

3.7. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕНЫ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ КАЧЕСТВА

Терелянский П.В., к.т.н., доцент кафедры
«Информационные системы в экономике»

*Волгоградский государственный
технический университет*

В статье рассматриваются методы непараметрической экспертизы, которая основывается на применении вербальных оценок для ранжирования альтернатив. Для оценок непрерывных величин автор предлагает использовать математический аппарат теории нечетких множеств. Анализируется поведение зависимости цена-качество, построенной на основе экспертных оценок, при условии нормального распределения элементов оценок на числовой оси. Предлагается методика построения и анализа доверительных интервалов прогнозирования. Рассматриваемый математический аппарат сводится к нелинейному вероятностному отображению совокупного качества объекта на некоторый определенный интервал цен. Соотнесение осуществляется на основе непараметрического оценивания с использованием порядковых шкал, к которым так же можно отнести и графические оценки методов теории нечетких множеств. Непараметрическое оценивание рассматривается как сведение множества вербальных оценок в некоторый интегральный числовой показатель. Если удастся однозначно сводить такое множество к некоторым числам, то вполне можно (с долей вероятности) отображать эти числа на интервалы цен.

Согласно классическим теориям определения рыночной цены товаров, каждый продаваемый на рынке продукт представляет собой совокупность некоторых потребительских качеств. Если совокупное качество (полезность) до какой-то степени удовлетворяет потребителя, то совершается сделка, и продукт приобретает по вполне определенной цене. В случае товаров, предлагаемых на рынок производителем, цена продажи чаще всего определяется исходя из собственных затрат и добавочной стоимости. Добавочная стоимость определяется «амбициями» производителя и статистическим анализом ситуации на рынке (прайсинговые методы). Расчет себестоимости тоже не представляет сложной задачи – в общем случае производится простое сложение собственных затрат. Совершенно другая ситуация возникает на вторичных рынках, когда покупатель первичного товара самостоятельно пытается перепродать уже использованный товар с изрядно изменившимися потребительскими характеристиками. Такая ситуация особенно характерна, например, для вторичных рынков недвижимости и легковых автомобилей. Как определить остаточную стоимость перепродаваемого объекта? Широко известные методики расчета износа и амортизации не всегда приемлемы. Во-первых, не всегда есть возможность точно замерить степень износа из-за отсутствия специальных средств измерений. Во-вторых, существующие методики расчета амортизации основаны на вычитании некоторых расчетных сумм из первоначальной цены и совершенно не учитывают ситуацию на рынке. Как ни парадоксально, но перепродаваемый и изношенный объект может быть значительно дороже нового¹. Например, если возросла престижность района города, где находится квартира, или автомобиль был

подвергнут тюнингу, или автомобиль считается раритетным и т.д. Учет требований рынка при формировании цены возможен с применением методов кластерного анализа, когда объект сложной структуры описывается множеством качественных и количественных характеристик, а потом в результате поиска в базе данных оцениваемый объект с той или иной степенью сходства² относится к какому-либо классу объектов. При этом предполагается, что классы объектов уже определены и для каждого из них рассчитана цена. Недостатки такого подхода очевидны – методики расчета мер сходства ставят серьезные ограничения при описании объектов, сложно выбрать собственно методику расчета. И наконец, для определения цены необходимо проводить какой-то дополнительный анализ рынка.

В большинстве случаев перепродаваемый объект рассматривается продавцом и покупателем как ограниченное множество потребительских характеристик. Каждая характеристика влияет на формируемую цену в строго определенной степени. Соответствие характеристики требованиям рынка оценивается с помощью некоей шкалы. Потребительские характеристики можно разделить на количественные и качественные. Количественные задаются числом граммов, метров и секунд. Качественные – путем соотнесения состояния характеристики с элементом шкалы. Каждый из элементов шкалы также в определенной степени оказывает влияние на цену. Процесс оценки в данном случае напоминает заполнение анкет, когда на поставленный вопрос следует выбрать один из предлагаемых ответов³. Графически систему анкетных оценок можно представить в виде иерархии, в фокусе которой находится искомое совокупное качество (рис. 1а). Такое представление проблемы хорошо укладывается в концепцию метода анализа иерархий (analytic hierarchy processes) или же метода анализа сетей (analytic network processes). К сожалению, подобная методика ставит существенные ограничения на количество одновременно сравниваемых альтернатив (не более десяти). Иерархическое представление проблемы является весьма наглядным инструментом исследования сложных систем, поэтому нет смысла отказываться от такого описания области исследования. Вполне возможно построить граф системы оценок так, чтобы цель исследования (совокупное качество объекта сложной структуры) была представлена ограниченной группой характеристик, каждая из которых имеет собственный вес (важность). Суммарный вклад всех характеристик должен давать единицу, а дифференциальный – долю единицы. Каждая характеристика тоже может представлять собой группу (в данном случае группа – непустой кортеж без повторения элементов, а не термин абстрактной алгебры). Сумма весов элементов группы также должна давать единицу и так далее. То есть осуществляется системный анализ в его классическом понимании – объект сложной структуры является совокупностью некоторых подсистем, которые

¹ Терелянский П.В., Сидунова Г.И. Анкетная оценка объектов вторичного рынка // Интергал. – 2006. – №4. – С. 46-50.

² Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения). – М.: Машиностроение, 1998. – 476 с.: ил.

³ Терелянский П.В. Аппроксимация эмпирической зависимости цены от совокупности потребительских характеристик товаров вторичного рынка / П.В. Терелянский // Актуальные проблемы развития экономики России: теория и практика: Труды IV Международной научно-практической конференции преподавателей, ученых, аспирантов, студентов (24 ноября 2006 г.) – Ч. 3. – Нижний Новгород: ВГИПУ, 2006. – С. 111-115.

в свою очередь тоже могут быть системами. Вес вклада элемента самого последнего уровня в совокупное качество объекта может быть получен путем перемножения на вес вышележащего элемента – надсистемы. Самыми последними узлами на каждой ветви дерева будут элементы некоторой вербальной, нечеткой (или, вообще говоря, любой порядковой) шкалы (рис. 16). Если для оценки объекта по каждой характеристике выбрать из соответствующей шкалы нужный элемент, то сумма весов этих элементов позволит однозначно определить интегральный вес оцениваемого объекта в рамках используемой сетевой структуры. Этап свертки множества локальных векторов приоритетов в один глобальный (относительно фокуса иерархии) в данном случае пропускается. Ограничение на количество сравниваемых альтернатив (оцениваемых объектов) не ставится.

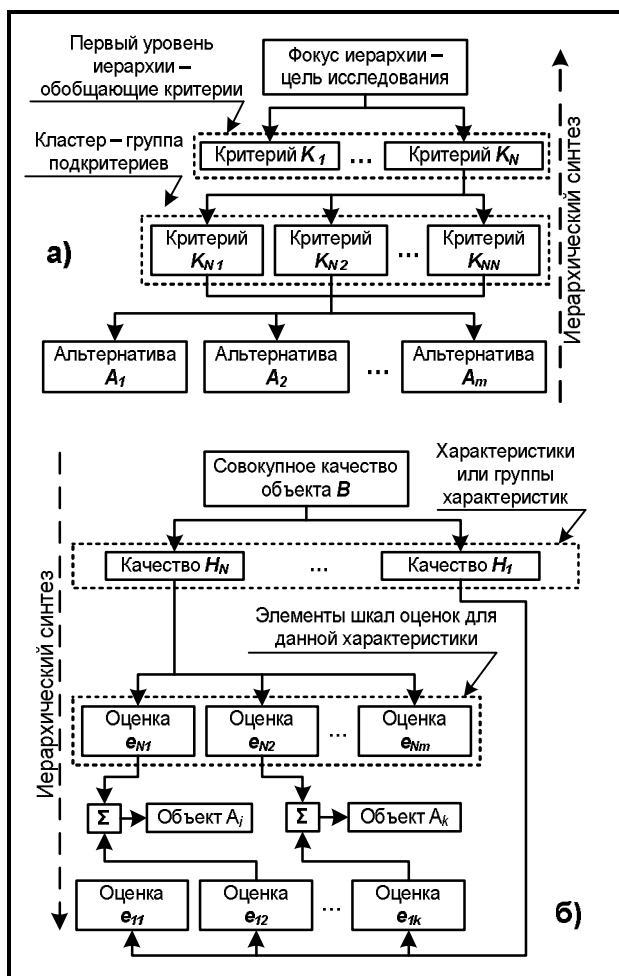


Рис. 1. Иерархическое представление системы анкетной оценки

Таким образом, совокупное качество оцениваемого объекта есть сумма степеней влияния каждой из его потребительских характеристик, выраженных через отношение к элементам множества шкал оценок (1). Цена объекта находится в прямой зависимости от его совокупного качества (полезности). Если известна рыночная цена какого-либо объекта и можно определить его потребительские качества, то, зная потребительские качества другого объекта, легко определить его цену (2, 3), причем с учетом трудно формализуемых факторов влияния состояния рынка.

