

УДК 338.5

## МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА РЫНКЕ ПАССАЖИРСКИХ АВИАПЕРЕВОЗОК

**Е. В. Загайнова**

*Статья посвящена анализу стратегии динамического ценообразования, которая получила широкое распространение на рынках электронной коммерции. Стоит отметить, что одним из первых сегментов интернет-рынка, на котором начала применяться модель динамического ценообразования, стали пассажирские авиаперевозки. Объектом исследования в данной статье выступает рынок низкобюджетных авиаперевозок. Предметом исследования является стратегия динамического ценообразования по системе «низкие издержки» на рынке пассажирских авиаперевозок. В ста-*

те представлена математическая модель, позволяющая найти оптимальную цену билета в определенный момент времени, которую может использовать авиакомпания, работающая по системе «низкие издержки». Показано, что цена билета в текущий момент времени зависит от таких параметров, как количество дней, оставшихся до вылета, уровень заполняемости салона самолета, время покупки потребителем билета на рейс. Ориентируясь на данные показатели, авиакомпания может определить оптимальную динамическую цену билета.

**Ключевые слова:** ценовые стратегии, электронное ценообразование, динамическое ценообразование, персонализированное ценообразование, гибкое ценообразование, интернет-рынок, электронная коммерция, низкобюджетный авиаперевозчик

### Введение

Интерес к российскому рынку электронной коммерции увеличивается с каждым годом. Для этого существуют объективные причины: рост численности интернет-аудитории, низкая доля онлайн-продаж в общем объеме продаж, развитие социальных и мобильных сетей. В связи со стремительным развитием электронного рынка в России вопросы, связанные с ценовой политикой предприятия, становятся особенно актуальными.

Сегодня широкое распространение в сегменте электронной коммерции получила стратегия динамического ценообразования, поскольку она имеет ряд неоспоримых преимуществ. Так, используя данную стратегию, интернет-компания имеет возможность максимально изъять потребительский излишек у каждого покупателя. Отраслью, которая во многом способствовала продвижению данной стратегии, стал сегмент продажи онлайн-билетов на авиарейсы.

Представляется интересным рассмотреть возможность применения стратегии динамического ценообразования в сегменте низкобюджетных пассажирских авиаперевозок и построить теоретическую математическую модель, позволяющую найти оптимальную цену билета в текущий момент времени. Объектом исследования в данной статье выступает рынок низкобюджетных авиаперевозок. Предметом исследования является стратегия динамического ценообразования по системе «низкие издержки» на рынке пассажирских авиаперевозок.

Статья имеет следующую структуру. В первой части обсуждаются особенности стратегии динамического ценообразования, а также даются краткие характеристики моделей, которые могут лежать в основе динамического ценообразования. Во второй части статьи приводится описание рынка низкобюджетных авиаперевозок и рассматривается базовая модель динамического ценообразования на данном сегменте. В третьей части статьи предлагается теоретическая математическая мо-

дель, позволяющая определить оптимальную цену билета в определенный момент времени, и приводится интерпретация полученных результатов.

### Основные характеристики стратегии динамического ценообразования

Динамическое ценообразование представляет собой основанную на технологиях ценовую систему, при которой происходит установление различных цен на один и тот же товар или услугу для различных потребителей по причинам, не связанным с издержками производства дополнительной единицы блага. Развитие технологий Big Data способствовало распространению стратегии персонализированного ценообразования, поскольку обеспечило компаниям возможность в режиме реального времени в интернет-среде анализировать множество факторов, таких как лояльность потребителей, история покупок на данном сайте, предпочтения потребителей и др.

Необходимо отметить, что персонализация цен основана на ценовой дискриминации первой степени (или совершенной ценовой дискриминации), которая предполагает установление цены для каждого покупателя на уровне его готовности платить; при этом весь потребительский излишек изымается фирмой-продавцом.

В литературе используется несколько терминов-синонимов динамического ценообразования, в частности персонализированное (*personalized pricing*) и гибкое ценообразование (*flexible pricing*).

М. Бихлер (M. Bichler) в своих исследованиях использовал термин «гибкое ценообразование» в более широком смысле. Он выделял дифференцированное ценообразование (когда различным покупателям назначаются различные цены, основанные на ожидаемых значениях цен) и динамическое ценообразование (цены формируются в ходе торгов между участниками рынка). По его мнению, гибкое ценообразование охватывает обе данные категории [3, с. 288].

