
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Информационные технологии формирования предложения на электронной торговой площадке с технологией «маркетплейс»

© 2021 г. М.Г. Матвеев

М.Г. Матвеев,

Воронежский государственный университет, Воронеж; e-mail: mgmatveev@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.05.2020

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (проект 41ГСИЦТС10-D5/56042).

Аннотация. В статье рассматривается задача автоматизированного формирования предложения однородного товара на электронную торговую площадку с технологией «маркетплейс», обеспечивающего максимальное соответствие обобщенному покупательскому спросу и выгоде продавца. Предложена компьютерная формализация предложения и спроса в виде векторов характеристических параметров товара, представленных лингвистическими переменными. Разработан алгоритм построения функции принадлежности обобщенного спроса на основании информации об индивидуальном спросе покупателей, а также способ вычисления локальных, покомпонентных соответствий предложения и обобщенного спроса. Описан оператор агрегирования локальных соответствий в виде дискретного интеграла Шоке с нечеткой мерой. Выбор такого оператора агрегирования обусловлен очевидным взаимодействием характеристических параметров товара и невозможностью использования классических аддитивных операторов. Агрегированное соответствие предложения обобщенному спросу интерпретируется как вероятность совершения сделки. Возможности продавца представлены в форме функционально-стоимостных ограничений, заданных лингвистическими переменными вектора характеристических параметров, структурно эквивалентному вектору спроса. Уровень соответствия предложения функционально-стоимостным ограничениям интерпретируется как выгода продавца. Выбор предложения продавца основан на оптимизации критерия в виде заданного компромисса между вероятностью сделки и выгодой продавца. Выбор осуществляется с помощью генетического алгоритма. Проведено исследование, подтвердившее возможность использования разработанной формализации обобщенного спроса для получения адекватного выбора предложения. В частности, такой подход может применяться при реализации динамического ценообразования на электронной торговой площадке, а разработанные модели и алгоритмы — при создании информационных сервисов на электронных торговых площадках, в том числе ЭТП государственных закупок.

Ключевые слова: электронная торговая площадка; спрос и предложение; лингвистические переменные; агрегирование; интеграл Шоке; нечеткая мера; выбор оптимального предложения.

Классификация JEL: D81.

DOI: 10.31857/S042473880009719-9

ВВЕДЕНИЕ

Существующая тенденция развития рынка в виде схемы коммерческого взаимодействия компаний B2B ведет к глобальной автоматизации процессов взаимодействия продавцов и покупателей (Рис, 2014). Эта тенденция прослеживается в появлении электронных бирж, электронных торговых площадок (ЭТП), маркетплейсов¹, автоматизации торгового документооборота и т. п. Дальнейшее развитие автоматизации процессов намечается на пути создания систем распределенного реестра и формирования смарт-контрактов, автоматизирующих не только рутинные процессы, но и процессы принятия решений, например при выборе рациональных пар «продавец — покупатель».

На рынке целесообразно выделять однородные, взаимозаменяемые товары. Классический подход к выбору продавца однородного товара основывается на оптимизации экономических, стоимостных критериев (см., например, (Amin, Zhang, 2012; Mendoza, Ventura, 2012)). Однако при

¹ Маркетплейс — платформа электронной коммерции, предоставляющая информацию о продукте или услуге третьих лиц.

выборе необходимо учитывать весь спектр потребительских характеристик товара: технические, экономические, эргономические и т.п., — которые должны отражать индивидуальные потребности покупателя (Рис, 2014). Для такого выбора больше подходят процедуры установления парного соответствия по набору характеристик, развиваемые в работах нобелевского лауреата Э. Рота (Roth, 2003; Roth, Rothblum, 1999). В идеальной ситуации покупатель должен приобрести тот товар, который в максимальной степени соответствует его потребностям и возможностям, отображаемым значениями характеристик. Основной преградой достижения идеальной ситуации является недостаток информации у продавцов о потребностях и возможностях покупателя и неполная информация у покупателя о предложениях продавцов. Приближение реальной ситуации к идеальной осуществляется технологией маркетплейса, которая обеспечивает на локальном рынке информацию о потребностях покупателей и предложениях продавцов в рамках единого товарного рубрикатора. Существующая технология работы маркетплейса предполагает, что покупатель, заходя на ЭТП, заявляет о своих потребностях, а ЭТП помогают ему подбирать соответствующие предложения продавцов из своей актуальной базы данных с помощью разнообразных фильтров² или осуществляя выбор по критерию максимального соответствия спроса и предложения (Будяков, Гетманова, Матвеев, 2017; Matveev, Podvalny, 2019).