$$B_p = \sum_{i=1}^N (H_i * E_i); \quad (1)$$

$$E_i = \{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{ik}\},$$

где

B_p – совокупное качество объекта;

H_i – числовой вес вклада i -й характеристики в совокупное качество объекта;

N – количество возможных характеристик (качеств);

E_i – шкала для оценки i -й характеристики;

e_{ij} – j -я оценка из i -й шкалы;

k – количество элементов e_{ij} в шкале E_i .

Для прогноза вероятной цены продажи следует осуществить следующие действия:

$$K = C_p / B_p; \quad (2)$$

$$C_p = K * B_p, \quad (3)$$

где

C_a – известная цена уже проданного объекта;

B_a – совокупное потребительское качество уже проданного объекта;

K – переходный коэффициент;

B_p – совокупное потребительское качество оцениваемого объекта;

C_p – вероятная цена продажи оцениваемого объекта. Переходный коэффициент K в таком случае является линейной аппроксимацией функции $C_p = f(B, D, V)$;

$$B \in D;$$

$$B \subset B_p, \quad (4)$$

где

D – множество неучтенных потребительских характеристик;

V – множество случайных факторов воздействия внешней среды и (или) множество неформализуемых потребительских характеристик;

B – множество всех возможных величин B_p .

Если мощность множества случайных факторов V не может быть уменьшена в силу самого его свойства, то уменьшение мощности множества D возможно за счет увеличения мощности множества B . Это достигается путем увеличения количества H_i и E_i , то есть путем уточнения и усложнения анкеты. Совпадение множеств B и D для объектов реального мира, как правило, невозможно из-за большой размерности D . Экстремальные значения B_p в рамках построенной системы анкетных оценок можно найти как сумму минимальных (максимальных) E для каждого качества H :

$$B_{min} = \sum_{i=1}^N \min E_i;$$

$$B_{max} = \sum_{i=1}^N \max E_i.$$

B_{min} и B_{max} описывают соответственно наихудший и наилучший по своим потребительским характеристикам (полезности) объект. Влияние множеств V и D может проявиться в том, что объект с B_{min} (B_{max}) не будет обладать минимальной (максимальной) реальной ценой. Следует отметить, что распределение величин B на числовой оси в общем случае не будет равномерным. Максимальную мощность множества B можно определить путем перемножения количества k элементов шкал E_i :

$$Z_{max} = \prod_{i=1}^N k_i, \quad (5)$$

где

Z_{max} – количество возможных уникальных (не повторяющихся) значений B_p ;

K_i – количество элементов в i -й шкале;

N – количество шкал E_i или же количество рассматриваемых в данной системе характеристик (качеств).

Поскольку для расчета совокупного потребительского качества оцениваемого объекта B_p используется арифметическое суммирование, а также округление величин H_i и E_i , то возможна ситуация совпадения величины B_p для нескольких уникальных комбинаций потребительских характеристик. Вводится величина Z , которая всегда будет меньше или равна Z_{max} . Расчет величины Z возможен только путем перебора, что легко алгоритмируется и реализуется с помощью компьютера.

Таким образом, значение Z_{max} описывает количество возможных групп, к которым могут быть отнесены оцениваемые объекты, а Z – количество реально полученных в данной системе оценок групп. Подразумевается, что объекты внутри группы (кластера) являются равнозначными, так как у них совпадает величина B_p , то есть они равны по своим потребительским характеристикам. Если же, по мнению эксперта, при совпадении величины B_p потребительские характеристики разнятся, следует создать новую группу (уменьшить мощность множества D) путем добавления новых характеристик и шкал или добавления новых элементов шкал для оценки старых характеристик. Значения B_{max} , B_{min} , Z_{max} и Z при этом изменятся.

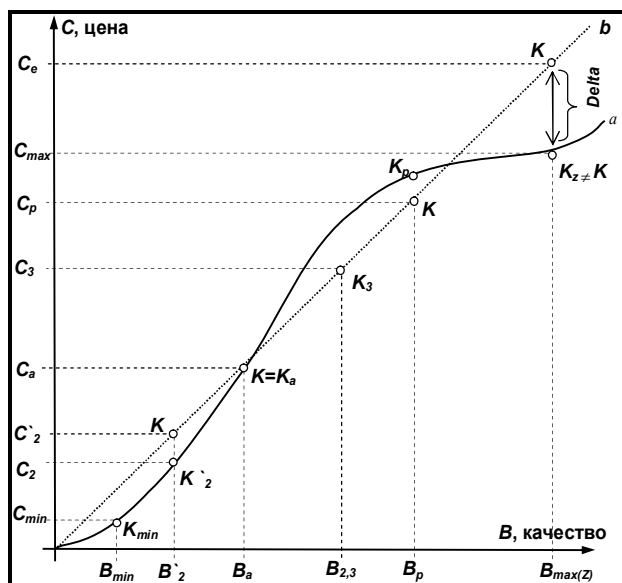


Рис. 2. Линейная аппроксимация зависимости $C_p = f(B, D, V)$

На рис. 2 представлен обобщенный случай линейной аппроксимации зависимости цены от качества в рамках рассматриваемой методики⁴. Линия a представляет собой реальную зависимость, которая существует на рынке. Эта линия может быть получена, только в том случае, если для всех возможных групп объектов будет установлена реальная цена продажи C_a и рас-

считаны величины B_a . В таком случае может быть получено множество K переходных коэффициентов K_i с мощностью Z :

$$K \in \{K_{min(1)}, \dots, K_1, \dots, K_{max(Z)}\}.$$

Формулы (2) и (3) предлагают усечение множества K до одного элемента (см. рис. 2, точки C_a , B_a , $K = K_a$). Аппроксимирующая прямая b , проведенная через точку K и начало координат позволяет получить множество точек $\{C_2, C_a, C_3, C_p, C_{2,3}\}$. Интервал Delta между точками K_2 и K представляет собой погрешность аппроксимации, то есть расхождение между реальной ценой C_{max} объекта с потребительскими качествами $B_{max(Z)}$ и ошибочной ценой C_e , рассчитанной на основании формул (2,3). Уменьшение интервала Delta возможно путем накопления, с последующей статистической обработкой, эмпирически полученных значений $\{K_{min}, K_2, K_a, K_3, K_p, K_{2,3}\}$. И, следовательно, превращения линии b в кривую более высокого порядка. К сожалению, полное совпадение кривых a и b практически невозможно. Объясняется это тем, что помимо влияния на цену множеств D и V , существенное влияние на конечную цену продажи оказывает округление цены продавцом до копеек, рублей, десятков, а то и сотен и тысяч рублей, в то время как расчет K_a и B_a возможен с любой практически достигаемой точностью.

Точки (B_2, C_2) и $(B_{2,3}, C_{2,3})$ характеризуют ситуацию, когда $Z < Z_{max}$. Например, точка $B_{2,3}$ описывает два объекта с неповторяющимися комбинациями потребительских характеристик, у которых в результате суммирования по формуле (1) совпали числовые значения B_p . В общем случае утверждается, что интегральный показатель качества $B_{2,3}$ однозначно определяет цену C_3 . В частном, такое совпадение может означать неправильно построенную систему опроса (анкету). Как уже отмечалось выше, уточнение анкеты приведет к появлению новой группы объектов с числовым значением $B_p = B_2$, что даст возможность определить новую цену C_2 через коэффициент K , либо если цена C_2 определена эмпирически, получить новый элемент множества K – коэффициент K_2 .