В. Эльмагрэби (W. Elmagraby) и П. Кескиночак (P. Keskinicak) выделяли две категории методов динамического ценообразования: опубликованные [назначенные] цены (*posted price mechanisms*) и открытые цены (*price discovery mechanisms*) [8, с. 1289]. В первую категорию входят цены на товары или услуги, назначаемые продавцом по принципу «бери или уходи» (*take-it-or-leave-it price*). В данном случае продавец может изменять цены в зависимости от времени покупки, информации о потребителе и доступности других предложений. Для второй категории характерно, что цены определяются в ходе торгов. Самым распространенным примером являются *online*-аукционы.

Существуют различия при использовании стратегии фиксированной цены и стратегии динамического ценообразования. На рис. 1 верхний график относится к ситуации фиксированной цены: в данном случае фирма продает свои товары покупателям 4 и 5, так как их готовность платить превышает установленную фирмой цену. В случае динамических цен (второй график на рис. 1) фирма предлагает свой товар потребителям 2, 3, 4 и 5, так как их готовность платить превосходит предельные издержки производства данного блага. Во втором случае прибыль фирмы будет значительно выше.

Самым трудным аспектом в использовании стратегии динамических цен является сложность в определении готовности потребителей платить. Кроме того, издержки установления персонализированных цен могут быть очень высокими. Данную проблему во многом уда-

лось преодолеть благодаря использованию глобальной сети и технологий Big Data.

Согласно исследованиям В. Дж. Рейнарца (W.J. Reinartz), для успешного применения стратегии динамического ценообразования должно выполняться 5 условий [12, с. 14]:

1. Неоднородность (или гетерогенность) потребителей: покупатели должны иметь различную готовность платить за одни и те же товары или услуги.

2. Рынок должен быть сегментированным: должны существовать различные группы потребителей.

3. Возможность арбитража должна быть ограничена: покупатель, который приобрел товар по более низкой цене, не смог бы перепродать его по более высокой цене тем потребителям, которые имеют более высокую готовность платить.

4. Издержки сегментирования и ценовой дифференциации не должны быть настолько высокими, чтобы это препятствовало их применению. Выгоды от использования схем динамического ценообразования должны превышать издержки, связанные с разработкой и применением данных схем.

5. Хотя бы часть потребителей должна давать объективную оценку ценности потребляемого товара (в денежном выражении) и определять справедливость цены, назначаемой продавцом, применяющим стратегию динамического ценообразования.

Выделяют различные модели, применяемые в системах динамического ценообразования. Перечень моделей, приведенных в таблице, не

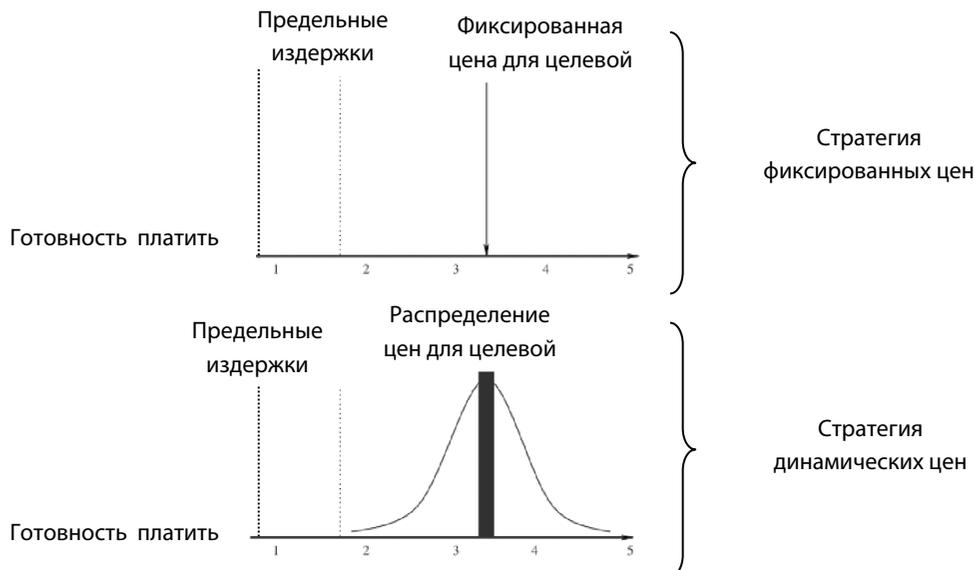


Рис. 1. Отличие стратегии динамического ценообразования от стратегии с фиксированными ценами. Источник: [12, с. 38]

