максимально возможным высоким качеством (с учетом зависимости между параметрами). Но найденное количество сделок оказалось разным: с использованием среднего арифметического (способ №1) – 355, для способа №2 – 366, для способа №3, основанного на проведении имитации процесса совершения сделок – 483. Стандартное предложение продавца (0,6;0,3;0,6) на практике приводит к меньшим оценкам: способ №1 – 207 сделок, способ №2 – 273, способ №3 – 330.

Для рынка «жадных» покупателей можно построить график зависимости количества покупок от характеристик товаров, как на рис.1.

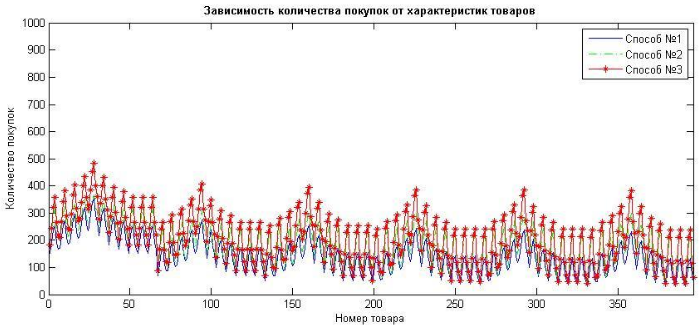

Рис. 1. Зависимость числа покупок от характеристик товаров для рынка «жадных» покупателей

Коэффициент корреляции Пирсона при попарном сравнении сгенерированных значений количества сделок (первый и второй способ, первый и третий, второй и третий) дает результат $r > 0,96$, что говорит об адекватности полученных результатов.

Если рассматривать рынок «особо жадных» покупателей, наилучшим предложением для всех способов остается предложение продавца (0;0,4;0,6). Если бы не накладывалось ограничение на матрицу парных сравнений, то лучшим было бы предложение (0;0,4;1). Ввиду другого поведения покупателей на рынке, количество сделок для данного предложения получается иным: способ №1 – 445 сделок, способ №2 с использованием интеграла Шоке – 478 сделок, способ №3 – 587. Для данного типа покупателей построим график, как на рис.2.

Коэффициент корреляции Пирсона при аналогичном попарном сравнении всегда удовлетворяет следующему неравенству: $r > 0{,}95$.

Заметим, что для рынка элитных покупателей лучшим оказалось предложение (1;0,4;0,8), а для «умеренных» – (0,4;0,4;0,6).

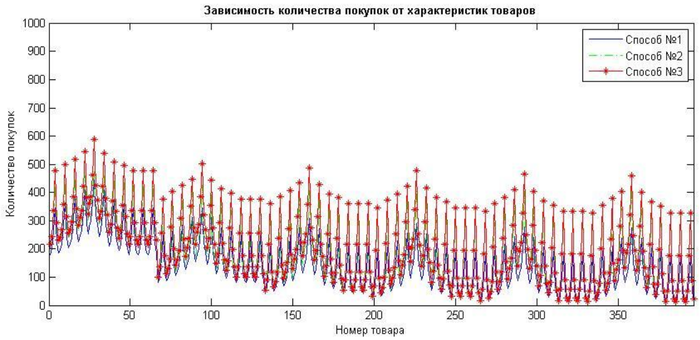

Рис. 2. Зависимость числа покупок от характеристик товаров для рынка особо «жадных» покупателей

Результаты по конкретному товару по разным типам покупателей (от оценок количества сделок были отсечены дробные части) можно свести в табл. 3.

Таблица 3

Подсчет количества сделок для разных типов покупателей

Тип покупателей	Вид предложения	Способ №1	Способ №2	Способ №3
«Жадные» покупатели	(0,6;0,6;0,6)	171	244	283
«Особо жадные»		218	351	383
Элитные		163	209	254
«Умеренные»		244	305	352

Для товара (0,6;0,6;0,6), где на вероятность покупки не сильно влияет размер, можно отметить меньшую разницу в оценке числа сделок между вторым и третьим способом, чем между первым и вторым. Это означает, что применение интеграла Шоке позволяет получить более близкую оценку к результатам имитации, чем использование стандартного среднего арифметического.