Значения K , H_i , e_i и B_p однозначно определены на множестве положительных действительных чисел:

$$K \xrightarrow{F_1} R^+; \quad (6)$$

$$H_i, e_i \xrightarrow{F_2} R^+; \quad (7)$$

$$B_p \xrightarrow{F_3} R^+. \quad (8)$$

В качестве способа отображения F_2 можно использовать методику парных сравнений⁵. Парные сравнения проводятся в терминах доминирования одного элемента над другим. Полученные суждения выражаются в целых числах 9-ти балльной шкалы⁶. Правомочность этой шкалы доказана теоретически при сравнении со многими другими шкалами⁷. Парные сравнения для множества из n элементов (характеристик, показателей качества) $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ и их весов (интенсивностей показателя) $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ заносятся в матрицу парных сравнений $[A]$. Матрица обладает свойством обратной симметрии, то есть $a_{ij} = 1 / a_{ji}$, где $a_{ij} = v_i / v_j$.

⁴ Терелянский П.В. Построение функции цена-качество на основе анкетных опросов экспертов / П.В. Терелянский // Изв. ВГТУ: Актуальные проблемы реформирования российской экономики (теория, практика, перспектива): Межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – Вып. 7, № 12. – С. 151-155.

⁵ Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 316 с.

⁶ Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991.

⁷ Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. - Mc.Graw-Hill, 1980, 267 p.

Числовое отношение весов v_i / v_j заменяется согласно методике некоторой вербальной оценкой. Ранг альтернативы вычисляется на основе расчета правого собственного вектора матрицы. Утверждается, что в результате расчетов можно получить не только ранг элемента, но и количественную величину приоритета⁷. Математический аппарат легко алгоритмизируется, автором разработано несколько программных систем, реализующих этот метод (рис. 3, 4).

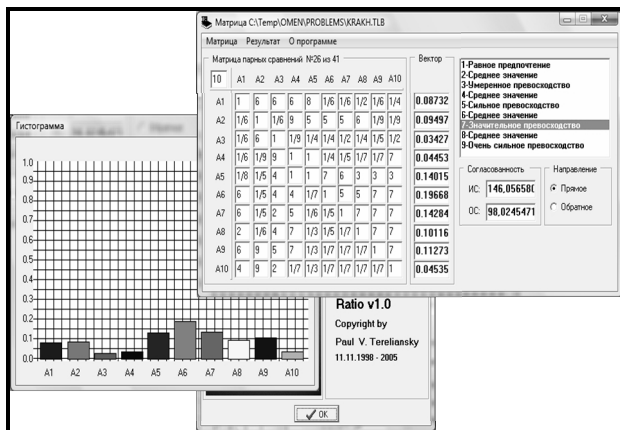


Рис. 3. Экранные формы программы для расчета собственных векторов матриц парных сравнений

Для величин, которые являются непрерывными, целесообразно использовать методы теории нечетких множеств⁸. В соответствии с теорией нечетких множеств элемент x может принадлежать какому-либо множеству со степенью принадлежности $\mu(x) \in [0;1]$, символизирующей совместимость этого элемента с нечетким множеством. Такое определение принадлежности позволяет избежать резких переходов между понятиями, определенными на качественном уровне. Существуют два основных подхода к определению функций принадлежности: вероятностный и субъективный (не вероятностный), причем последний доминирует⁹. В соответствии с первым подходом $\mu_A(x)$ – условная вероятность наблюдения события A при наблюдении x , т.е. объективная вероятность наступления некоторого события, дающего тот же выигрыш, что и для события A , при котором эксперту безразлично, какое из двух рассматриваемых событий наступит. Под субъективной мерой понимается степень соответствия элемента x понятию, формализуемому нечетким множеством A (возможность интерпретации x понятием A). Нечеткая постановка задачи многокритериальной оценки предполагает, что известны множество сравниваемых альтернатив $A = \{A_1, \dots, A_m\}$ и множество критериев оценивания $C = \{C_1, \dots, C_n\}$. Нечеткая оценка альтернативы A_i по критерию C_j характеризуется функцией принадлежности μ_{C_j} . В случае равнозначности критериев оценка альтернативы $A_i = C_1 \cap \dots \cap C_n$. При наличии критериев неодинаковой значимости обобщенная оценка объекта вычисляются с помощью нечеткого интеграла¹⁰:

⁸ Zadeh, L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh // Information and Control, №8, 1965. – pp. 338-353.

⁹ Мелихов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.Я. Коровин. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

¹⁰ Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

$$A_i = \int_C \mu(c) * g,$$

где

$\mu(c_j)$ – оценка объекта по критерию j ,

g – субъективная мера, выражающая степень важности подмножества из C .

Примерами обобщенных критериев могут также служить:

- взвешенная сумма нечетких критериев $C = \sum_{j=1}^n C_j w_j$;
- произведение $C = \prod_{j=1}^n C_j w_j$;
- минимум отношения $C = \min_{j=1,n} (C_j / w_j)$.

Уровни принадлежности в оптимальном множестве могут определяться в виде пересечения нечетких оценок альтернатив с максимально возможной (наилучшей) нечеткой оценкой:

$$\mu(i) = \sup_{r_1, \dots, r_m; r_1 \geq r_j \forall j} \wedge \mu_{R_j}(r_j),$$

где

m – число альтернатив,

r_j – нечеткая средневзвешенная оценка альтернативы j .

Также определено отношение нечеткого включения со степенью α :

$$A(\alpha) \subset B(\alpha),$$

если

$$u_A > u_B; \forall u_A \in A(\alpha); \forall u_B \in B(\alpha),$$

где

A, B – нечеткие подмножества базового множества U с функциями принадлежности $\mu_A(u)$ и $\mu_B(u)$ соответственно;

$A(\alpha)$ и $B(\alpha)$ – множества уровня α нечетких множеств A и B :

$$A(\alpha) = \{u : \mu_A(u) > \alpha\};$$

$$B(\alpha) = \{u : \mu_B(u) > \alpha\}.$$

В соответствии с определением поведенческой (behavior) модели принятия решений, удовлетворительной считается альтернатива, нечеткая оценка исхода которой содержится в нечетком множестве удовлетворительных исходов со степенью большей либо равной α . В этом случае на множестве оценок альтернатив R задается нечеткое отношение предпочтения $\mu_R / R * R \rightarrow [0; 1]$. Решение задачи ранжирования определяется путем построения на множестве альтернатив нечеткого отношения предпочтения. Это достигается путем расширения исходного отношения на класс всех нечетких подмножеств декартова произведения $R * R$ с последующим выделением из него нечеткого множества доминируемых альтернатив. Подход на основе отношения предпочтения позволяет анализировать задачи, в которых возможна нечеткость всех компонентов системы экспертных оценок.

Модели нечеткого математического программирования¹¹ подразумевают нечеткость как в описании множества альтернатив, так и в описании целевой функции и ограничений. В случае, когда цель G и ограничения C задаются на множестве альтернатив X нечетко, т.е. $\mu_G / X \rightarrow [0;1]$ и $\mu_C / X \rightarrow [0;1]$, задача нечеткого ма-

¹¹ Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

тематического программирования решается на основе принципа слияния. При этом нечеткое решение D определяется или как результат операции пересечения нечетких множеств целей и ограничений (взятия минимума значений их функций принадлежности), или как результат линейной комбинации нечетких множеств целей и ограничений:

$$\mu_D(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \mu_{C_i}(x) + \sum_{j=1}^m \beta_j \mu_{G_j}(x);$$

$$\alpha_i, \beta_j \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{j=1}^m \beta_j = 1,$$

где

n, m – число нечетких целей и ограничений соответственно.

Важным достоинством теории нечетких множеств, позволяющим использовать ее для решения задач в условиях неопределенности, является аппарат лингвистических переменных, позволяющий формализовать качественные оценки, задаваемые на естественном или формальном языке¹². Лингвистическая переменная характеризуется набором $\langle X, T, U, G, M \rangle$,

где

X – название переменной;

T – терм-множество лингвистической переменной, т.е. множество названий ее значений, причем каждое из таких значений является нечетким множеством универсального подмножества U ;

G – синтаксическая процедура, порождающая названия значений (термов) лингвистической переменной;

M – семантическая процедура, которая ставит в соответствие каждой нечеткой переменной ее смысл, т.е. нечеткое подмножество $M(X)$ базового множества U .

