
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

ФОРМАЛИЗАЦИЯ СПРОСА НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ ТОВАРЫ

© 2012 г. А.С. Зувев, М.Л. Бабейкин

(Москва)

Представлен подход к формализации зависимости спроса на высокотехнологичные товары от их цен, торговых марок производителей и состава потребительских свойств, соответствующих параметрам внешнего вида, функциональных возможностей и технических характеристик. В качестве методологической базы использован аппарат кредитного статистического скоринга и обоснована возможность его применения в исследуемой предметной области. Изложены проблемы классификации высокотехнологичных товаров и оптимизационные задачи, рассматриваемые при их разработке.

Ключевые слова: многофакторный спрос, промышленные товары, высокотехнологичные товары, разработка товаров, конкурентоспособность товара, потребительские свойства, промышленные предприятия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития высоких технологий и условия международной торговли создают постоянную напряженность и рост конкуренции на потребительских рынках высокотехнологичных товаров – компьютерной и бытовой техники, средств связи и коммуникации, автотранспорта и т.д. Рассматриваемые товары могут производиться в различных вариантах исполнения, определяемых торговыми марками производителей и составами потребительских свойств – параметрами внешнего вида, функциональными возможностями и техническими характеристиками (каждое свойство может быть реализовано в различных вариантах). В данной статье подобные товары объединены понятием “сложное промышленное изделие” (СПИ), под которым понимается конкретная модель товара с ее уникальным сочетанием торговой марки производителя и состава вариантов реализации потребительских свойств (далее – просто свойств).

Сети реализации СПИ на рынках могут обладать сложной структурой, связывающей конечных потребителей и производителей, включая находящихся в разных странах. В результате установления различных наценок, даже на малых региональных рынках, цены на одинаковые СПИ у розничных распространителей могут существенно варьировать.

Состав свойств, торговая марка производителя и цена СПИ являются определяющими факторами их конкурентоспособности. При этом себестоимость производства изделия на конкретном предприятии (Кондукова, 2008) определяется экономическими и технологическими особенностями организации производственного процесса с учетом конкретного состава его свойств; она также включает затраты на приобретение материалов и комплектующих у поставщиков. Производство изделий с одинаковыми составами свойств не исключает специфики конкретных предприятий и различных производителей, для которых себестоимость реализации каждого свойства в единице продукции может варьироваться.

Представленный в настоящее время на рынке широкий ассортимент одновидовых СПИ, отличающихся странами изготовления, торговыми марками производителей, ценами и составами свойств, создаст большую сложность моделирования, оценки и прогнозирования многофакторного потребительского выбора и спроса.

Следствием указанных выше особенностей производства, ценообразования и реализации СПИ является актуальность следующих проблем:

- 1) моделирование (оценка и прогнозирование) многофакторного потребительского спроса на новые (разрабатываемые) СПИ;
- 2) оптимизация составов вариантов реализации свойств создаваемых СПИ;
- 3) разработка методов классификации одновидовых СПИ в соответствии с составами свойств и параметрами многофакторного потребительского спроса.

Областью прикладного применения результатов соответствующих исследований является реализация основной функции маркетинга в сфере работы с СПИ – разработка новых товаров (изделий), наилучшим образом соответствующих предпочтениям и удовлетворяющих потребности потребителей.

В настоящее время проблема моделирования многофакторного потребительского спроса исследована недостаточно. Существуют различные подходы к определению потребительских предпочтений (Зуев, Федоров, 2008, с. 139–140) и моделированию потребительского выбора (Anderson, Palma, Thisse, 1992; Zsolt, 2009). Однако в контексте работы со СПИ применение данных подходов затруднено вследствие большого числа подлежащих формализации параметров: цена, страна изготовления, торговая марка производителя, параметры внешнего вида, функциональные возможности и технические характеристики.

Определение состава вариантов реализации свойств нового СПИ в большинстве случаев осуществляется с использованием экспертных (недостаточно формализованных) методов, основанных, в частности, на сравнении с конкретными аналогичными существующими или эталонными изделиями (Brownstone, Train, 1999). По сути, данные методы ориентированы на копирование “успешных” (пользующихся спросом) или эталонных товаров, что не учитывает экономические и технологические особенности конкретного производителя и не позволяет обеспечить соответствие создаваемого СПИ конкретным особенностям многофакторного спроса. Экспертные методы ограничивают конкурентоспособность создаваемых СПИ, так как не гарантируют оптимальности получаемого состава вариантов реализации свойств с точки зрения предпочтений потребителей и особенностей производителя и не позволяют оценить близость полученного состава к оптимальному.

Классификация существующих одновидовых СПИ в соответствии с составами свойств и параметрами многофакторного потребительского спроса позволит детализировать описание сегментов и ниш соответствующих рынков. Это даст возможность более эффективно позиционировать и создавать новые СПИ в соответствии с особенностями конкретного сегмента или ниши (Бадыйн, Тамберг, 2008, гл. 3, 4).

Описание потребительских предпочтений и выбора посредством определения функции многофакторного спроса на СПИ является необходимым условием разработки формализованных методов оптимизации составов вариантов реализации их свойств и выполнения классификации. В данной статье предложен подход к поиску указанной функции, параметрами которой служат цена, торговая марка производителя и состав вариантов реализации свойств изделия. По желанию исследователя можно легко изменить набор параметров, например в составе свойств изделия может быть учтена страна его изготовления. Также рассмотрены оптимизационные задачи определения составов комплектующих и вариантов реализации свойств СПИ, указаны проблемы классификации изделий. В качестве методологической базы использован аппарат кредитного статистического скоринга, широко применяемый для оценки кредитоспособности и рисков кредитования физических лиц (Мэйз, 2008). Построение математических скоринговых моделей основано на обработке статистических данных для выявления зависимости значения оценки заемщика от основных характеризующих его “параметров”: пол, возраст, образование, социальный статус, семейное положение и т.д.

2. ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТА КРЕДИТНОГО СКОРИНГА

Возможность применения аппарата кредитного скоринга для формализации многофакторного потребительского спроса на СПИ обосновывается идентичностью исходных данных и качественных постановок соответствующих задач с математической точки зрения, а также различиями

Таблица. Интерпретации функции, переменных и обозначений

Обозначение	Скоринговая модель	Формализация спроса
m	Число вопросов в анкете	Число свойств СПИ
$n_i, i = 1, \dots, m$	Число взаимоисключающих вариантов ответа на вопрос с номером i (например, о поле, возрасте и т.д.)	Число взаимоисключающих вариантов реализации свойства с номером i (например, цвет, форм-фактор и т.д.)
$x_{i,j_i} = \{0, 1\}, j_i = 1, \dots, n_i$	Взаимоисключающие варианты ответа на вопрос с номером i	Взаимоисключающие варианты реализации в СПИ свойства с номером i
	Рассматриваемые наборы переменных взаимнезависимы	
X	Вектор признаков респондента, сформированный на основании заполненной им анкеты	Вектор свойств СПИ, сформированный в результате его анализа или разработки
$F(X)$	Функция вычисления балла, характеризующего оценку кредитоспособности респондента	Функция вычисления балла, характеризующего оценку объема спроса на СПИ
Y	Оценка кредитоспособности	Оценка объема спроса на СПИ
Задача определения функции $F(X)$	Определить вид и/или параметры функции $Y = F(X)$ на основании сведений:	
	о ранее выданных кредитах и признаках соответствующих заемщиков	о существующих одновидовых СПИ и соответствующих им составах свойств
Задача классификации	Объекты требуется классифицировать в однородные группы в соответствии со значениями переменных вектора X и величины Y	
Исходные данные для определения функции $F(X)$ и выполнения классификации	Сведения о ранее выданных кредитах: признаках заемщиков и результатах возврата ими кредитов. Переменной Y присваивается значение 0, если кредит не был возвращен (или был возвращен с задержкой), и 1 – в противном случае (Y может соответствовать сумме скоринговых баллов)	Сведения о представленных на рынке СПИ: объемах продаж и составах вариантов реализации свойств. Переменной Y присваивается значение 0, если объем продаж считается недостаточным, и 1 – в противном случае. Переменной Y могут присваиваться значения объемов продаж в количественном или долевым выражении

только в их интерпретациях. Утверждение о применимости аппарата кредитного скоринга в рассматриваемой предметной области является гипотезой выполняемого авторами исследования. Его доказательство на основании статистических данных и изложенного в настоящей статье подхода предполагается выполнить в последующих работах.

Пусть рассматривается некоторая функция со следующими особенностями: $Y = F(X)$, $X = \{x_{i,j_i}\}$, $x_{i,j_i} = \{0, 1\}$, $j_i = 1, \dots, n_i$, $\sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i} = 1$, $i = 1, \dots, m$. В таблице приведены интерпретации функции, ее переменных и обозначений в скоринговых моделях оценки заемщика и формализации многофакторного спроса. Результаты сравнения позволяют утверждать о полной идентичности исходных данных и особенностей применения скоринговых моделей в указанных областях исследования.

Результаты сравнения позволяют утверждать, что адаптация скоринговых моделей и методологической базы их построения к задачам формализации многофакторного спроса на СПИ является теоретически возможной. Использование доказавшего свою эффективность методологического подхода и проверенного математического аппарата для решения аналогичных задач и обработки идентичных данных в другой области знаний может гарантировать достаточную обоснованность получаемых результатов. В рассматриваемых предметных областях необходимо найти значение главного параметра Y – вероятности невозврата кредита, доли рынка или объема спроса – на основании известных значений вторичных признаков, сведений из анкеты заемщика

либо данных о составе свойств СПИ. Для формализации многофакторного спроса на СПИ требуется определить параметры функции $Y = F(X)$, вид которой может соответствовать любому виду функций, используемых в скоринговых моделях.

Состав вариантов реализации свойств СПИ описывается вектором булевых переменных X , принимающих значение 1, если соответствующий вариант реализован в изделии, и значение 0 – в противном случае. Различные варианты реализации каждого свойства являются взаимоисключающими для конкретной модели изделия (например, варианты окраски). Наборы взаимоисключающих вариантов зависят от сумм соответствующих переменных, приравненных к единице.

3. ЗАДАЧА ФОРМАЛИЗАЦИИ МНОГОФАКТОРНОГО СПРОСА НА СПИ

На основании сведений о торговых марках, составах вариантов реализации свойств, объемах продаж и ценах представленных на рынке СПИ некоторого вида требуется определить следующие функциональные зависимости.

1. Объем продаж СПИ – от его марки и состава свойств. Данная функция описывает сложившиеся предпочтения потребителей относительно свойств и марок СПИ без непосредственного учета их цен (аппроксимирует данные об объемах продаж и составах свойств).

2. Цена СПИ – от его марки и состава свойств. Данная функция описывает сложившиеся особенности ценообразования (определяемые производителями и сетями реализации) относительно марок и свойств СПИ (аппроксимирует данные о ценах и составах свойств).

3. Спрос на СПИ – от его марки, состава свойств и цены. При наличии сведений об объемах продаж одновидовых СПИ по конкретным ценам данная функция будет описывать сложившиеся предпочтения потребителей относительно свойств и цен изделий, а при отсутствии – функцию можно определить по двум указанным выше функциям и описывать рыночный механизм согласования предпочтений потребителей и особенностей ценообразования на СПИ относительно составов их свойств.