Удивительной особенностью рынка «умеренных» покупателей оказалось то, что не совпали вторые по успешности предложения продавца для способов №1 и №2: для одного способа, основанного на среднем арифметическом – (0,4;0,4;0,6), для другого – (0,6;0,4;0,6).

При изучении результатов представляется важным, что при рассмотрении разных типов покупателей для любого конкретного товара количество сделок, получаемых с помощью первого способа, всегда меньше или равно количества, получаемого с помощью способа №2. Также наибольшая оценка количества сделок всегда получается при использовании третьего способа. Опишем это с помощью неравенства: $n_1 \le n_2 \le n_3$.

Таким образом, нечеткий интеграл Шоке полезнее на практике, чем среднее арифметическое, ввиду большей близости к результатам имитации.

Заключение

Многие продавцы на электронной торговой площадке делают акцент на максимально проданном количестве товара, а не на максимально высокой цене. Поэтому важна достоверная оценка количества сделок. Это достигается с помощью выбора подходящего оператора агрегирования.

Учет сильной зависимости между ценой и качеством позволил оперировать с реально существующими типами покупателей на рынках. Таким образом, возможно применение результатов для автоматизации сервисов по формированию предложений продавца. Предложение продавца может быть сформировано как для реальной ситуации на рынке, так и для всех прогнозируемых ситуаций.

На практическом примере показана полезность использования интеграла Шоке в связке с λ -нечеткой мерой Сугено. По сравнению со средним арифметическим интеграл Шоке позволяет учитывать, в какой степени важен тот или иной параметр товара.

Список литературы

1. Олейник, Н. М. Цифровая трансформация российского рынка электронной розничной торговли / Н. М. Олейник // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2021. – № 3 (129). – С. 92-97.
2. Mathematical aggregation operators and their application to video querying / Detyniecki M. [et al.]: PhD dissertation. Docteur de l’Universite – Paris, 2000.

3. Сакулин, С. А. К вопросу о практическом применении нечетких мер и интеграла Шоке / С. А. Сакулин, А. Н. Алфимцев // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2012. – № 1.

4. Эльберг, М. С. Имитационное моделирование: учебное пособие/ М. С. Эльберг, Н.С. Цыганков – Красноярск: СФУ. – 2017.

5. Задорожный, В. Н. Имитационное и статистическое моделирование / В. Н. Задорожный – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 136 с.

6. Лейбенстайн, Х. Эффект присоединения к большинству, эффект сноба и эффект Веблена в теории покупательского спроса / Х. Лейбенстайн; пер. с англ. И. Попович. В кн.: Вехи экономической мысли – Под общ. ред. В. М. Гальперина. Т. 1: Теория потребительского поведения и спроса. – СПб. : Экономическая школа, 2000.

7. Некруткин, В. В. Моделирование распределений / В. В. Некруткин // Кафедра статистического моделирования, матмех СПбГУ. Материал к специальному курсу. – 2014. – 100 с.

8. Matveev, M. Simulation modelling for assessing the adequacy of decision support models with choosing a product offer / M. Matveev, M. Shmelev, A. Budyakov // ICID 2021. Communications in Computer and Information Science. – Springer, Cham, 2022.

9. Леденева, Т. М. Обзор основных классов операторов порядкового взвешенного агрегирования / Т. М. Леденева, И. Н. Левкина // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2022. – № 1. – С. 5-31.

10. Llamazares, B. Construction of Choquet integrals through unimodal weighting vectors / B. Llamazares // International Journal Intelligent Systems, 2018. – № 20(8). – P. 771–790.

11. Матвеев, М. Г. Информационные технологии формирования сервисов на электронной торговой площадке / М. Г. Матвеев, М. А. Шмелев, Н. А. Алейникова // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2021. – № 1. – С. 63-73.

12. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. Аверкин [и др.]; Под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, 1986.

13. Grabisch M. Fundamentals of Uncertainty Calculi with Applications to Fuzzy Inference / M. Grabisch, H. T. Nguyen, E. A. Walker – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. DOI: 10.1007/978-94-015-8449-4

14. Grabisch M. The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making / M. Grabisch // European journal of operational research. – 1996. – Т. 89. – № 3. – С. 445-456. DOI: 10.1016/0377-2217(95)00176-X