Модели динамического ценообразования на интернет-рынках

Название модели	Краткое описание	Авторы
Модель, основанная на товарно-материальных запасах	Модель, в которой ценовые решения основаны на количестве товарно-материальных запасов фирмы, первоначально была разработана для традиционных рынков, впоследствии она стала применяться на рынках электронной коммерции. В данном контексте проблема динамического ценообразования может быть определена как проблема максимизации общей выручки компании за вычетом издержек производства (в условиях заданной производственной мощности) и издержек хранения запасов	Х. Вэриан (H. Varian), С. Сэлоп (S. Salop), Дж. Ю. Стиглиц (J. E. Stiglitz), В. Эльмагрэби (W. Elmaghraby), П. Кескиночак (P. Keskinocak), Л. М. А. Чан (L. M. A. Chan), З. Дж. М. Шен (Z. J. M. Shen), Дж. Свонн (J. Swann), С. Биллер (S. Biller), Д. Симши-Леви (D. Simchi-Levi)
Модель, основанная на использовании технологий больших массивов данных в интернет-среде	Модель предполагает использование технологий, анализирующих данные (статистику или другие параметры) для определения предпочтений потребителей и оптимальных динамических цен	Дж. Салисбери (J. Salisbury), В. Рой (V. Roy), Л. Т. Трасс (L. T. Truss)
Модель аукциона	Модель предполагает, что в результате проведения торгов цена устанавливается участниками аукциона на основании истинной ценности блага для каждого агента	М. Бихлер (Bichler M.), Р. Д. Лоуренс (R. D. Lawrence), В. Эльмагрэби (W. Elmaghraby)
Модель теории игр	Модель игры в области установления продавцами динамических цен может применяться в высоко конкурентной экономике, когда продавцы соревнуются за одну и ту же группу покупателей. Модели теории игр предлагают различные способы компьютерного моделирования цен в такой ситуации. Модели, основанные на кооперации между игроками электронного рынка, являются наиболее реалистичными и приносят наибольший выигрыш агентам рынка	Ф. Бернштейн (F. Bernstein), А. Федергрэн (A. Federgruen), Кс. Као (X. Cao), Х. Шен (H. Shen), Р. Милито (R. Milito), П. Вирт (P. Wirth)

Источник: составлено автором

является исчерпывающим; фирма может использовать одновременно несколько моделей или синтезировать их в одну общую.

Интернет-фирма может комбинировать или сочетать несколько из перечисленных моделей. Кроме данных моделей динамического ценообразования выделяют также модели машинного обучения (*machine learning-based models*), используемые для гибкого ценообразования. Обычно основные параметры рыночной среды подвержены постоянным динамическим изменениям, поэтому невозможно предсказать все варианты развития рыночной системы. Компьютерные технологии (технологии машинного компьютерного обучения) и технологии Big Data предоставили возможность спрогнозировать основные тренды развития рынка и спроектировать ценовые модели для них. Исследованиями в этой области

занимались Х. Брукс (H. Brooks), К. Равикумар (K. Ravikumar), М. Кумар (M. Kumar) и др.

#### Моделирование процесса определения оптимальных динамических цен на авиабилеты в сети Интернет

Сегмент продажи билетов на авиарейсы в сети Интернет является одним из первых, на котором стала активно применяться система динамического ценообразования. Поскольку сектор пассажирских авиаперевозок является высококонкурентным в настоящее время, авиакомпаниям приходится использовать эффективные механизмы максимизации выручки или, другими словами, систему управления доходами (*revenue management*), которая предполагает применение стратегии динамического ценообразования. Система управления доходами представляет собой способ достиже-

ния высокой прибыльности и полной загрузки мощностей компании посредством формирования грамотной ценовой политики [11, с. 1].

Системе управления доходами в авиаотрасли присущи следующие отличительные черты:

1. *Относительно фиксированная мощность загрузки.* Так, салон самолета имеет ограниченное количество мест.

2. *Товар с ограниченным сроком годности.* Авиабилет может продаваться до определенного момента (момента вылета рейса), после которого он не представляет никакой ценности для потребителя и не приносит выручку компании.

3. *Плавающий спрос.* В авиасегменте спрос является непостоянным и подвержен сезонным колебаниям. Система управления доходами позволяет получить высокую прибыль во время пика спроса и стимулировать потребителей к покупке во время спада спроса.