Имеет место и обратная задача — формирование продавцом своего предложения, максимально соответствующего покупательскому спросу. Как и всякая обратная задача, эта задача сложнее и получить ее решение, используя фильтры, вряд ли возможно. В этом случае большие возможности предоставляет подход, основанный на достижении максимального соответствия спроса и предложения, которые могут быть представлены в параметрической форме по аналогии с (Будяков, Гетманова, Матвеев, 2017; Matveev, Podvalny, 2019). Для решения обратной задачи необходимо описать параметрическое представление спроса покупателей и предложений продавцов и получить формализованное описание задачи.

1. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

Пусть имеется некоторое подмножество типов однородного товара, различающихся значениями характеристических параметров. Каждый тип товара j , $j = 1, \dots, J$ будем описывать совокупностью характеристических параметров (например, мощность, габариты, цена, условия поставки и т.п.). Параметры являются компонентами вектора $q_j = (q_j^1, \dots, q_j^N)$, каждая компонента n принимает значения x на количественной или качественной шкале, $n = 1, \dots, N$.

Будем считать, что каждый покупатель k , $k = 1, \dots, K$ хочет приобрести однородный товар с желаемыми характеристическими параметрами. Вполне естественно, что желания покупателя будут носить расплывчатый характер, что обуславливается взаимозаменяемостью типов однородного товара. Для этого покупателю необходимо формализовать свои желания и возможности в виде вектора спроса с нечеткими характеристиками однородного товара $\tilde{g}_k = (\tilde{g}_k^1, \dots, \tilde{g}_k^N)$. В данном случае векторные компоненты — это лингвистические переменные с именами, совпадающими с именами соответствующих характеристических параметров описания типа однородного товара. Каждая переменная имеет кусочно-линейные функции принадлежности $f_g(x)$, носители которых $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$ отражают возможности покупателя, а значения функции — его предпочтения (желания). Для дискретных значений носителя функция принадлежности будет иметь табличный вид. Нечеткие характеристики формируют покупательский спрос.

Пусть каждый продавец i , $i = 1, \dots, I$ формализует свои возможности и желания в отношении однородного товара в виде векторов с именами лингвистических характеристик, таких как и у покупателя — $\tilde{q}_i = (\tilde{q}_i^1, \dots, \tilde{q}_i^N)$. Желания и возможности продавца отображаются кусочно-линейными функциями принадлежности $f_q(x)$. Предложение продавца i представляет совокупность четких характеристик конкретного типа j однородного товара $q_{ij} = (q_{ij}^1, \dots, q_{ij}^N)$.

Имеет смысл рассматривать два вида соответствий предложения продавца: 1) соответствие обобщенному покупательскому спросу, интерпретируемое как возможность или вероятность совершения сделки; 2) соответствие желаниям и возможностям продавца, интерпретируемое как выгодность совершения сделки для продавца. Тогда задача продавца i состоит в выборе таких

² Инструкция по работе в системе поиска торгов Рустендер (<https://tender-rus.ru/vopros-otvet/poisk-zakupok/instrukciya-po-poiskovoj-sisteme/>); Фильтр товаров для WooCommerce (<https://ru.wordpress.org/plugins/woocommerce-products-filter/>).

значений компонент вектора q_{ij} , которые обеспечат компромисс между максимумом вероятности сделки и максимумом ее выгоды.