Ранжирование альтернатив возможно получить на основе пересечения нечетких множеств. В данном случае критерии определяют некоторые характеристики, а оценки альтернатив по критериям – степени соответствия этим характеристикам. Иначе говоря, альтернативы оцениваются через функцию принадлежности к нечеткому множеству, соответствующему понятию, определяемому критерием.

Оценки альтернатив по i -му критерию представляют как нечеткое множество

$$C_i = \{ \mu_{C_i}(a_1) / a_1, \mu_{C_i}(a_2) / a_2, \dots, \mu_{C_i}(a_m) / a_m \},$$

где

m – количество альтернатив;

$i = \{1, \dots, n\}$, n – количество критериев.

В случае, если критерии имеют разную важность для эксперта, то их вклад в общее решение можно представить с помощью множества весовых коэффициентов. Правило выбора лучшей альтернативы можно представить как пересечение нечетких множеств, по n критериям:

$$D = C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_n.$$

Операция пересечения нечетких множеств может быть реализована либо путем арифметического умножения, либо этой операции соответствует взятие минимума:

$$\mu_D(a_j) = \min_{i=1..n} \mu_{C_i}(a_j), \quad j = 1, \dots, m.$$

Лучшей считается альтернатива a^* , имеющая наибольшее значение функции принадлежности:

$$\mu_D(a^*) = \max_{j=1..m} \mu_D(a_j).$$

Различную важность критериев C_i можно учесть следующим образом:

$$D = C_1^{\omega_1} \cap C_2^{\omega_2} \cap \dots \cap C_n^{\omega_n},$$

где ω_i – весовые коэффициенты соответствующих критериев, причем

$$\omega_i \geq 0;$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \quad i = 1, \dots, n.$$

Можно рассчитать ω_i с учетом коэффициентов относительной важности критериев α_i :

$$\omega_i = \alpha_i * n.$$

Относительную важность α_i можно определить, используя процедуру парного сравнения критериев, о которой говорилось выше.

Другим способом выбора и оценки альтернатив является выбор на основе отношения предпочтений. Здесь сравнение альтернатив производится попарно по каждому критерию, на основании чего формируются отношения предпочтения R_i , $i = 1, \dots, n$ на множестве альтернатив A . Сравнение производится на основе анализа числовых оценок альтернатив по множеству критериев. Процедура состоит из следующих шагов. Составляются матрицы отношений строгого предпочтения альтернатив по всем критериям R_i , где $i = \{1, \dots, n\}$, n – число критериев. Нечетким отношением строгого предпочтения называется отношение, функция принадлежности которого удовлетворяет следующему условию:

$$\mu_{R_i}(a_1, a_2) = \mu_R(a_1, a_2) - \mu_R(a_2, a_1),$$

если

$$\mu(a_1) > \mu(a_2);$$

$$\mu_{R_i}(a_1, a_2) = 0;$$

если

$$\mu(a_1) \leq \mu(a_2).$$

Далее строится нечеткое отношение Q_1 , являющееся пересечением нечетких отношений R_i :

$$Q_1 = \bigcap_{i=1}^n R_i,$$

$$\mu_{Q_1}(a_k, a_l) = \min_{i=1..n} \mu_i(a_k, a_l), \quad k, l = 1, \dots, m,$$

где m – число альтернатив.

По отношению Q_1 определяется подмножество недоминируемых альтернатив в множестве (A, μ_{Q_1}) :

$$\mu_{Q_1}(a_j) = 1 - \sup_{a_i \in A} (\mu_{Q_1}(a_i, a_j) - \mu_{Q_1}(a_j, a_i)).$$

На следующем шаге строится нечеткое отношение Q_2 :

$$\mu_{Q_2}(a_i, a_j) = \sum_{j=1}^n \omega_j \mu_j(a_i, a_j),$$

где

n – число критериев, ω_i представляют собой коэффициенты относительной важности рассматриваемых критериев. Для коэффициентов важности критериев должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1; \quad \omega_i \geq 0; \quad i = 1, \dots, n.$$

¹² Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

Определяется нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив в множестве (A, μ_{Q2}) :

$$\mu_{Q2}^{HD}(a_i) = 1 - \sup_{a_j \in A} (\mu_{Q2}(a_i, a_j) - \mu_{Q2}(a_j, a_i)).$$

Полученная функция упорядочивает альтернативы по степени их недоминируемости. Далее отыскивается пересечение множеств μ_{Q1}^{HD} и μ_{Q2}^{HD} :

$$\mu^{HD}(a_i) = \min(\mu_{Q1}^{HD}(a_i), \mu_{Q2}^{HD}(a_i)).$$

Наилучшей считается альтернатива a^* , удовлетворяющая условию:

$$\mu^{HD}(a^*) = \sup_{a \in A} \mu^{HD}(a).$$

В описанных методах различная важность критериев задается с помощью весовых коэффициентов. Другой подход к учету отношений между критериями предлагает метод ранжирования альтернатив, основанный на нечетком выводе. В этом методе оценки альтернатив по критериям представляются так же, как и в двух предыдущих, а представление о степени удовлетворительности альтернативных вариантов выражаются с помощью правил, содержащих лингвистические переменные. Результат получается на основе нечеткого вывода на правилах.

В рассматриваемом методе представление эксперта о правилах решения задачи выбора и оценки альтернатив отображается набором критериев $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, заданных лингвистическими переменными на базовых множествах $\{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ соответственно. Представления лица, принимающего решение, об удовлетворительности решения выражены правилами, antecedentes которых содержат комбинации критериев с соответствующими лингвистическими значениями, соединенные связками И. Заключение правил отражает представление эксперта о степени удовлетворительности решения, для чего используется лингвистическая переменная S «Удовлетворительность» на единичном интервале $[0, 1]$. Например: «если **Стоимость** = **Низкая** и **Срок службы** = **Большой**, то S = **Высокая**».

В общем случае правило d_i имеет вид:

d_i : «если $C_1 = T_{1i}$ и $C_2 = T_{2i}$ и ... $C_n = T_{ni}$, то $S = B_i$ ».

Это правило можно записать в следующем виде:

d_i : «если $C = T_i$, то $S = B_i$ »,

где запись $C = T_i$ соответствует пересечению посылок i -го правила:

$$C_i = T_{1i} \cap C_2 = T_{2i} \cap \dots \cap C_n = T_{ni}$$

что соответствует нахождению минимума среди значений функций принадлежности:

$$\mu_{T_i}(u_1) = \min_{v \in V} (\mu_{T_{i1}}(u_1), \mu_{T_{i2}}(u_2), \dots, \mu_{T_{in}}(u_n)),$$

где

$$V = U_1 * U_2 * \dots * U_n;$$

$$v = (u_1, u_2, \dots, u_n);$$

$\mu_{T_{ij}}(u_j)$ – значение принадлежности элемента u_j нечеткому множеству T_{ij} .

Пусть $W = U \cup V$. Тогда T_i – нечеткое подмножество W , а B_i – нечеткое подмножество единичного интервала I .

Для представления правил используется операция импликации, для которой предложено несколько способов нечеткой реализации. В данном случае применяется нечеткая импликация Лукасевича:

$$\mu_H(\omega, i) = \min_{\omega \in W} (1, (1 - \mu_T(\omega) + \mu_B(i))),$$

где H – нечеткое подмножество на $W * I$; $\omega \in W$; $i \in I$.