Исходные данные. $A = \{a_1, \dots, a_p\}$, $|A| = p$ – множество представленных на исследуемом рынке СПИ некоторого вида – товарной категории (например, стиральные машины); p и m – соответственно число СПИ некоторого вида и число рассматриваемых свойств (например, типы управления и загрузки, цвет и т.д.); n_i , $i = 1, \dots, m$ – число взаимоисключающих вариантов реализации свойств с номерами i ; n_0 – число рассматриваемых торговых марок производителей СПИ (например, БЕКО, Bosch, LG, Electrolux, Samsung и т.д.); $X^k = \{x_{i,j_i}^k\}$, $x_{i,j_i}^k \in \{0, 1\}$, $i = 1, \dots, m$, $j_i = 1, \dots, n_i$, $k = 1, \dots, p$ – множества значений свойств СПИ $a_k \in A$ (например, тип управления – механическое или электронное, тип загрузки – вертикальная или фронтальная, цвет: белый или черный и т.д.); $X_0^k = \{x_{0,j_0}^k\}$, $x_{0,j_0}^k \in \{0, 1\}$, $j_0 = 1, \dots, n_0$ – множества значений торговых марок СПИ $a_k \in A$; a – новое (не представленное на рынке) изделие с себестоимостью U^a ; $X^a = \{x_{i,j_i}^a\}$, $x_{i,j_i}^a \in \{0, 1\}$, $i = 0, \dots, m$, $j_i = 1, \dots, n_i$ – множества значений свойств изделия a с учетом торговой марки его производителя; $Q = \{q_1, \dots, q_p\}$, $|Q| = p$ – множество суммарных объемов продаж СПИ $a_k \in A$, $k = 1, \dots, p$ на рассматриваемом рынке; c_k^z , $z = 1, \dots, r_k$ – цены СПИ $a_k \in A$ у розничных распространителей z ; $C^r = [C; C_{r+1}]$, $r = 1, \dots, n_{m+1}$ – установленные исследователем диапазоны значений цены СПИ рассматриваемого вида, где n_{m+1} – их число; $X_z^k = \{x_{m+1,j_{m+1}}^{z,k}\}$, $x_{m+1,j_{m+1}}^{z,k} \in \{0, 1\}$, $j_{m+1} = 1, \dots, n_{m+1}$, $z = 1, \dots, r_k$ – множества значений цен СПИ $a_k \in A$ у конкретных распространителей z ($x_{m+1,j_{m+1}}^{z,k} = 1$, если $c_k^z \in C^{j_{m+1}}$); $Q_k = \{q_k^z\}$ – множества объемов продаж СПИ $a_k \in A$ по ценам c_k^z .

Зададим в общем виде исходные данные о некотором СПИ (далее – о составе его свойств без указания обозначений в индексах):

- 1) с учетом торговой марки $\bar{X} = \{x_{i,j_i}\}$, $x_{i,j_i} \in \{0, 1\}$, $i = 0, \dots, m$, $j_i = 1, \dots, n_i$
- 2) с учетом торговой марки и цены $\bar{X}_* = \{x_{i,j_i}\}$, $x_{i,j_i} \in \{0, 1\}$, $i = 0, \dots, m+1$, $j_i = 1, \dots, n_i$.

Дополнительные ограничения обусловлены тем, что варианты реализации каждого свойства, торговой марки и цены СПИ являются взаимоисключающими:

$$\sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i}^k = 1, \quad k=1, \dots, p;$$

$$\sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i}^a = 1, \quad \sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i} = 1, \quad i=0, \dots, m;$$

$$\sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i}^{z,k} = 1, \quad k=1, \dots, p, \quad z=1, \dots, r_k, \quad i=m+1.$$

Требуется найти функциональную зависимость:

- 1) $Y = F(\bar{X})$ – объема продаж СПИ от состава его свойств;
- 2) $C = Z(\bar{X})$ – цены СПИ от состава его свойств;
- 3) $Y_* = F(\bar{X}_*)$ – объема продаж СПИ от состава его свойств и цены (не может быть определена при отсутствии сведений об объемах продаж Q_k СПИ $a_k \in A$ по различным ценам);
- 4) $W = V(Y, C)$ – многофакторного спроса на СПИ от состава его свойств и цены (данная функция может быть определена на основании функций $Y = F(\bar{X})$ и $C = Z(\bar{X})$); а также Y^a и C^a – объем продаж и цену изделия a и оценить его положение на рынке.

Предположение. Вид функций Y , C и Y_* может соответствовать любой функции, используемой в скоринговых моделях. В качестве примера рассмотрим множественные линейные регрессии:

$$Y = F(\bar{X}) = \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} d_{i,j_i} x_{i,j_i}, \quad \text{где } d_{i,j_i}, \quad i=0, \dots, m, \quad j_i=1, \dots, n_i - \text{ее параметры};$$

$$C = Z(\bar{X}) = \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} h_{i,j_i} x_{i,j_i}, \quad \text{где } h_{i,j_i}, \quad i=0, \dots, m, \quad j_i=1, \dots, n_i - \text{ее параметры};$$

$$Y_* = F(\bar{X}_*) = \sum_{i=0}^{m+1} \sum_{j_i=1}^{n_i} k_{i,j_i} x_{i,j_i}, \quad \text{где } k_{i,j_i}, \quad i=0, \dots, m+1, \quad j_i=1, \dots, n_i - \text{ее параметры}.$$

При наличии в изделии a свойств или вариантов их реализации, отсутствующих в изделиях $a_k \in A$, $k=1, \dots, p$, коэффициенты при соответствующих переменных в рассмотренных выше моделях могут быть получены методом экспертных оценок в результате сопоставления с ближайшими аналогами. При этом значения Y^a и C^a можно получить без учета рассматриваемых свойств или вариантов их реализации, а затем скорректировать.

4. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ФОРМАЛИЗАЦИИ МНОГОФАКТОРНОГО СПРОСА

4.1. Первым этапом решения задачи является определение параметров функций Y , C и Y_* . Для этого могут быть применены методы линейного программирования, а также построения множественной линейной и логистической регрессий (Lyn, Edelman, Crook, 2002, ch. 5, 4). Указанные подходы имеют особенности применения и интерпретации исходных данных, поэтому далее каждый будет рассмотрен отдельно.