Обозначим соответствие предложения продавца i совокупному покупательскому спросу $\tilde{g}$ как $\eta_{ij} = \eta(q_{ij}; \tilde{g}) \in [0; 1]$. Значение η_{ij} будем интерпретировать как вероятность продажи продавцом i типа товара j , $\eta_{ij} = 0$ — товар не будет продан; $\eta_{ij} = 1$ — товар будет продан. Соответствие предложения выгоды продавца обозначим как $\mu_{ij} = \mu(q_{ij}; \tilde{q}_i) \in [0; 1]$. Значение μ_{ij} будем интерпретировать как выгоду продажи товара j продавцом i , $\mu_{ij} = 0$ — отсутствие выгоды; $\mu_{ij} = 1$ — максимальная выгода.

Компромисс между вероятностью сделки и выгодностью для продавца i товара j предлагается формализовать выпуклой линейной комбинацией

$$S = \alpha \eta_{ij}(x) + (1 - \alpha) \mu_{ij}(x) \rightarrow \max_x, \quad (1)$$

где $x = (x^1, \dots, x^N)$ — значения характеристических параметров спроса и предложения; α — параметр, задающий предпочтения между вероятностью и выгодностью.

Построение модели выбора (1), решение и исследование задачи выбора оптимального предложения продавца на сформировавшемся рынке — цель настоящей статьи.

2. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Для решения задачи (1) необходимо построить функции $\eta_{ij}(x)$ и $\mu_{ij}(x)$. Для оценки вероятности продажи конкретного товара нужно формализовать обобщенный спрос покупателей. Обобщенный спрос имеет ту же структуру, что и спрос каждого покупателя,

$$\tilde{g} = (\tilde{g}^1, \dots, \tilde{g}^n, \dots, \tilde{g}^N), \quad (2)$$

где $\tilde{g}^n$ — обобщенная локальная лингвистическая характеристика товара по параметру n :

$$\tilde{g}^n = \bigcup_{k=1}^K (\tilde{g}_k^n w_k), \quad (3)$$

где $w_k = v_k / v$ — весовой коэффициент для покупателя k , вычисляемый как отношение объема товара, запрашиваемого покупателем k , к общему объему товарного спроса $v = \sum_{k=1}^K v_k$.

Функция принадлежности обобщенного спроса по компоненте n вектора спроса будет иметь вид

$$f_g^n(x) = \sum_{k=1}^K f_{gk}^n(x) w_k; \quad n = 1, \dots, N, \quad (4)$$

где $f_{gk}^n(x)$ — функция принадлежности лингвистической переменной $\tilde{g}_k^n$: $x_{\min}^n \leq x \leq x_{\max}^n$, т.е. x принадлежит универсальному носителю всех термов этой лингвистической переменной.

Степень локального соответствия по компоненте n предложения q_{ij} обобщенному спросу по той же компоненте вычисляется подстановкой значения x компоненты предложения q_{ij}^n в соответствующую функцию принадлежности спроса:

$$\eta(q_{ij}^n; \tilde{g}^n) = \eta_{ij}^n(x) = \sum_{k=1}^K f_{gk}^n(x) w_k \in [0; 1], \quad (5)$$

а степень соответствия предложения q_{ij} обобщенному спросу — агрегированием (agr) локальных соответствий:

$$\eta(q_{ij}; \tilde{g}) = \eta_{ij} = \text{agr}_n \left[\sum_{k=1}^K f_{gk}^n(x) w_k \in [0; 1] \right], \quad n = 1, \dots, N. \quad (6)$$

Степень локального соответствия предложения q_{ij} по компоненте n выгоде продавца $\tilde{q}_i$ по той же компоненте вычисляется подстановкой значения x компоненты предложения q_{ij}^n в соответствующую функцию принадлежности компоненты $\tilde{q}_i^n$:

$$\mu(q_{ij}^n; \tilde{q}_i^n) = \mu_{ij}^n(x) = f_q^n(x) \in [0; 1]. \quad (7)$$

Выражения (5) и (7) показывают, что локальные соответствия находятся как значения функций принадлежности на множестве значений локальных характеристик.