Аналогичным образом правила $d_1, d_2, \dots, d_q$ преобразуются во множества $H_1, H_2, \dots, H_q$, q – количество правил. Их пересечением является множество D : $D = H_1 \cap H_2 \cap \dots \cap H_q$, функция принадлежности которого задана на множестве $W * I$:

$$\mu_D(\omega, i) = \min_{\omega \in W} (\mu_{H_k}(\omega, i)); k = 1, \dots, q.$$

Удовлетворительность альтернатив, каждая из которых описывается нечетким подмножеством A из W , оценивается на основе композиционного правила вывода $G = A \circ D$, где G – нечеткое подмножество интервала I . Тогда

$$\mu_G(i) = \max_{\omega \in W} (\min(\mu_A(\omega), \mu_D(\omega, i))).$$

Сопоставление альтернатив осуществляется на основе точечных оценок. Для нечеткого множества $A \subset I$ определим α -уровневое множество ($\alpha \in [0, 1]$):

$$A_\alpha = \{i / \mu_A(i) \geq \alpha, i \in I\}.$$

Для каждого A_α можно вычислить среднее число элементов – $M(A_\alpha)$: для множества из n элементов

$$M(A_\alpha) = \sum i_j / n; i_j \in A_\alpha;$$

для

$$A_\alpha = \{a \leq i \leq b\} M(A_\alpha) = (a + b) / 2;$$

для

$$0 \leq a_1 \leq b_1 \leq a \leq b_2 \leq \dots \leq a_n \leq b_n \leq 1,$$

где

$$A_\alpha = \bigcup_{i=1}^n \{a_i \leq x \leq b_i\};$$

$$M(A_\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i + b_i}{2} (b_i - a_i)}{\sum_{i=1}^n (b_i - a_i)}.$$

Тогда точечные значения для множества A

$$F(A) = \frac{1}{\alpha_{max} - \alpha_{min}} \int_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} M(A_\alpha) d\alpha,$$

где α_{max} – значение, при котором A имеет максимум.

При выборе альтернатив для каждой из них находится точечная оценка, являющаяся удовлетворительностью. Рациональной является альтернатива с наибольшим значением удовлетворительности.

Ранжирование альтернатив также возможно с помощью аддитивной свертки нечетких чисел. Нечетким числом A называется нечеткое подмножество числовой оси R с функцией принадлежности $\mu_A: R \rightarrow [0, 1]$. Таким образом, каждая оценка альтернативы j по i -му критерию R_{ij} и весовой коэффициент i -го критерия ω_i представляются как нечеткие множества и могут интерпретироваться как значения соответствующих лингвистических переменных.

Взвешенная оценка альтернативы j получается по формуле:

$$R_j = \sum_{i=1}^n \omega_i * R_{ij},$$

где Σ и $*$ обозначают бинарные операции сложения и умножения нечетких чисел. Бинарная операция над нечеткими числами определяется следующим образом:

$$\mu_c(c) = \sup_{c=a \otimes b} \min(\mu_a(a), \mu_b(b)),$$

где $\otimes$ – символ обобщенной бинарной операции.

Бинарная операция над нечеткими числами может иметь более простую интерпретацию при использовании чисел $(L-R)$ -типа, удовлетворяющих условиям:

$$L(-x) = L(x); R(-x) = R(x); L(0) = R(0) = 1,$$

где L и R – невозрастающие функции на множестве неотрицательных действительных чисел. Частным случаем нечетких чисел $(L-R)$ -типа являются нечеткие числа с функциями принадлежности, имеющими треугольный вид. Такие числа задаются тремя обычными числами: вершиной нечеткого числа X^* , левой границей X' и правой границей X'' :

$$\forall \delta: \mu(X') = 0; \mu(X'' - \delta) = 0; \mu(X' + \delta) \neq 0;$$

$$\forall \delta: \mu(X'') = 0; \mu(X'' - \delta) \neq 0; \mu(X'' + \delta) = 0;$$

$$\mu(X^*) = 1.$$

Взвешенная оценка j -той альтернативы R_j является результатом линейной комбинации нечетких чисел, и также будет иметь функцию принадлежности треугольного вида. Вершину и границы нечеткого числа $Z = X \otimes Y$, получаемого в результате операций сложения или умножения, можно вычислить следующим образом:

$$Z' = X' * Y'; Z'' = X'' * Y''; Z^* = X^* * Y^*.$$

Ранжирование альтернатив с использованием полученных взвешенных оценок возможно на основе их нечеткой композиции:

$$\mu_j(j) = \sup_{r_1, r_2, \dots, r_m: r_k \geq r_j} \min_{j=1..m} \mu_{R_j}(r_j),$$

где $\mu_j(j)$ – нечеткое множество альтернатив, соответствующих понятию «лучшая альтернатива». Лучшей считается альтернатива, имеющая наибольшее значение $\mu_j(j)$. Приоритет каждой альтернативы можно также вычислить путем нахождения ординаты точки пересечения взвешенной оценки альтернативы и оценки наилучшей альтернативы.

Метод ранжирования альтернатив на множестве лингвистических векторных оценок в качестве входной информации использует множество альтернатив $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, и множество соответствующих исходов $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$. Каждый исход s_j характеризуется альтернативой a_j и вектором лингвистических оценок на множестве критериев $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$. Множество лингвистических векторных оценок исходов $K = \{K(s_1), K(s_2), \dots, K(s_m)\}$ можно упорядочить, введя функцию принадлежности нечеткого отношения порядка $\mu_{\geq}: K * K \rightarrow [0, 1]$.

Для i -го критерия значение функции $\mu_{\geq}(K_i(s_j), K_i(s_k))$ можно вычислить по формуле:

$$\mu_{\geq}(K_i(s_j), K_i(s_k)) = 1 - \mu_{<}(K_i(s_j), K_i(s_k)),$$

где $\mu_{<}(K_i(s_j), K_i(s_k))$ – вероятность того, что точное значение s_j будет меньше, чем s_k :

$$\mu_{<}(s_j, s_k) = \sum_{x \in S_j} \left(\frac{\mu_{s_j}(x)}{\sum_{y \in S_j} \mu_{s_j}(y)} \left(1 - \sum_{z \in S_k, z < x} \frac{\mu_{s_k}(z)}{\sum_{w \in S_k} \mu_{s_k}(w)} \right) \right).$$

Векторные оценки могут быть упорядочены на основе функции принадлежности:

$$\mu_{\geq}(K(s_j), K(s_k)) = x \mu_{\geq}(K_i(s_j), K_i(s_k)),$$

$$i \in n$$

где x обозначает символ обобщенной операции. В качестве обобщенной операции предлагается использовать взятие минимума. Для учета разной важности критериев в настоящей работе предложена модификация метода, заключающаяся в возведении значения

функции $\mu_{\geq}(K_i(s_j), K_i(s_k))$ в степень, соответствующую весовому коэффициенту ω_i :

$$\mu_{\geq}(K(s_j), K(s_k)) = x \mu_{\geq}(K_i(s_j), K_i(s_k))^{\omega_i};$$

$$\omega_i \geq 0;$$

$$\frac{\sum \omega_i}{n} = 1, i = 1 \dots n.$$

Так как между множеством альтернатив и исходов существует взаимно однозначное соответствие, функция принадлежности нечеткого отношения предпочтения на множестве альтернатив будет иметь вид:

$$\mu_{\geq}(a_j, a_k) = \mu_{\geq}(K(s_j), K(s_k)).$$

Для нахождения лучшей альтернативы вычисляется нечеткое отношение предпочтения между альтернативой a_j и всеми остальными альтернативами с помощью функции принадлежности:

$$\mu_{\geq}(a_j; \{a_k\}, k \in I_j) = x \mu_{\geq}(a_j, a_k), j \in m,$$

$$k \in I_j$$

где I_j – множество индексов альтернатив, с которыми может сравниваться j -ая альтернатива. Решение задачи ранжирования можно описать соотношениями:

$$r_j < r_l \Leftrightarrow \mu_{\geq}(a_j; \{a_k\}, k \in I_j) > \mu_{\geq}(a_l; \{a_k\}, k \in I_l);$$

$$r_j = r_l \Leftrightarrow \mu_{\geq}(a_j; \{a_k\}, k \in I_j) = \mu_{\geq}(a_l; \{a_k\}, k \in I_l),$$

где r_j – ранг альтернативы. Наиболее предпочтительная альтернатива имеет самый низкий ранг.

Ранг, выраженный не порядковым номером, а степенью соответствия альтернативы критерию будет являться элементом нечеткой не дискретной шкалы для оценки объектов по какой-либо потребительской характеристике. Подробные исследования методов теории нечетких множеств для решения задач ранжирования объектов экспертизы приведены в монографии¹³.