Методы линейного программирования предполагают определение параметров функций в результате минимизации суммарной ошибки Z по всей обучающей выборке. Преимуществом данного подхода является возможность введения ограничений на значения определяемых параметров. Возможны различные способы задания ошибки и целевой функции. Далее приведен пример одного из них: неотрицательность ошибок обеспечивает получение значений Y , C и Y_* , не превышающих результаты наблюдений. Предполагается, что пессимистическая оценка объема

продаж и/или цены более предпочтительна, чем оптимистическая, однако задача в подобной постановке чувствительна к “выбросам” в наблюдениях. При отсутствии требования неотрицательности в качестве целевой функции может использоваться сумма модулей ошибок, а при минимизации суммы их квадратов получаемый результат будет совпадать с построением множественной линейной регрессии.

Для “обучения” моделей требуются следующие наборы исходных данных:

1) для Y – это $X^k, X_0^k, k = 1, \dots, p$, и Q , формирующие задачу:

$$Z = \sum_{k=1}^p \varepsilon_k \rightarrow \min, \quad \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} d_{i,j_i} x_{i,j_i}^k = q_k - \varepsilon_k, \quad \varepsilon_k \geq 0;$$

2) для C – это X^k, X_0^k и $c_k^z, k = 1, \dots, p, z = 1, \dots, r_k$, формирующие задачу

$$Z = \sum_{k=1}^p \sum_{z=1}^{r_k} \varepsilon_k^z \rightarrow \min, \quad \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} h_{i,j_i} x_{i,j_i}^k = c_k^z - \varepsilon_k^z, \quad \varepsilon_k^z \geq 0;$$

3) для Y_* – это X^k, X_0^k, X_z^k и $Q_k, k = 1, \dots, p, z = 1, \dots, r_k$, формирующие задачу

$$Z = \sum_{k=1}^p \sum_{z=1}^{r_k} \varepsilon_k^z \rightarrow \min, \quad \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} k_{i,j_i} x_{i,j_i}^k + \sum_{j_{m+1}=1}^{n_{m+1}} k_{m+1,j_{m+1}} x_{m+1,j_{m+1}}^{z,k} = q_k^z - \varepsilon_k^z, \quad \varepsilon_k^z \geq 0.$$

В рассмотренных задачах примерами ограничений на значения определяемых параметров функций Y, C и Y_* могут являться следующие соответствующие требования: $d_{i,j_i} \geq 0, h_{i,j_i} \geq 0, k_{i,j_i} \geq 0, i = 0, \dots, m, j_i = 1, \dots, n_i$.

Множественная линейная регрессия. Для определения значений параметров функций может использоваться метод наименьших квадратов. Для “обучения” моделей требуются следующие наборы исходных данных:

1) для Y – это $X^k, X_0^k, k = 1, \dots, p$, и Q , формирующие систему $q_k = \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} d_{i,j_i} x_{i,j_i}^k$;

2) для C – это $X^k, X_0^k, c_k^z, k = 1, \dots, p, z = 1, \dots, r_k$, формирующие систему $c_k^z = \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} h_{i,j_i} x_{i,j_i}^k$;

3) для Y_* – это $X^k, X_0^k, X_z^k, Q_k, k = 1, \dots, p, z = 1, \dots, r_k$, формирующие систему $q_k^z = \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} k_{i,j_i} x_{i,j_i}^k + \sum_{j_{m+1}=1}^{n_{m+1}} k_{m+1,j_{m+1}} x_{m+1,j_{m+1}}^{z,k}$.

При определении параметров функций Y и Y_* величины q_k и q_k^z могут принимать значение 1 при достаточном объеме продаж и 0 – в противном случае. Число уравнений в данных системах должно быть не менее числа переменных.

Множественная логистическая регрессия позволяет получить оценку доли рынка СПИ. Для “обучения” моделей требуются следующие наборы исходных данных:

1) для Y – это $X^k, X_0^k, k = 1, \dots, p$, и Q , формирующие систему $\log \frac{g^k}{1-g^k} = \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} d_{i,j_i} x_{i,j_i}^k, g^k = q_k / \sum_{k=1}^p q_k$;

2) для Y_* – это X^k, X_0^k, X_z^k и $Q_k, k = 1, \dots, p, z = 1, \dots, r_k$, формирующие систему $\log \frac{g_k^z}{1-g_k^z} = \sum_{i=0}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} k_{i,j_i} x_{i,j_i}^k + \sum_{j_{m+1}=1}^{n_{m+1}} k_{m+1,j_{m+1}} x_{m+1,j_{m+1}}^{z,k}, g_k^z = q_k^z / \sum_{k=1}^p \sum_{z=1}^{r_k} q_k^z$.

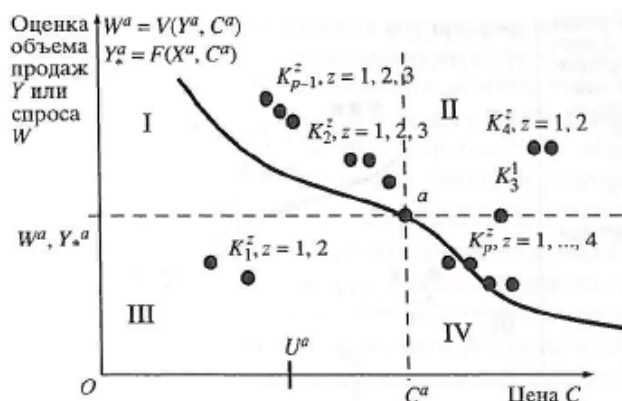


Рис. 1

Если функции Y , C и Y_* предполагаются нелинейными, то для определения их вида и параметров могут быть применены подходы, основанные, например, на использовании генетических алгоритмов и нейронных сетей (Lyn, Edelman, Crook, 2002, ch. 5).

4.2. На втором этапе решения задачи найдем вид и параметры функции $W = V(Y, C)$ многофакторного спроса на СПИ в зависимости от состава его свойств и цены. Для этого с помощью функций $Y = F(\bar{X})$ и $C = Z(\bar{X})$ получим оценки объемов продаж y_k и цен c_k представленных на рынке СПИ $a_k \in A$, $k = 1, \dots, p$. Это позволит задать точки K_k , $k = 1, \dots, p$ с координатами (c_k, y_k) , определяющими таблично заданную функцию многофакторного спроса на СПИ. В результате аппроксимации данной функции (например, с помощью метода наименьших квадратов) могут быть получены вид и параметры искомой функции $W = V(Y, C)$.