Степень соответствия предложения q_{ij} выгоде продавца i по совокупности всех компонент агрегированием локальных соответствий:

$$\mu(q_{ij}; \tilde{q}_i) = \mu_{ij} = \text{agr}_n [f_q^n(x) \in [0; 1]], \quad n = 1, \dots, N. \quad (8)$$

Оператором агрегирования обычно называют функцию, присваивающую некоторому кортежу действительных чисел одно действительное число (Detyniecki, 2000). Для рассматриваемой ситуации это можно представить в виде

$$\text{agr}: \bigcup_{n=1}^N [0;1]^n \rightarrow [0;1]. \quad (9)$$

Известны различные подходы к выбору оператора агрегирования, обзор которых можно найти в (Detyniecki et al., 2000).

В (Mesiar, Komorníková, 1997) предложен ряд фундаментальных свойств, которым должны отвечать операторы агрегирования (9):

$$\begin{cases} \text{agr}(x) = x; \\ \text{agr}(0, \dots) = 0, \text{agr}(1, \dots, 1) = 1; \\ \text{agr}(x_1, \dots, x_N) \leq \text{agr}(y_1, \dots, y_N), \text{ если } (x_1, \dots, x_N) \leq (y_1, \dots, y_N). \end{cases} \quad (10)$$

Выражения (6) и (8) следует рассматривать как свертку многокритериальной задачи. В этом случае важную роль при агрегировании играет возможность назначения весовых приоритетов компонент векторов η и μ в условиях характерного для рынка взаимодействия этих компонент. Примером такого взаимодействия может служить зависимость цены и качества товара. Веса компонент будем интерпретировать как меру важности параметров. Подход к назначению весов может быть основан на понятии *нечеткой меры* (Аверкин и др., 1986; Ягер, 1986).

Обозначим множество параметров векторов спроса и предложения как множество их индексов $M_{ij} = \{n_{ij}\}, n_{ij} = 1, \dots, N \quad \forall ij$. Нечеткой мерой на множестве M_{ij} является функция

$$\phi: P(M_{ij}) \rightarrow [0;1], \quad (11)$$

где $P(M_{ij}) = (M_{ij}; 2^{M_{ij}})$ — множество всех подмножеств компонент соответствующих векторов. При этом должны выполняться граничные условия и условия монотонности:

$$\phi(\emptyset) = 0, \phi(M_{ij}) = 1 - \quad (12)$$

для подмножеств

$$m_1, m_2 \in P(M_{ij}), \text{ если } m_1 \subseteq m_2, \text{ то } \phi(m_1) \leq \phi(m_2). \quad (13)$$

Таким образом, нечеткая мера представляет отображение подмножеств индексов n на промежуток $[0;1]$ и позволяет учитывать взаимодействие между компонентами векторов $q_{ij}; \tilde{g}; \tilde{q}_i$. В этом случае в качестве оператора агрегирования $\text{agr}(\cdot)$ целесообразно использовать дискретный интеграл Шоке по нечеткой мере (Detyniecki, 2000; Аверкин и др., 1986). Интеграл Шоке рассматривается как обобщение взвешенной суммы, обозначается FEV и интерпретируется как нечеткое математическое ожидание.

Для упрощения обозначений в дальнейшем изложении уберем нижние индексы i и j . С учетом обозначения (5) $\eta^n(x) = \min\left\{\sum_{k=1}^K f_{gk}^n(x)w_k; 1\right\}$ нечеткий интеграл Шоке от функции $\eta: X \rightarrow [0;1]$ на множестве $m \subseteq M$ по нечеткой мере ϕ_η , т.е. агрегирование для выражения (6) определяется по формуле

$$\eta = \text{agr}(\eta^1, \dots, \eta^n, \dots, \eta^N) = \sum_{n=1}^N \eta^{\pi(n)} (\phi_\eta(m_{\pi(n)}) - \phi_\eta(m_{\pi(n+1)})), \quad (14)$$

где $m_1 = M = \{1, \dots, N\}$; $B_{n+1} = \emptyset$; $\pi(n)$ — индекс-функция упорядочивания векторных компонент соответствий, проранжированных в порядке возрастания, значения которых представляются отношением $\eta^{\pi(1)} \leq \eta^{\pi(2)} \leq \dots \leq \eta^{\pi(N)}$, а подмножества компонент определяются формулой $m_{\pi(n)} = \{\pi(n); \pi(n+1); \dots; \pi(N)\}$.