Существуют альтернативы, которые имеют количественные характеристики, например, такие как габариты или масса. В этом случае не имеет смысла проводить парные сравнения или привлекать аппарат теории нечетких множеств. Отображение F_2 (формула 7) следует заменить процедурой линейного нормирования. Линейное нормирование заключается в том, что количественные величины заполняют собой вектор:

$$W' = \{w'_1, w'_2, \dots, w'_n\},$$

где n – число альтернатив;

w'_i – количественная величина.

Затем вектор W' нормируется, и в результате получается вектор приоритетов:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\},$$

где

$$w_i = w'_i / S;$$

S – сумма количественных оценок:

$$S = \sum_{i=1}^n w'_i.$$

Причем если мы ищем лучшую альтернативу с наибольшей величиной данной характеристики, то вектор нормируется непосредственно с этими количественными оценками, а если наоборот (чем меньше данная величина, тем лучше), то каждый элемент вектора W' заменяется на обратную ему величину и только после этого происходит нормирование.

¹³ Шахов А.М. Нечеткие модели и средства принятия решений на начальных этапах проектирования: Монография / А.В. Андрейчиков, П.В. Терелянский, А.М. Шахов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2004. – 140 с.

Отображение F_3 (формула 8) представляет собой так называемый иерархический синтез. Он заключается в перемножении весов вышележащих элементов иерархии на веса связанных с ним нижележащих¹⁴. Процесс построения графической модели предметной области, а также отображений F_2 и F_3 является извлечением экспертных знаний по данной проблематике, и осуществляются однократно. Подобная работа может быть выполнена как вручную, так и с помощью специализированных программных средств (рис. 4)^{15,16}.

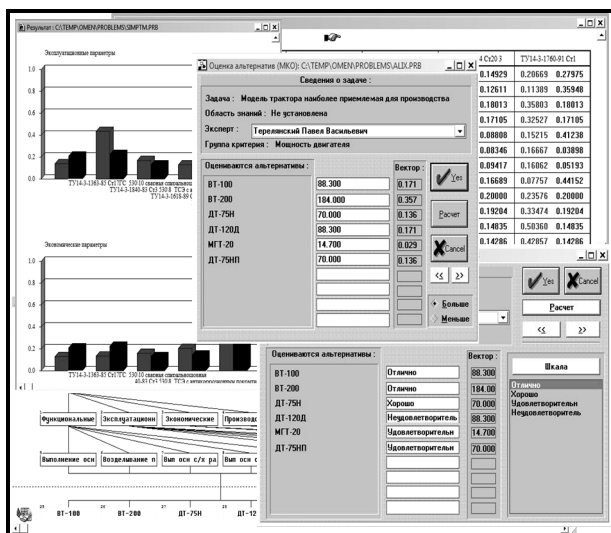


Рис. 4. Универсальная система поддержки принятия решений

The screenshot shows a form titled 'Анкета автомобиля'. It includes fields for 'Автомобиль' (BA3 21213 'НИВА'), 'Номерной знак' (A 123 OLV), and 'Регион' (34). There are sections for 'Состояние кузова', 'Состояние двигателя', 'Состояние ходовой части', 'Состояние трансмиссии', and 'Интерьер'. A 'Лакрасочное покрытие' section has a dropdown menu. The bottom part shows 'Совокупное качество объекта' (0.027793), 'Вероятная цена продажи' (119043.14), and 'Переводной коэффициент' (428362.727). There are also checkboxes for 'Округлить?' and 'Уточнить?'.

Рис. 5. Экранная форма автоматизированной системы анкетной оценки

Аппроксимирование отображения F_1 (формула 6) осуществляется в зависимости от требуемой точности либо простым усреднением коэффициента K , либо стати-

стической обработкой тем или иным методом множества K . Полученные веса элементов шкал могут быть занесены в базу данных, а сам процесс заполнения анкет автоматизирован (рис. 5). В этом случае эксперту-оценщику предоставляется экранная форма со списком вопросов, а напротив каждого вопроса располагается комбинированный (выпадающий) список возможных ответов. Веса ответов автоматически суммируются, по базе данных определяется переходной коэффициент и рассчитывается вероятная цена продажи.

Использование дискретных шкал (отношений, интервалов и даже наименований) для оценки качеств объектов позволяет подсчитать количество групп объектов Z_{max} . Если же в качестве оценок будут использоваться непрерывные характеристики, например износ, интенсивность цвета и т.п., то количество групп будет стремиться к количеству всех возможных комбинаций объектов, что для сложных технических систем будет стремиться к бесконечности. Только невозможность подсчета бесконечного количества комбинаций приводит нас к объединению объектов в группы. В таком случае каждый объект будет представлять собой группу (множество) дискретных оценок по критериям. Самым неэффективным способом объединения является аддитивный интегральный показатель B_p (формула 1), который сводит множество частных оценок в одну.

Рассуждая о возможном виде реальной кривой a (см. рис. 2), поведение которой мы стремимся спрогнозировать, следует отметить, что объединение всего реально существующего множества потребительских характеристик B_p в группы потребует учета вероятностного распределения характеристик внутри группы Z_i . Если распределение подчиняется нормальному закону (см. рис. 6а) и справедливо предположение, что чем больше числовая величина, описывающая качество, тем больше цена объекта, то кривая a примет следующий вид (см. рис. 6б). Где P – вероятность получить наибольшую цену у объекта, попавшего в группу Z_i , при условии линейного возрастания его совокупного потребительского качества (см. рис. 6б). Нормальное распределение будет касаться плотности отображения элементов множества B на не дискретную равномерную числовую ось.

Доверительный интервал прогнозирования в таком случае (см. рис. 6б) будет ограничен прямыми f_1 , f_2 и точкой a . Столь широкий доверительный интервал не позволяет делать сколько-нибудь осмысленные прогнозы. Уменьшение площади можно достичь за счет выделения крупных групп – кластеров. И последующего построения системы оценок качества для каждого исследуемого кластера. На рис. 6б группа 1 отнесена в отдельный кластер. Доверительный интервал переходной функции качество-цена будет ограничен фигурой a , d , e , h (см. рис. 6в). Доверительный интервал для группы 2 в таком случае (рис. 6в) ограничится фигурой a' , d' , e' , h' . Например, следует разбить систему оценок качества легковых автомобилей, как минимум на два кластера – зарубежные и отечественные. В каждом из кластеров можно выделить группы внедорожников, гольф-класс, представительские и т.д. Необходимо напомнить, что гладкую функцию (см. рис. 2; рис. 6б и 6в) можно получить только для большой выборки. Малая выборка (а иногда и единичная), которая характеризует процесс оценки в условиях неопределенности, может дать лишь несколько точек.

¹⁴ Терелянский П.В., Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе иерархических моделей: Монография / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – 156 с.

¹⁵ Терелянский П.В. Компьютерная система принятия решений с прогнозированием динамики предпочтений // Международная конференция по проблемам управления (29 июня – 2 июля 1999 г.): Тез. докл.: В 3 т. Т. 2. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – С. 342-345.

¹⁶ Терелянский П.В. Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе нечетких и иерархических моделей: Монография / П.В. Терелянский, А.В. Андрейчиков. – Волгоград: ВолгГТУ, 2007. – 204 с.

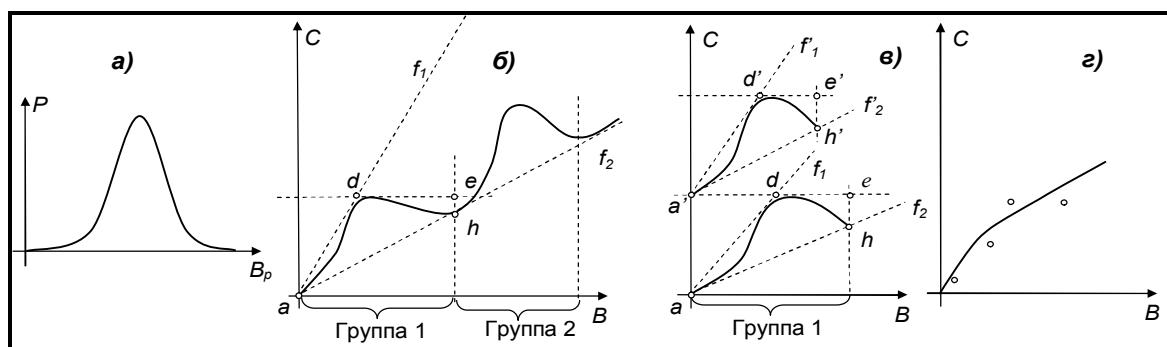


Рис. 6. Вид аппроксимирующей кривой при условии нормального распределения

Обработка облака эмпирически полученных точек (элементов множества K) методами параметрической статистики (например, методом наименьших квадратов) позволит построить кривую не совсем соответствующую реальной, но, тем не менее, попадающую в доверительный интервал (рис. 6г). Классические модели регрессионного, дисперсионного и факторного анализов, которые возможно применять для аппроксимации множества K , опираются на предположение о нормальности распределения. Теоретических оснований для такого утверждения нет.