Функцию W можно трактовать как описание рыночного механизма согласования (аппроксимированное рыночное равновесие) предпочтений потребителей и особенностей ценообразования на СПИ относительно составов их свойств.

Также возможны следующие подходы к определению функции W .

1. Если известны сведения Q_k об объемах продаж изделий $a_k \in A$, $k = 1, \dots, p$ по ценам c_k^z , $z = 1, \dots, r_k$, то каждое изделие может быть представлено точками K_k^z , $k = 1, \dots, p$, $z = 1, \dots, r_k$, имеющими координаты (c_k^z, y_k^z) , где c_k^z – цена изделия k у розничного распространителя z ; y_k^z – оценка объема продаж, полученная с помощью функции Y_* (рис. 1).

2. Если сведения об объемах продаж изделий $a_k \in A$, $k = 1, \dots, p$ по конкретным ценам не известны, то каждое изделие может быть представлено точками $\bar{K}_k^z$, $k = 1, \dots, p$, $z = 1, \dots, r_k$, имеющими координаты (c_k^z, y_k) , где c_k^z – цена изделия k у розничного распространителя z , а y_k – оценка объема продаж, полученная с помощью функции Y (рис. 2).

На основании представленных рассуждений можно сделать вывод, что для любого варианта исходных данных (имеющихся у исследователя сведений) возможно построение функции W многофакторного потребительского спроса. Сравнение предложенных подходов и составление рекомендаций по их применению будет одним из предметов дальнейшего выполняемого авторами исследования.

4.3. На третьем этапе определяются объем продаж Y^a и цена C^a изделия a , а также оценивается его положение на рынке. Согласно полученным функциям $Y = F(\bar{X})$ и $C = Z(\bar{X})$ и $Y_* = F(\bar{X}_*)$ рассчитываются $Y^a = F(X^a)$, $C^a = Z(X^a)$ и $Y_*^a = F(X^a, C^a)$. При этом Y_*^a – функция независимой переменной C^a , что позволяет установить цену изделия a выше себестоимости U^a с учетом особенностей позиционирования на рынке, в соответствии с интересами производителя и ожидаемой наценкой сети сбыта. Если функция Y_* не известна, то может быть использована функция $W = V(Y, C)$, позволяющая получить зависимость $W^a = V(Y^a, C^a)$ многофакторного спроса на изделие a от его цены C^a .

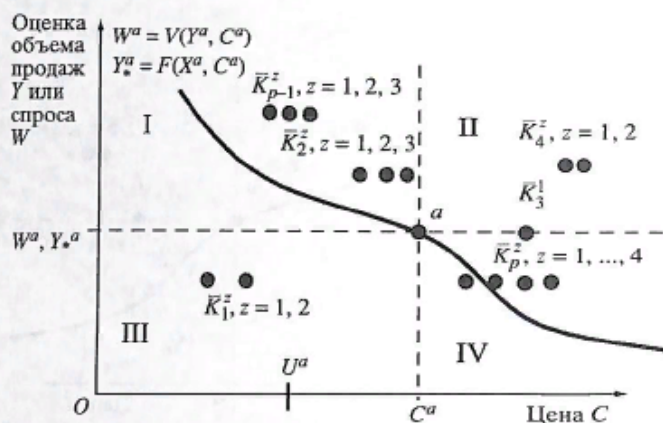


Рис. 2

В системе координат YOC (где Y – оценка объема продаж (или спроса W), C – цена изделия) отметим точки, соответствующие изделиям $a_k \in A$, $k = 1, \dots, p$: на рис. 1 это точки $K_k^z(c_k^z, y_k^z)$, полученные с помощью функции Y_* , а на рис. 2 – точки $\bar{K}_k^z(c_k^z, y_k^z)$, полученные с помощью функции Y , $k = 1, \dots, p$, $z = 1, \dots, r_k$.

По цене C^a , оценке объема продаж Y^a или объему спроса W^a для изделия могут быть определены четыре сектора возможных положений конкурирующих (представленных на рынке) изделий (рис. 1, 2):

- II – сектор “сильных” конкурентов (включая границы);
- I и IV – сектора “умеренных” конкурентов;
- III – сектор “слабых” конкурентов (включая границы).

На основании результатов анализа зависимости состава изделий $a_k \in A$ в указанных секторах от цены C^a изделия a может быть оценено его положение на рынке и решена задача ценообразования с учетом требуемой прибыли производителя и ожидаемой наценки сети сбыта. Например, исследование положения точек K_k^z или $\bar{K}_k^z$, $k = 1, \dots, p$, $z = 1, \dots, r_k$, в системе координат YOC относительно отрезков на оси OC позволяет оценить напряженность ценовой конкуренции в соответствующих диапазонах цены C^a изделия a . Методика проведения такого анализа авторами статьи разработана и будет изложена в отдельной работе.

Значения C^a , U^a , Y^a или W^a позволяют оценить возможную прибыль P производителя от реализации изделия a : $P = (C^a - U^a)Y^a$ или $P = (C^a - U^a)W^a$. Также можно оценить и возможные доходы P_k^z розничных распространителей $z = 1, \dots, r_k$ изделий $a_k \in A$, $k = 1, \dots, p$: $P_k^z = c_k^z y_k^z$ или $P_k^z = c_k^z W_k^z$, где $W_k^z = V(Y^k, c_k^z)$.

Заметим, что сведения о себестоимостях изделий $a_k \in A$, $k = 1, \dots, p$ и наценках различных звеньев их сетей реализации являются коммерческими тайнами производителей, посредников и розничных распространителей. Поэтому на практике оценить прибыль от реализации изделий $a_k \in A$, $k = 1, \dots, p$, по ценам c_k^z , а также провести сравнение со значением P для изделия a не представляется возможным.

5. ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ В СФЕРЕ РАЗРАБОТКИ СПИ

Проблема оптимизации состава вариантов реализации свойств рассматривается производителем СПИ на стадии его разработки (проектирования). Соответствующая задача может быть формализована с помощью задачи булевого линейного программирования, что (в отличие от результатов применения экспертных методов) гарантирует оптимальность получаемого решения. Решение данной задачи позволяет создавать СПИ, соответствующие экономическим интересам производителя, с учетом особенностей и результатов формализации многофакторного потреби-

тельского спроса. В свою очередь, каждый вариант реализации конкретного свойства изделия предполагает необходимость использования определенного набора комплектующих, некоторые из которых могут быть взаимозаменяемыми. В результате, помимо указанной выше задачи оптимизации состава вариантов реализации свойств СПИ, может рассматриваться оптимизационная задача определения соответствующего ему состава используемых комплектующих. Рассматриваемые оптимизационные задачи являются задачами большой размерности, далее изложены примеры их постановок и соответствующие экономико-математические модели.

5.1. Задача оптимизации состава используемых комплектующих. Условием получения возможности реализовывать СПИ на конкретном региональном рынке служит его полное соответствие технологическим требованиям, предъявляемым мировыми, государственными и отраслевыми стандартами, санитарными нормами и т.п. Каждое доступное для реализации в изделии свойство характеризуется набором параметров, соответствующих подлежащим контролю характеристикам (Зуев, Петров, 2010, с. 108–110):

- себестоимость воплощения в единице разрабатываемого изделия;
- энергопотребление (возможно, в различных режимах работы);
- вероятность брака;
- мощность различных видов излучения;
- вероятность поломки в течение заданного периода времени, вес и т.д.

В свою очередь, каждый вариант реализации конкретного свойства обладает определенными значениями перечисленных и подобных им параметров, которые аддитивны относительно конфигурации изделия. Это позволяет контролировать и регламентировать значения параметров СПИ, например:

- ограничение на себестоимость – учесть особенности ценообразования, в том числе при позиционировании на конкретных ценовых нишах рынка;
- ограничение на энергопотребление – обеспечить соответствие классу энергопотребления или заданное время автономной работы;
- ограничение на вероятность брака – определить комбинации свойств, целесообразные для реализации по имеющейся технологии;
- ограничение на вероятность поломки в течение гарантийного (или заданного) периода времени – обеспечить требуемый уровень качества;
- ограничение на вес – определить составы вариантов реализации свойств, не превышающие максимально допустимую массу и т.д.

Конкретные значения параметров каждого варианта реализации заданного свойства изделия зависят от комплектующих, некоторые из которых являются взаимозаменяемыми. В результате для каждого заданного состава вариантов реализации свойств изделия может быть решена оптимизационная задача определения соответствующего состава комплектующих, относящаяся к классу задач булевого линейного программирования.

Пусть задан $\bar{X}^a = \{\bar{x}_{i,j_i}^a\}$, $\bar{x}_{i,j_i}^a = 1$, $j_i = j_i^*$, $i = 1, \dots, m$ – некоторый состав вариантов реализации j_i^* свойств i разрабатываемого изделия a , для которого известны: $t = 1, \dots, T$, где T – число подлежащих контролю параметров изделия; A' – ограничения сверху на значения параметров с номерами t ; D' – суммарные значения параметров t для тех комплектующих, у которых отсутствуют альтернативные взаимозаменяемые варианты; Y_i – число наборов взаимозаменяемых комплектующих, которые могут быть использованы при воплощении варианта j_i^* реализации свойства i ; $E_i^y = \{e_{i,j_i}^y\}$, $r_y = 1, \dots, R_y$, $y = 1, \dots, Y_i$ – наборы взаимозаменяемых комплектующих, требующихся для воплощения в изделии a варианта реализации j_i^* свойства i , где R_y – число взаимозаменяемых комплектующих в наборе y ; $B_i^{r_y} = \{b_{i,r_y}^1, \dots, b_{i,r_y}^T\}$ – множества значений параметров t для комплектующих $e_{i,j_i}^{r_y}$; $x_i^{r_y} = \{0, 1\}$, $r_y = 1, \dots, R_y$ – переменные, принимающие значение 1, если комплектующее $e_{i,j_i}^{r_y}$ использовано для воплощения варианта реализации j_i^* свойства i , и 0 в противном случае.

Система ограничений, обеспечивающая выполнение требований A' к значениям параметров изделия a , будет иметь вид:

$$D' + \sum_{i=1}^m \sum_{y=1}^{Y_i} \sum_{r_y=1}^{R_y} b'_{i,r_y} x_i^{r_y} \leq A', \quad t = 1, \dots, T, \quad \sum_{r_y=1}^{R_y} x_i^{r_y} = 1, \quad y = 1, \dots, Y_i, \quad i = 1, \dots, m. \quad (1)$$

Представленная система ограничений определяет допустимые варианты комбинирования взаимозаменяемых комплектующих. Заметим, что в общем случае для параметров изделия a могут быть учтены также ограничения снизу.

Любое ограничение из (1) можно выбрать в качестве целевой функции, исследуемой на нахождение минимального значения, что позволит найти оптимальный состав комплектующих по соответствующему параметру t . Например, может рассматриваться минимизация себестоимости воплощения в изделии заданного состава вариантов реализации свойств или минимизация вероятности его поломки.