Агрегирование для выражения (8) получается аналогично

$$\mu = \text{agr}(\mu^1, \dots, \mu^n, \dots, \mu^N) = \sum_{n=1}^N f_q^{\pi(n)} (\phi_\mu(m_{\pi(n)}) - \phi_\mu(m_{\pi(n+1)})). \quad (15)$$

Для вычисления интегралов (14) и (15) необходимо определить способ задания функции ϕ . Принято считать, что наиболее конструктивным способом задания функции ϕ является использование λ -нечеткой меры Сугено (Mesiar, Komorníková, 1997; Ягер, 1986). Нечеткая мера ϕ в данном случае рассматривается как мера важности соответствия значения параметра с индексом n

заданным характеристикам спроса и предложения. Такой подход только уточняет интерпретацию ϕ как меру важности параметра. Задание ϕ одинаково формируется как для функции ϕ_η , так и для функции ϕ_μ . Будем рассматривать множество индексов $M = \{n_1 = 1; \dots; n_N = N\}$ и его подмножества. Следуя (Ягер, 1986), введем понятие плотности λ -нечеткой меры, обозначаемое как $\phi(n)$, $n = 1, \dots, N$. Нечеткая мера ϕ_λ , удовлетворяющая λ -правилу:

$$\phi_\lambda(m = n_i \vee n_j) = \phi(n_i) + \phi(n_j) + \lambda \phi(n_i) \phi(n_j), \quad (16)$$

с параметрами нормировки $-1 < \lambda < \infty$, алгебры всех подмножеств $(M, 2^M)$ строятся следующим образом.

Необходимо определить плотности $\phi(n) \in [0; 1]$ для $n = 1, \dots, N$. Для этого обычно используют экспертные методы (Grabisch, Nguyen, Walker, 1995; Grabisch, 1996), позволяющие ранжировать плотности, например с применением метода парных сравнений и переносом результатов ранжирования на шкалу $(0; 1)$. Будем считать, что в рассматриваемом случае продавцы и покупатели в состоянии оценить сравнительную важность характеристических параметров. Если плотности $\phi(n)$ известны, то параметр λ можно найти из уравнения (Аверкин и др., 1986):

$$\lambda + 1 = \prod_{n=1}^N (1 + \lambda \phi(n)); \quad \lambda > -1. \quad (17)$$

3. ПРИМЕР ВЫЧИСЛЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ СПРОСУ И ВЫГОДЕ ПРОДАВЦА

Задачей численной апробации является не только проверка работоспособности приведенных алгоритмов, но и пример интерпретации введенных понятий и категорий. Поэтому целесообразно рассматривать в упрощенном виде рынок конкретного однородного товара с конкретными характеристическими параметрами.

Пусть таким рынком будет рынок обуви с вектором характеристических параметров $q_j = (q_j^1; q_j^2; q_j^3)$, где компоненты интерпретируются следующим образом: q^1 — цена, определяемая на условной шкале $[1; 6]$; q^2 — размер, определяемый на условной шкале $[1; 6]$; q^3 — качество, определяемое наименованием производителей, которых эксперт расположил на условной шкале $[1; 6]$.

Пусть эксперты формализовали покупательский спрос, т.е. вектор лингвистических переменных $\tilde{g}_k = (\tilde{g}_k^1; \tilde{g}_k^2; \tilde{g}_k^3)$, нормированными треугольными функциями принадлежности для трех мелкооптовых покупателей ($K = 3$). Здесь и далее нормированная треугольная функция принадлежности задается в виде $(a; m; b)$, где a и b — соответственно левая и правая границы носителя, а m — мода треугольника.

Первая компонента — цена $\tilde{g}^1$, желаемая покупателями:

$$f_{g_1^1}(x) = (2; 2; 5); \quad f_{g_2^1}(x) = (2; 6; 6); \quad f_{g_3^1}(x) = (1; 3; 4);$$

вторая — размер $\tilde{g}^2$, желаемый покупателями:

$$f_{g_1^2}(x) = (2; 4; 6); \quad f_{g_2^2}(x) = (2; 6; 6); \quad f_{g_3^2}(x) = (3; 3; 6);$$

третья — качество $\tilde{g}^3$, желаемое покупателями:

$$f_{g_1^3}(x) = (2; 4; 6); \quad f_{g_2^3}(x) = (2; 6; 6); \quad f_{g_3^3}(x) = (1; 1; 4);$$

объемы покупок каждого покупателя: $v_1 = 10$; $v_2 = 4$; $v_3 = 6$.