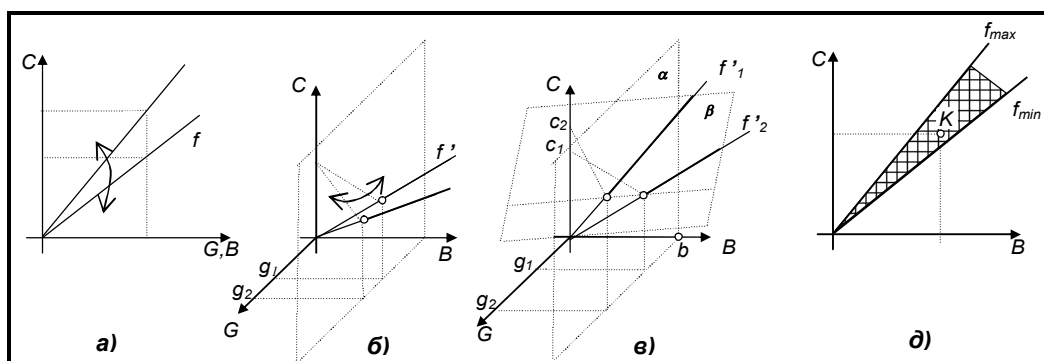
Отметим также, что нормальное распределение величин, о котором говорится выше, не всегда соответствует действительной ситуации. Необходимо эмпирически изучать распределения оценок на числовой оси для каждого конкретного случая. Возможно, что построенная система качественных характеристик будет исчисляться по экспоненциальному, логарифмическому нормальному, гамма-распределению, распределению Вейбулла и так далее. Утверждается, что если некоторая интегральная оценка (или иная случайная величина) определяется в результате совокупного действия многих малых факторов, то в силу центральной предельной теоремы теории вероятностей эта величина хорошо приближается (по распределению) нормальной случайной величиной¹⁷. Такое утверждение справедливо, если малые факторы действуют аддитивно и независимо друг от друга. Если же они действуют мультипликативно, то в силу той же центральной предельной теоремы аппроксимировать надо логарифмически нормальным распределением. В прикладных задачах обосновать аддитивность, а не мультипликативность действия малых факторов обычно не удается. Если же зависимость имеет общий характер, не приводится к аддитивному или мультипликативному виду, а также нет оснований принимать модели, не дающие нормального распределения, то о распределении элементов итогового множества практически ничего не известно, кроме внутриматематических свойств типа регулярности. Это означает, в частности, что большинство применений критерия Стьюдента, классического регрессионного анализа и других статистических методов, основанных на нормальной теории, строго говоря, не является обоснованным, поскольку неверна лежащая в их основе аксиома нормальности распределений соответствующих случайных величин¹⁷. Поэтому и делается попытка ограничить доверительный интервал и о достоверности прогноза судить без привлечения сложных математических методов параметрической статистики.

Простейшая линейная аппроксимацией функции C_p (формула 4) интегральным переходным коэффициентом K представляет собой множество отображений возможных показателей интенсивности тех качеств, которые мы определяем как потребительские во множество цен продажи. Для одного качества мы будем иметь одномерную функцию, для двух –

двумерную, для n – n -мерную. Таким образом, функция, определяющая переходной коэффициент от множества показателей качества к одному показателю – цене, представляет собой многомерную поверхность. В первом приближении данную поверхность можно рассматривать как гладкую без разрывов. Если множества V и D объединить в одно множество величин G , поведение которых мы не можем контролировать, но можем наблюдать, то решение задачи об определении цены по множеству характеристик B сведется к построению двумерной функции $C_p = f(G, B)$ (рис. 7). Сложность построения аппроксимирующей функции для двумерного случая состоит в том, что мы имеем плоскую проекцию сложной многомерной поверхности на плоскость $C - B$, D , V . И эта проекция будет представлять собой не просто кривую, а замкнутую фигуру (пятно) сложной формы. Классические методы аппроксимации дадут множество зависимостей, которые абсолютно точно попадут в исходную точку, но с малой степенью вероятности позволят получить какую-нибудь осмысленную точку прогнозирования. В случае применения интегрального (аддитивного и т.п.) показателя изменение составляющей G приведет к изменению угла наклона линии f (рис. 7а). Разбиение интегрального показателя на два множества G и B может дать возможность следующего анализа. При неизменном B и C можно определить величину возмущающих составляющих G – отрезок $g_1 - g_2$. В этом случае проекция линии f на плоскость $C - B$ не изменит своего угла наклона (рис. 7б). Однако, изменение G $g_1 - g_2$ при неизменных характеристиках B_p объекта приведет и к изменению цены $c_1 - c_2$. Через прямые f_1 и f_2 можно построить плоскость β , которая будет представлять собой множество всех возможных значений переходного коэффициента K выраженного через кривую первого порядка f (рис. 7в). При неизменных B_p данная плоскость описывает поведение возмущающих факторов – множеств D и V . Пересечение плоскости β и плоскости α , являющейся пространственным представлением значения суммарного качества B_p исследуемого объекта, даст кривую (в нашем случае первого порядка), ограничивающую снизу площадь доверительного интервала прогнозирования f_{min} . Проекция кривой f_1 на плоскость $C - B$ позволит получить, кривую f_{max} ограничивающую доверительный интервал сверху. Попадание или отклонение переходного коэффициента K в область доверительного интервала будет говорить о достоверности расчета прогнозируемой цены, либо о необходимости уточнения математической модели предметной области – множества B .

В заключение хотелось бы отметить, что в данном случае не говорится об однозначном отображении понятия «совокупное качество объекта» на числовую ось, что было бы не правильно и не обоснованно с точки зрения теории измерений. Говорится о нелинейном вероятностном соотношении объекта сложной структуры к группе подобных объектов, которые продаются в некотором определенном интервале цен.

¹⁷ Орлов А.И. Эконометрика: Учебник / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2002. – 576 с.

Рис. 7. Анализ двумерной функции $C_p = f'(G, B)$

Соотнесение осуществляется на основе непараметрического оценивания с использованием вербальных шкал, к которым так же можно отнести и «графические» оценки методов теории нечетких множеств. Непараметрическое оценивание рассматривается как сведение множества вербальных оценок в некоторый интегральный числовой показатель. Если удастся однозначно сводить это множество к некоторым числам, то вполне можно (с долей вероятности) отображать это число на интервалы цен. Кажущаяся громоздкость математического аппарата, на самом деле легко распадается на множество элементарных операций, которые в свою очередь легко алгоритмизируются и реализуются с помощью вычислительных машин (рис. 3, 4, 5).

Литература

1. Андрейчиков А.В. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Машиностроение, 1998. – 476 с.: ил.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
4. Мелихов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.Я. Корвин. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
5. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
6. Орлов А.И. Эконометрика: Учебник. – М.: Экзамен, 2002. – 576 с.
7. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 316 с.
9. Терелянский П.В., Сидунова Г.И. Анкетная оценка объектов вторичного рынка // Интеграл. – 2005. – №4. – С. 46-50.
10. Терелянский П.В. Аппроксимация эмпирической зависимости цены от совокупности потребительских характеристик товаров вторичного рынка // Актуальные проблемы развития экономики России: теория и практика: Труды IV Международной научно-практической конференции преподавателей, ученых, аспирантов, студентов (24 ноября 2006 г.). – Ч. 3. – Нижний Новгород: ВГИПУ, 2006. – С. 111-115.
11. Терелянский П.В. Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе нечетких и иерархических моделей: Монография / П.В. Терелянский, А.В. Андрейчиков. – Волгоград: ВолгГТУ, 2007. – 204 с.
12. Терелянский П.В. Компьютерная система принятия решений с прогнозированием динамики предпочтений // Международная конференция по проблемам управления (29 июня – 2 июля 1999 г.): Тез. докл.: В 3 т. Т. 2. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – С. 342-345.
13. Терелянский П.В. Построение функции цена-качество на основе анкетных опросов экспертов // Изв. ВГТУ: Акту-

альные проблемы реформирования российской экономики (теория, практика, перспектива): Межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – Вып. 7, №12. – С. 151-155.