Задача многокритериальной оптимизации. В некоторых случаях при разработке СПИ к значениям их параметров одновременно предъявляется несколько критериев оптимальности. В результате требуется решать многокритериальную оптимизационную задачу (1), где каждому критерию соответствует своя целевая функция (Сигал, Иванова, 2007, гл. 3). Пусть требуется оптимизировать значения некоторых параметров изделия, порядковые номера которых образуют множество J , $|J| = J^*$. В результате необходимо решить J^* оптимизационных задач, каждая из которых соответствует отдельному критерию оптимальности по соответствующему параметру $j \in J$ и имеет целевую функцию

$$F_j = D^j + \sum_{i=1}^m \sum_{y=1}^{Y_i} \sum_{r_y=1}^{R_y} b'_{i,r_y} x_i^{r_y} \rightarrow \text{extr}, \quad j \in J.$$

Пусть $X^j, j \in J$ – оптимальные решения рассматриваемых задач. Обозначим через $S_j(R_j)$ множество всех допустимых решений задачи с номером j , удовлетворяющих условию $F_j(X^j) \leq F_j(X) \leq F_j(X^j) + R_j$, где R_j – некоторое отклонение значения соответствующего параметра изделия от оптимума. Под решением многокритериальной задачи будем понимать множество $S = \bigcap_{j \in J} S_j(R_j)$,

из которого следует выбрать наилучшие элементы. Данный выбор может быть осуществлен, например, в результате свертки критериев оптимальности (Подиновский, 2007, гл. 3). Если $S = \emptyset$, то необходимо увеличить значения $R_j, j \in J$, совместно или раздельно, при этом они должны иметь обоснования и интерпретации как отклонения значений параметров изделия от оптимумов.

В некоторых случаях при разработке СПИ в качестве критерия оптимальности может рассматриваться показатель, получаемый из отношения двух параметров, что требует достижения экстремального значения дробно-рациональной целевой функции. Такая задача может быть решена различными способами (Гольштейн, Юдин, 1966, с. 194–198), в том числе с помощью преобразования к бикритериальной задаче (Сигал, Иванова, 2007, с. 97–98).

5.2. Задача оптимизации состава вариантов реализации свойств изделия. В задаче (1) состав вариантов реализации свойств изделия предполагается заданным. Вместе с тем проблема его определения также формализуется задачей булевого линейного программирования, решение которой можно найти, например, с помощью метода ветвей и границ (Сигал, Иванова, 2007, гл. 3; Корбут, Финкельштейн, 1969, гл. 10). По отношению к данной задаче (1) является “вложенной”, т.е. может решаться в каждой вершине дерева, соответствующей конкретному составу вариантов реализации свойств изделия. При этом результат решения задачи (1) позволяет обеспечить выполнение технологических требований и осуществить дополнительную оптимизацию значений параметров СПИ. Далее рассмотрены примеры постановок задачи определения состава вариантов реализации свойств СПИ.

Максимизация объема продаж. Целью производителя СПИ может являться максимизация объемов сбыта, приводящая при наличии ограничения сверху C^* на цену изделия к максимиза-

ции прибыли. Экономико-математическая модель данной задачи при использовании в качестве целевой функции зависимости $Y = F(\bar{X})$ имеет вид:

$$Y = d_{0,j_v} + \sum_{i=1}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} d_{i,j_i} x_{i,j_i} \rightarrow \max, \quad C = h_{0,j_v} + \sum_{i=1}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} h_{i,j_i} x_{i,j_i} \leq C^*, \quad \sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i} = 1, \quad i = 1, \dots, m,$$

где d_{0,j_v} и h_{0,j_v} – коэффициент при переменной x_{0,j_v} , соответствующей торговой марки производителя изделия в функциях Y и $C = Z(\bar{X})$.

Если в качестве целевой функции используется зависимость $Y_* = F(\bar{X}_*)$, то экономико-математическая модель задачи принимает вид:

$$Y_* = k_{0,j_v} + \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j_i=1}^{n_i} k_{i,j_i} x_{i,j_i} \rightarrow \max, \\ C = h_{0,j_v} + \sum_{i=1}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} h_{i,j_i} x_{i,j_i} \leq C^*, \quad x_{m+1,j_{m+1}} C_{j_{m+1}+1} \leq C^*, \\ j_{m+1} = 1, \dots, n_{m+1}, \quad \sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i} = 1, \quad i = 1, \dots, m+1,$$

где k_{0,j_v} – коэффициент при переменной $x_{0,j_v} = 1$, соответствующей торговой марки производителя изделия в функции Y_* ; $C_{j_{m+1}+1}$ – правая граница диапазона $C^{j_{m+1}}$ цены изделия, соответствующего переменной $x_{m+1,j_{m+1}}$.

Максимизация цены изделия. Производитель СПИ может быть заинтересован в максимизации цены изделия, что при наличии ограничения снизу Y^* на объем продаж позволяет обеспечить максимум прибыли. Экономико-математическая модель данной задачи при использовании для формирования ограничений зависимости $Y = F(\bar{X})$ имеет вид:

$$C = h_{0,j_v} + \sum_{i=1}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} h_{i,j_i} x_{i,j_i} \rightarrow \max, \\ Y = d_{0,j_v} + \sum_{i=1}^m \sum_{j_i=1}^{n_i} d_{i,j_i} x_{i,j_i} \geq Y^*, \quad \sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i} = 1, \quad i = 1, \dots, m.$$

Если для ограничений используется зависимость $Y_* = F(\bar{X}_*)$, то рассматриваемая задача становится сложной комбинаторной экстремальной задачей с системой ограничений –

$$Y_* = k_{0,j_v} + \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j_i=1}^{n_i} k_{i,j_i} x_{i,j_i} \geq Y^*,$$

где $x_{m+1,j_{m+1}} = 1$, $j_{m+1} = 1, \dots, n_{m+1}$, если $C \in C^{j_{m+1}}$, $\sum_{j_i=1}^{n_i} x_{i,j_i} = 1$, $i = 1, \dots, m+1$.

6. КЛАССИФИКАЦИЯ СПИ

На практике незначительное различие между СПИ, выражающееся в наличии хотя бы одного свойства или в использовании другого варианта его реализации, может приводить к ориентированию изделий на разные сегменты рынка, соответствующие потребителям с различными предпочтениями и особенностями использования товара (Котлер, Келлер, 2006, гл. 10). В результате выполнения классификации одновидовых СПИ в соответствии с их составными вариантами реализации свойств, ценами, марками производителей и параметрами многофакторного потребительского спроса могут быть определены группы наиболее схожих и, как следствие, напряженно конкурирующих между собой товаров. Фактически каждая из получаемых групп соответствует определенному сегменту рынка. Новое изделие a будет отнесено к одной из групп, что позволит определить наиболее важных конкурентов и более эффективно позиционировать товар по отношению к ним.