Продавец свои возможности по цене, размерам и качеству (т.е. вектор лингвистических переменных $\tilde{q} = (\tilde{q}^1; \tilde{q}^2; \tilde{q}^3)$) представил нормированными треугольными функциями принадлежности:

$$f_q^1(x) = (1; 6; 6); \quad f_q^2(x) = \begin{cases} 1, & E=3; \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases} \quad f_q^3(x) = (1; 6; 6).$$

Необходимо вычислить соответствия предложения продавца $q = (q^1; \dots; q^N)$ обобщенному спросу η и своей выгоде μ .



Рис. 1. Покомпонентное графическое отображение функций принадлежности обобщенного спроса

Таблица. Значения нечеткой меры ϕ_η и ϕ_μ

$\phi_\eta(\emptyset)$	0	$\phi_\mu(\emptyset)$	0
$\phi_\eta(1)$	0,64	$\phi_\mu(1)$	0,30
$\phi_\eta(2)$	0,58	$\phi_\mu(2)$	0,6
$\phi_\eta(3)$	0,4	$\phi_\mu(3)$	0,20
$\phi_\eta(1; 2)$	0,90	$\phi_\mu(1; 2)$	0,85
$\phi_\eta(1; 3)$	0,82	$\phi_\mu(1; 3)$	0,48
$\phi_\eta(2; 3)$	0,78	$\phi_\mu(2; 3)$	0,77
$\phi_\eta(1; 2; 3) = \phi_\eta(M)$	1	$\phi_\mu(1; 2; 3) = \phi_\mu(M)$	1

При заданных функциях принадлежности компонент покупательского спроса по формуле (5) посчитаны значения функций принадлежности компонент обобщенного спроса, кусочно-линейные аппроксимации которых показаны на рис. 1.

Пусть продавец выставил товар с характеристиками $q = (q^1 = 4; q^2 = 3; q^3 = 5)$. Подставляя в полученные аппроксимированные функции принадлежности обобщенного спроса значения компонент предложения $q = (q^1; q^2; q^3)$, получим локальные соответствия предложения обобщенному спросу: $\eta^1 = 0,3; \eta^2 = 0,6; \eta^3 = 0,45$.

Локальные соответствия выгоде продавца $\mu^n(x)$ рассчитываются подстановкой значений q в функции принадлежности компонент вектора $\tilde{q} = (\tilde{q}^1; \tilde{q}^2; \tilde{q}^3)$: $\mu^1 = f_q^1 = 0,6; \mu^2 = f_q^2 = 1; \mu^3 = f_q^3 = 0,8$.

Для агрегирования соответствий эксперты определили плотности нечеткой меры соответствия обобщенному спросу в виде: $\phi_\eta(1) = 0,64; \phi_\eta(2) = 0,58; \phi_\eta(3) = 0,4; \phi_\mu(1) = 0,3; \phi_\mu(2) = 0,6; \phi_\mu(3) = 0,2$.

Уравнение (17) с учетом условия $\lambda > -1$, применительно к соответствию обобщенному спросу, имеет корень $\lambda = -0,85$, а применительно к соответствию возможностям продавца — $\lambda = -0,29$. В соответствии с λ -правилом (17) получены значения нечеткой меры, представленные в таблице.