4. *Дифференциация продуктов.* Имеет место разделение билетов на два класса — бизнес и эконом.

Вопросами изучения возможности применения модели динамического ценообразования в авиаотрасли занимались А. Карвальо (A. Carvalho) и М.Л. Путерман (M.L. Puterman), 2003 г.; Р.И. Чэввин (R.E. Chatwin), 1999 г.; Й. Фенг (Y. Feng), 2000 г. и др. Многие из них рассматривали проблему определения оптимальных динамических цен в условиях максимизации выручки при заданном временном ограничении и неопределенности спроса. Большинство моделей динамического ценообразования предполагают использование сложных математических расчетов и компьютерного программирования.

Построение модели динамического ценообразования для авиакомпании, работающей по системе «низкие издержки» (*low-cost*)

Сегодня модели «низкие издержки» (*low-cost*) пользуются особой популярностью в области пассажирских авиаперевозок. В отличие от модели «полные издержки» (*full-cost*), ценовая политика которой основывается не только на динамическом ценообразовании, но и на взимании различных тарифов для различных классов, сложной системе скидок, схемах повышения лояльности потребителей и др., модель «низкие издержки» базируется исключительно на динамическом ценообразовании.

Самыми известными авиалиниями, работающими по схеме «низкие издержки», являются американская компания Southwest (первый в мире лоу-костер: начала работу по такой схеме

в 1970 г.), Ryanair (стали использовать систему «низкие издержки» в 1992 г.), Easyjet (1995 г.). Снижение издержек лежит в области исключения определенных услуг, которые в случае «полных издержек» традиционно входят в базовый пакет (например, питание на борту, допустимый объем багажа и др.).

Представляется интересным разработать математическую модель, которая может лежать в основе построения гибкой системы ценообразования авиакомпаний, работающих по системе «низкие издержки».

Прибыль авиакомпании тесно связана с выручкой, так как большая часть издержек рейса является фиксированными издержками, а переменные издержки, связанные с количеством пассажиров в салоне самолета, близки к нулю. Отсюда следует, что максимизация прибыли всецело зависит от максимизации функции выручки:

$$R = \sum_{i=1}^T p_i q_i, \quad (1)$$

где  $R$  — выручка фирмы;  $p_i$  — цена билета на рейс в день  $i$ ;  $q_i$  — количество мест, забронированных в салоне, в день  $i$ ;  $T$  — количество дней между первым днем бронирования билета и вылетом самолета.

Фирма стремится максимизировать выручку в рамках заданного ограничения мощности салона (так как количество мест в салоне является фиксированным значением):

$$\sum_{i=1}^T q_i \leq Q, \quad (2)$$

где  $Q$  — общее количество мест в салоне самолета.

Предположим, что авиакомпании вынуждены изменять свои цены вследствие изменений в конкурентной среде.

Для решения проблемы максимизации выручки в рамках заданного ограничения мощности салона используем функцию Лагранжа:

$$L = \sum_{i=1}^T p_i q_i + \mu(Q - \sum_{i=1}^T q_i), \quad (3)$$

где  $\mu$  — множитель Лагранжа.

Условие дополняющей нежесткости имеет вид:

$$\mu(Q - \sum_{i=1}^T q_i) = 0. \quad (4)$$

При максимальном использовании мощности самолета (все места в салоне заняты) коэффициент  $\mu > 0$ , в противном случае  $\mu = 0$ .

Преобразуем функцию Лагранжа:

$$L = \sum_{i=1}^T p_i q_i + \mu Q - \mu \sum_{i=1}^T q_i. \quad (5)$$

Чтобы определить оптимальную цену  $p_i$ , дифференцируя функцию  $L$  по  $p_i$ , получим сле-

дующее условие первого порядка для определения оптимальной цены  $p_i$ :

$$\frac{\partial L}{\partial p_i} = \frac{q_i \partial p_i}{\partial p_i} + \frac{p_i \partial q_i}{\partial p_i} + \frac{\partial \mu Q}{\partial p_i} - \frac{\mu \partial q_i}{\partial p_i} = 0, \quad (6)$$

где  $i \in [1; T]$ .

Упростив выражение (12), получаем:

$$q_i + (p_i - \mu) \frac{\partial q_i}{\partial p_i} = 0, \quad (7)$$

где  $i \in [1; T]$ .