14. Терелянский П.В., Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе иерархических моделей: Монография / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – 156 с.
15. Шахов А.М. Нечеткие модели и средства принятия решений на начальных этапах проектирования: Монография / А.В. Андрейчиков, П.В. Терелянский, А.М. Шахов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2004. – 140 с.
16. Saaty, T.L. The Analytic Hierarchy Process/ T.L. Saaty. – Mc.Graw-Hill, 1980. – 267p.
17. Zadeh, L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh // Information and Control, №8, 1965. – pp. 338-353.

Ключевые слова

Теория принятия решений, прогнозирование, системный анализ, экспертные оценки, непараметрическая статистика

Терелянский Павел Васильевич

РЕЦЕНЗИЯ

Проблема оценки качества и определения цены товаров весьма актуальна для организаций занимающихся экспертизой уникальных объектов. Дело в том, что существующие методики экспертизы требуют либо привлечения специальных аппаратных (инструментальных) измерительных средств, либо исследования рынка аналогичных товаров с целью поиска минимума и максимума цены на эту группу товаров, либо отслеживания статистики продаж. К сожалению, подобные методики не всегда применимы и не учитывают субъективных представлений экспертов об анализируемых товарах. Предлагаемая автором методика позволяет обрабатывать плохо формализуемые и непараметрические оценки экспертов. Автор предлагает строить наглядные сетевые диаграммы исследуемых систем предпочтений и проводить вербальное сравнение альтернатив с использованием порядковых шкал. Анализ данных диаграмм производится с использованием программных систем, разработанных автором. Ограниченный объем статьи не позволил автору провести более подробное описание исследований временных зависимостей (собственно прогнозирования) цена-качество. Возможно, это следовало бы сделать за счет уменьшения объема текста посвященного изложению широко известных методик теории нечетких множеств. Думается, что можно было бы просто сослаться на одну из монографий автора (с соавторами), посвященной проблематике нечетких множеств.

Весьма интересными представляются рассуждения автора об анализе исследуемых зависимостей в условиях нормального распределения эмпирически полученных оценок экспертов. Заслуживает внимания также геометрическая интерпретация доверительных интервалов прогнозирования. Важно отметить, что изложенные автором теоретические положения реализованы в виде действующих программных систем поддержки непараметрической экспертизы.

Считаю, что статья несет в себе элементы несомненной научной новизны, является актуальной и должна быть рекомендована к печати.

Московцев А.Ф., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент, маркетинг и организация производства», декан факультета «Экономика и управление» Волгоградского государственного технического университета

3.7. PROGNOSTICATION OF THE PRICE OF THE OBJECTS OF COMPLEX STRUCTURE ON THE BASIS OF THE NONPARAMETRIC EXAMINATION OF THE QUALITY

P.V. Tereljansky, Candidate of Science (Technical), the Senior Lecturer «Intelligence Systems in Economy»

Volgograd State Technical University

There are examined methods of nonparametric examination in the article. The examination is based on the application of verbal estimations for the ranking of alternatives. The author proposes to use a mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets for the estimations of analog quantities. The behavior of price-quality function, which built on the basis of expert estimations, with the condition for the normal distribution of the elements of estimations on number scale axis is analyzed also. The procedure of construction and analysis of confidence forecast intervals is proposed. The mathematical apparatus includes the nonlinear probabilistic mapping of the integrated quality of object onto a certain known interval of prices. Correlation is accomplished on the basis of nonparametric evaluation with the use of the ordinal scales, to which so can be attributed and «graphic» evaluations of the methods of the theory of fuzzy sets. Nonparametric evaluation is considered as the integration of much verbal estimation into a certain integral numerical index. If it will be possible to reflect this set to some numbers, then it is possible to reflect this number to the intervals of prices completely (with the fraction of probability).

Literature

1. A.V. Andreychikov. Computer Support of the Invention (Methods, System, Examples of Application) / A.V. Andreychikov, O. N. Andreychikova. – M.: Mashinostroenie, 1998. – 476 p.: illus.
2. Fuzzy Sets and the Theory of Possibilities. Latest Achievements: [trans. from Engl.] / edited by R.R. Yager. – M.: Radio i Svyaz, 1986. – 408 p.
3. A. Kofman. Introduction into the Theory of Fuzzy Sets: [trans. from Engl.] / A. Kofman. – M.: Radio i Svyaz, 1982. – 432 p.
4. Melikhov, A. N. Situation Advising Systems with the Fuzzy Logic / A. N. Melikhov, L. S. Bershteyn, S. Y. Korovin. – M.: Nauka. 1990. – 272 p.
5. A.I. Orlov. Econometrics: the Textbook / A.I. Orlov – M.: Publishing house «Ekzamen», 2002. – 576 p.
6. T.L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process/ T.L. Saaty. – Mc.Graw-Hill, 1980. – 267p.
7. T. Saaty. The Decision Making. The Analytic Hierarchy Process: [trans. from Engl.] / T. Saaty. – M.: Radio i Svyaz'. 1993. – 316 p.
8. T. Saaty, K. Kems. The Analytical Planning. The Organization of the Systems: Trans. from Engl. – M.: Radio i Svyaz', 1991. – 224 p.
9. A.M. Shakhov. Fuzzy Models and the Means of Decision Making in the Initial Stages of the Design: the Monograph / A.V. Andreychikov, P.V. Tereliansky, A. M. Shakhov – Volgograd: VSTU, 2004. – 140 p.
10. P.V. Tereliansky. Approximation of the Empirical Dependence of Price on the Totality of the Consumer Characteristics of Goods of the Second Market / P.V. Tereliansky // The Vital Problems of the Development of the Economics of Russia: Theory and the Practice: The Transactions IV of the International Practical-Scientific Conference of instructors, Scientists, Graduate Students, Students (November 24, 2006.) : vol. 3. – Nizhny Novgorod: VGIPU, 2006. – pp. 111-115.
11. P.V. Tereliansky. Construction of Function Price-Quality on the Basis of the Opinion Polls of the Experts / P.V. Tereliansky // Izvestiya. VSTU. Series «The Vital Problems of the Development of the Economics of Russia: Theory, Practice, Prospect»: VSTU. – Volgograd, 2007. – vol. 7, №12. – pp. 151-155.
12. P.V. Tereliansky. The Information Technologies of the Prognostication of the Technical Solutions on the Basis of the Fuzzy Sets and Hierarchical Models: the Monograph / P.V. Tereliansky, A.V. Andreychikov. – Volgograd: VSTU, 2007. – 204 p.
13. P.V. Tereliansky, G.I. Sidunova. Estimation of the Objects of the Second Market by Questionnaire / P.V. Tereliansky, G.I. Sidunova // Integral, №4 (24), 2005, pp. 46-50
14. P.V. Tereliansky. Computer System of Decision Making with the Prognostication of the Dynamics of the Preferences/ P.V. Tereliansky // International Conference on the Problems of Control (June 29 – July 2, 1999): Theses. report. In three volumes. Vol. 2. – M.: Fund «The Problems of Control», 1999. – pp. 342-345.
15. P.V. Tereliansky. The Information Technologies of the Prognostication of the Technical Solutions on the Basis of the Hierarchical Models: The Monograph / A.V. Andreychikov, P.V. Tereliansky, O.N. Andreychikova. – Volgograd: VSTU, 2004. – 156 p.
16. L. Zadeh. Concept of Linguistic Variable and Its Application to the Adoption of the Approximate Solutions: [trans. from Engl.] / L. Zadeh. – M.: Mir, 1976. – 165 p.

Keywords

Theory of decision making, the prognostication, the systems analysis, expert estimations, the nonparametric statistics.