Агрегирование локальных компонент производится в соответствии с формулами (15) и (16):

$$\eta = \text{agr}(\eta^1; \eta^2; \eta^3) = FEV_\eta = 0,3(1 - 0,78) + 0,6(0,4 - 0) + 0,45(0,78 - 0,4) = 0,49;$$

$$\mu = \text{agr}(\mu^1; \mu^2; \mu^3) = FEV_\mu = 0,6(1 - 0,77) + 0,8(0,2 - 0) + 1(0,77 - 0,2) = 0,87.$$

Будем считать, что совокупный спрос никак не связан с выгодами продавца, поэтому для агрегирования соответствий η и μ можно использовать аддитивный оператор агрегирования (1). Принимая равнозначную важность указанных соответствий ($\alpha = 0,5$), получаем соответствие $S = 0,68$.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Естественным желанием продавца является стремление реализовать как можно больше сделок на рынке, но так, чтобы при этом не потерять своей выгоды. Это желание отображает критерий (1). Выгодность отображается в нем явно, а ожидаемое число сделок — через вероятность, выражаемую через обобщенный спрос. В этой связи возникает вопрос, будет ли вероятность, ориентированная на обобщенный спрос, верно отображать ожидаемое число сделок. Ответ на этот вопрос можно получить двумя способами.

Если на рынке присутствует немного покупателей и индивидуальную вероятность совершения сделки с каждым покупателем можно оценить, нетрудно посчитать математическое ожидание числа сделок,

используя классические формулы теории вероятности. Индивидуальную вероятность сделки можно посчитать, используя вышеописанную методику агрегирования локальных соответствий.

Для рассматриваемого примера эти вероятности составят $p_1 = \eta_1 = 0,46$; $p_2 = \eta_2 = 0,42$; $p_3 = \eta_3 = 0,6$. Выписав полную группу событий, можно посчитать вероятность одной сделки — $P(1) = p_1(1-p_2)(1-p_3) + (1-p_1)p_2(1-p_3) + (1-p_1)(1-p_2)p_3$; двух сделок — $P(2) = p_1p_2(1-p_3) + (1-p_1)p_2p_3 + p_1(1-p_2)p_3$; трех сделок — $P(3) = p_1p_2p_3$. Математическое ожидание сделок — $\bar{n}_{\text{классич}} = P(1) \times 1 + P(2) \times 2 + P(3) \times 3 = 1,48$.

Очевидно, что при большом числе покупателей на рынке классический способ определения математического ожидания не годится. В этом случае можно воспользоваться имитационным моделированием для имитации многократного совершения сделок и подсчета ожидаемого числа сделок ($\bar{n}_{\text{имит}}$). Имитация была организована в среде Simulink Matlab. Для рассматриваемого примера при 100-кратном повторении сделок была получена оценка ожидаемого числа сделок $\bar{n}_{\text{имит}} = 1,49$, что практически совпадает с теоретической оценкой.

Включая в критерий (1) соответствие обобщенному спросу, мы предполагаем, что ожидаемое число сделок можно оценивать как произведение соответствия на число покупателей: $\bar{n} = \eta \times K = \eta \times 3 = 0,49 \times 3 = 1,47$.

Изменение трех оценок ожидаемого числа сделок при различных комбинациях локальных значений предложения показано на рис. 2. Как видно, изменение $\bar{n}$ адекватно изменениям оценок, рассчитанных на основе теории и имитации, коэффициент корреляции $\bar{n}$ с этими оценками составляет 0,99. Полученный результат дает основания для использования соответствия предложения обобщенному спросу при поиске лучшего предложения.

Выбор по критерию (1) был реализован с помощью генетического алгоритма в среде MatLab. Для рассматриваемого примера значение предложения «цена — 3; размер — 4, качество — 4» обеспечило максимум критерия (1) — $\eta = 0,66$, $\mu = 0,85$, $S = 0,75$.

Может оказаться, что для практического применения будет достаточно подбирать предложения, изменяя только цену товара. В этом случае появляется актуальная задача динамического ценообразования, решение которой обеспечивает продавцов рекомендациями по выбору цены предложения в условиях временных изменений спроса.

Представляется, что полученные результаты в виде информационной технологии поддержки принятия решений могут помочь развитию автоматизации разнообразных задач и процессов на товарных рынках B2B, а также организации государственных закупок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. (1986). Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. Д.А. Пospelov (ред.). М.: Наука. [Averkin A.N., Batyrshin I.Z., Blishun A.F., Silov V.B., Tarasov V.B. (1986). *Fuzzy sets in artificial intelligence models*. D.A. Pospelov (ed.). Moscow: Nauka (in Russian).]
- Будяков А.Н., Гетманова К.Г., Матвеев М.Г. (2017). Решение задачи выбора ресурсов и их поставщиков в условиях противоречивости технических и коммерческих требований // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии*. № 2. С. 66. [Budyakov A.N., Getmanova K.G., Matveev M.G. (2017). Resources and their suppliers selection problem solving within contradictory technical and commercial requirements. *Bulletin of the Voronezh State University, series System analysis and information technologies*, 2, 66 (in Russian).]