В 2005 году М. Энджес (M. Anjos), Р. Ченг (R. Cheng), К. Карри (C. Currie) предложили функцию спроса, которая отрицательно зависит от цены (в нашем случае цены билета) и интервала между датами покупки и вылета [1]. Авторы пришли к выводу, что многие авиакомпании (особенно те организации, которые работают по системе «низкие издержки») используют данную функцию для определения спроса. В общем виде эта функция может быть записана следующим образом:

$$q_i = Ae^{-\alpha(p_i/P_{\text{баз.}})^i}, \quad (8)$$

где  $A$  и  $\alpha$  — константы;  $p_i/P_{\text{баз.}}$  — наценка на билет в момент времени  $i$  по сравнению с базовым тарифом ( $P_{\text{баз.}}$ );  $i$  — количество дней, оставшихся до вылета (число дней между датой бронирования билета и датой вылета).

Сегодня многие авиакомпании в процессе определения оптимальных динамических цен на билеты учитывают время покупки потребителем авиабилета. По нашему мнению, данный фактор можно учесть, модифицировав формулу (8):

$$q_i = Ae^{-\alpha(p_i/P_{\text{баз.}})^i |x-\beta|}, \quad (9)$$

где  $x$  — время покупки потребителем авиабилета,  $x \in [6; 24]$  часов.

Мы предполагаем, что спрос на авиабилеты в ночное время от 0 до 6 часов одинаково мал, поэтому если потребитель покупает билет ночью (в интервале от 0 до 6 ч), то  $x$  принимает значение 0;  $\beta$  — часы пика спроса на авиабилет.

Найдем производную  $q_i$  по  $p_i$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_i}{\partial p_i} &= (-\alpha i) |x - \beta| \frac{1}{P_{\text{баз.}}} Ae^{-\alpha(p_i/P_{\text{баз.}})^i |x-\beta|} = \\ &= -\alpha i |x - \beta| \frac{1}{P_{\text{баз.}}} q_i. \end{aligned} \quad (10)$$

Подставив выражение (10) в (7), получаем:

$$q_i + (p_i - \mu) \cdot (-\alpha i) |x - \beta| \frac{1}{P_{\text{баз.}}} q_i = 0, \quad (11)$$

$$p_i - \mu = \frac{-q_i P_{\text{баз.}}}{-(\alpha i q_i) |x - \beta|}. \quad (12)$$

Отсюда получаем зависимость между ценой  $p_i$  и параметрами  $\mu, \alpha, x, \beta, P_{\text{баз.}}$  и  $i$ :

$$p_i = \mu + \frac{P_{\text{баз.}}}{\alpha i |x - \beta|}. \quad (13)$$

В данном случае  $\mu$  — параметр, отвечающий за надбавку к цене, которая растет по мере заполнения мест в салоне самолета;  $\alpha$  — параметр, который связывает цену билета с количеством дней, оставшихся до вылета (чем меньше параметр  $\alpha$ , тем выше цена билета).

Таким образом, путем эмпирического расчета параметров  $\mu, \alpha, \beta$  авиакомпания может определить оптимальную цену билета в момент времени  $i$ .

График функции оптимальной цены является гиперболой: цена билета возрастает по мере приближения даты вылета (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость между количеством дней, оставшихся до вылета, и ценой билета. Источник: построено автором

Подводя итог, необходимо отметить, что оптимальная динамическая цена на авиабилет определяется следующими основными параметрами:

- 1) количеством дней, оставшихся до вылета ( $\alpha_i$ ), причем между данным параметром и ценой существует обратная зависимость;
- 2) уровнем заполняемости салона самолета (параметр  $\mu$ ), причем между данным параметром и ценой существует прямая зависимость;
- 3) временем покупки билета (в часах; параметры  $x, \beta$ ).

Коэффициенты  $\mu, \alpha, \beta$  должны рассчитываться эмпирически, исходя из таких условий, как, например, интенсивность бронирований, частота посещаемости сайта авиакомпании и др. (в рамках максимизации выручки компании). Согласно статистике, цена билета на рейс достигает самых высоких значений в период с 16 до 18 часов, поэтому параметр  $\beta$  должен лежать в этом интервале.

### Заключение

Ситуация, сложившаяся на рынке низкобюджетных пассажирских авиаперевозок в России, требует особого внимания. Сейчас в сегменте отечественных лоукостеров представлена лишь авиакомпания «Победа», предыдущие три — SkyExpress, «Авианова», «Добролет» — не прижились. Согласно аналитическим обзорам, существовал ряд факторов, из-за которых данные авиаперевозчики не смогли закрепиться на рынке: высокая стоимость владения воздушными судами, высокие расходы на техническое обслуживание, отсутствие дотаций местных властей и аэропортов и прочие факторы.