Разработка методов классификации СПИ и рекомендаций по их применению является предметом дальнейшего выполняемого исследования и выходит за рамки настоящей статьи. Рассмотрение соответствующих вопросов в общем виде обусловлено стремлением авторов акцентировать внимание на важности данной проблемы в сфере управления товарным ассортиментом и производственной деятельностью промышленных предприятий. Для классификации СПИ могут быть использованы, например, кластерный анализ (Гитис, 2003, гл. 2; Мандель, 1988, гл. 2) и деревья классификации (Lyn, Edelman, Crook, 2002, ch. 4).

Кластерный анализ позволяет выполнить разбиение исходного множества объектов на группы в соответствии с выбранными исследователем метрикой вычисления меры близости и способом объединения групп. При работе со СПИ недостатком данного подхода является сложность объективного выбора указанных параметров.

Дерево классификации позволяет получить иерархически объединенную последовательность независимых разбиений исходного множества объектов по ряду признаков. При работе со СПИ каждый уровень дерева соответствует, например, вариантам реализации конкретного свойства. Данный подход фактически позволяет выполнять последовательное сужение целевых аудиторий товара, однако его недостатком является сложность консолидации полученных на каждом уровне результатов и итогового определения групп СПИ.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены вопросы и теоретические возможности применения методологической базы статистического скоринга для моделирования (оценки и прогнозирования) многофакторного потребительского спроса на высокотехнологичные товары – сложные промышленные изделия (СПИ). Предложенный подход является средством маркетингового анализа, позволяющим формализовать и исследовать:

- предпочтения потребителей относительно свойств и марок СПИ;
- особенности ценообразования на СПИ относительно их марок и свойств;
- предпочтения потребителей относительно свойств, марок и цен СПИ;
- механизм согласования предпочтений потребителей и особенностей ценообразования на СПИ относительно их свойств и марок.

Представленные оптимизационные задачи могут применяться в сфере управления производственной деятельностью и товарным ассортиментом промышленных предприятий, так как позволяют учесть специфику производства СПИ и разрабатывать их в соответствии с результатами исследования особенностей многофакторного потребительского спроса. Особую актуальность задачи определения оптимальных составов вариантов реализации свойств разрабатываемого изделия и используемых комплектующих приобретают в связи с инновационным развитием промышленности РФ, так как обеспечивают возможности создания высокотехнологичных товаров, ориентированных на конкуренцию с имеющимися аналогами.

Необходимость оперативного и эффективного управления товарным ассортиментом промышленных предприятий вынуждает исследователей многократно решать оптимизационные задачи, связанные с разработкой СПИ. Полный перебор вариантов реализации свойств изделия и соответствующих комплектующих требует больших затрат времени и вычислительных ресурсов, а также не позволяет эффективно контролировать достоверность получаемых решений. Экспертные методы не гарантируют оптимальность и объективность получаемых решений. Применение аппарата линейного программирования и комбинаторных методов оптимизации позволяет эффективно решать данные оптимизационные задачи для различных критериев оптимальности.

Для реализации предложенных в статье разработок целесообразно создание специализированных программных средств. Их внедрение поможет предприятиям создавать конкурентоспособные высокотехнологичные товары на основании исходных данных, полученных в результате маркетинговых исследований, и актуальных сведений о комплектующих, накапливаемых в специализированных базах данных.

Авторы позиционируют изложенные в статье разработки как результаты собственных исследований, так как им не известны существующие аналоги. Представленные в заключении выводы указывают на необходимость дальнейшего развития выбранного направления исследований. Методологическая база скорингового анализа достаточно обширна, что позволяет адаптировать к решению проблем формализации многофакторного потребительского спроса широкий спектр подходов и методов, оставшийся за рамками настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бадьин А.В., Тамберг В.В. (2008): Новая рыночная ниша. От идеи к созданию нового востребованного продукта. М.: ЭКСМО.
- Гитис Л.Х. (2003): Статистическая классификация и кластерный анализ. М.: Горная книга.
- Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. (1966): Новые направления в линейном программировании. М.: Советское радио.
- Зуев А.С., Петров Ю.И. (2010): Определение оптимальной конфигурации сложного промышленного изделия // *Экономика и мат. методы*. № 4.
- Зуев А.С., Федоров М.Б. (2008): Задача формирования оптимального сочетания свойств товара // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. № 4.
- Кондукова Э.В. (2008): ABC: Себестоимость без искажений. М.: Эксмо.
- Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. (1969): Дискретное программирование. М.: Наука.
- Котлер Ф., Келлер К.Л. (2006): Маркетинг. Менеджмент. СПб.: Питер.
- Мандель И.Д. (1988): Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика.
- Мэйз Э. (2008): Руководство по кредитному скорингу. Минск: Гревцов Паблишер.
- Подиновский В.В. (2007): Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М.: Физматлит.
- Сигал И.Х., Иванова А.П. (2007): Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. М.: Физматлит.
- Anderson S.P., de Palma A., Thisse J.-F. (1992): *Discrete Choice Theory of Product Differentiation*. Cambridge: MIT Press.
- Brownstone D., Train K. (1999): Forecasting New Product Penetration with Flexible Substitution Patterns // *J. of Econometrics*. № 89.
- Lyn C.T., Edelman D.B., Crook J.N. (2002): *Credit Scoring and its Applications*. Philadelphia: University City Science Centre.
- Zsolt S. (2009): Multinomial Discrete Choice Models // *Quantile*. № 7.

Поступила в редакцию
19.05.2011 г.

Formalization of Hi-Tech Goods Demand

Zuev A.S., Babeykin M.L.

The article presents the approach to the formalization of correlation of hi-tech products demand and their prices, manufacturers' trademarks and consumer properties configuration, corresponding to the form parameters, functionality and specifications. The mechanisms of statistic credit score is used as the methodological basis. Analyzed its application in the domain of investigated problem. Hi-tech products classification issues and optimization problems considered.

Keywords: multiple-factor demand, manufactured products, hi-tech products, product development, product competitiveness, consumer properties, industrial enterprises.