Рис. 2. Изменение ожидаемого числа сделок при изменении предложения по трем оценкам: теоретической, имитационной и предложенной в данной работе

- Рис Э.** (2014). Бизнес с нуля: метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели. Пер. с англ. М.: Альпина Пабlishер. [**Ries E.** (2014). *The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Translated from the English. Moscow: Al'pina Publisher. Originally published by Currency, 2011.]
- Ягеп Р.Р.** (1986). Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. М.: Радио и связь. [**Yager R.** (1986). *Fuzzy sets and possibility theory: Recent developments*. Moscow: Radio & Svyaz. Originally published by Pergamon Press, 1982 (in Russian).]
- Amin S.H., Zhang G.** (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39, 8, 6782–6791.
- Detyniecki M.** (2000). *Mathematical aggregation operators and their application to video querying*. (Unpublished doctoral dissertation). University of Paris VI, France.
- Grabisch M.** (1996). The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 89, 3, 445–456.
- Grabisch M., Nguyen H.T., Walker E.A.** (1995). *Fundamentals of uncertainty calculi with applications to fuzzy inference*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Matveev M., Podvalny S.** (2019). Models of centralized equipment procurement based on supplier-consumer matching. 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). *IEEE*, 151–154.
- Mendoza A., Ventura J.A.** (2012). Analytical models for supplier selection and order quantity allocation. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 8, 3826–3835.
- Mesiar R., Komorníková M.** (1997). Aggregation operators. *Proceeding of the XI Conference on applied Mathematics PRIM' 96*. Institute of Mathematics, Novi Sad., 193–211.
- Roth A.E.** (2003). The origins, history, and design of the resident match. *Jama*, 289, 7, 909–912.
- Roth A.E., Rothblum U.G.** (1999). Truncation strategies in matching markets — in search of advice for participants. *Econometrica*, 67, 1, 21–43.

Information technologies for supply creation on e-trading platform with marketplace technology

© 2021 M.G. Matveev

M.G. Matveev,

Voronezh State University, Voronezh, Russia; e-mail: mgmatveev@yandex.ru

Received 25.05.2020

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 17-01-00251).

Abstract. The paper discusses the problem of automated creation of supply for the homogenous products with marketplace technology which ensures maximum accordance to generalized demand and supplier's profit. Computer formalization of supply and demand in the form of products' characteristic parameters vectors as linguistic variables is proposed. Algorithm of building membership function based on individual consumer demand is introduced, as well as method of calculation local component-wise matchings of supply and generalized demand. Aggregation operator of local matchings in the form of discrete Choquet integral with fuzzy measure is proposed. The choice of such aggregation operator is driven by obvious interaction of characteristic parameters of the products and unavailability of classic additive operators. Aggregated matching of supply to generalized demand is interpreted as probability of transaction. Supplier profit is presented in the form of functional-cost restrictions, represented as linguistic variables within the vector characteristic parameters, which is structurally equivalent to vector of demand. The matching value of supply to functional-cost restrictions is interpreted as supplier's profit. Selection of the suppliers' offers is based on the optimization criteria in the form of desired trade-off between probability of transaction and seller's profit. The mentioned selection is performed via genetic algorithm. Additional study is conducted, which confirms possibility to use developed formalization of the generalized demand for obtaining the satisfactory offer choice. In particular proposed approach can be used for dynamic pricing realization on e-commerce marketplace platforms. Introduced models and algorithms should be used for creation of information services on e-commerce platforms, as well as on Government procurement market.

Keywords: electronic trading platform, e-trading platform, supply and demand, linguistic variables, aggregation, Choquet integral, fuzzy measure, optimal supply selection.

JEL Classification: D81.

DOI: 10.31857/S042473880009719-9