Поэтому, чтобы сформировать конкурентоспособный сегмент низкобюджетных авиаперевозок в нашей стране, авиакомпаниям-лоукостерам следует учесть опыт работы их предшественников, а также уделить пристальное внимание вопросам ценообразова-

ния. Система динамического ценообразования может предоставить высокие преимущества в электронной коммерции. На рынке пассажирских авиаперевозок выполняются все условия, необходимые для успешного использования данной ценовой стратегии: гетерогенность потребителей, сегментация рынка, ограничение на арбитраж и др. Поэтому мы посчитали интересным разработать модель, позволяющую определить оптимальную цену билета в текущий момент времени. Так, согласно проведенному исследованию, чтобы обеспечить высокую прибыльность, цена билета на рейс низкобюджетного авиаперевозчика должна изменяться в зависимости от трех основных параметров: количества дней, оставшихся до вылета; уровня заполняемости салона самолета; времени покупки потребителем билета на рейс. Расчет данных показателей поможет низкобюджетной авиакомпании получить высокие показатели прибыли и выручки.

### Список источников

1. Anjos M., Cheng R., Currie C. Optimal pricing policies for perishable products // *European Journal of Operational Research*. — 2005. — Vol. 166. No. 1. — P. 246–254.
2. Bernstein F., Federgruen A. Pricing and replenishment strategies in a distribution system with competing retailers // *European Journal of Operational Research*. — 2003. — Vol. 51. — No. 3. — P. 409–426.
3. Bichler M., Lawrence R. D., Kalagnanam J., Lee H. S., Katircioglu K., Lin G. Y., King A. J., Lu Y. Applications of flexible pricing in business-to-business electronic commerce // *IBM Systems Journal*. — 2002. — Vol. 41. — No. 2. — P. 287–302.
4. Biller S., Chan L. M. A., Simchi-Levi D., Swann J. Dynamic pricing and the direct-to-customer model in the automotive industry // *Electron Commerce Journal*. — 2005.
5. Brooks H., Fay R., Das R., MacKie-Mason J. K., Kephart J. O., Durfee E. H. Automated strategy searches in an electronic goods market: Learning and complex price schedules // *In Proc. First ACM Conference on Electronic Commerce*. — New York: ACM Press, 1999. — P. 31–40.
6. Cao X., Shen H., Milito R., Wirth P. Internet pricing with a game theoretic approach: concepts and examples // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. — 2002. — Vol. 10. — No. 2. — P. 208–216.
7. Chan L. M. A., Shen Z. J. M., Simchi-Levi D., Swann J. Coordination of pricing and inventory decisions: A survey and classification // *In Handbook on Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era. Series in Operations Research and Management Science*. — Kluwer Academic Publishers, 2005.
8. Elmaghraby W., Keskinocak P. Dynamic pricing. Research overview, current practices and future directions // *Management Science*. — 2003. — Vol. 49. — No. 10. — P. 1287–1309.
9. Elmaghraby W. Auctions and pricing in e-marketplaces // *In Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modelling in the E-Business Era. International Series in Operations Research and Management Science*. — Kluwer Academic Publishers, 2005.
10. Gupta M., Ravikumar K., Kumar M. Adaptive strategies for price markdown in a multiunit descending price auction: A comparative study // *In: Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. 2002. — P. 373–378.
11. Joshi K. Modeling alternate strategies for airline revenue management // *Graduate Theses and Dissertations*. 2004 [Electronic resource]. URL: <http://scholarcommons.usf.edu/etd/1102> (last accessed data: 16.03.2016).
12. Reinartz W. J. Customising prices in online markets // *European Business Form* 2000. — No. 6. — P. 35–41.
13. Rusmevichientong P., Salisbury J. A., Truss L. T., Roy B. Van, Glynn P. W. Opportunities and challenges in using online preference data or vehicle pricing: A case study at general motors // *Technical report, Department of Management Science and Engineering, Stanford University*. — October 2004.
14. Salop S., Stiglitz J. E. The theory of sales: A simple model of equilibrium price dispersion with identical agents // *American Economic Review*. — 1982. — Vol. 72. — No. 5. — P. 1121–1130.
15. Varian H. R. A model of sales // *American Economic Review*. — 1980. — Vol. 70. — No. 4. — P. 651–659.