

УДК 519.769

А.К. ХУДАДОВА\*

## МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УНИВЕРСИТЕТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЁТКОГО МЕТОДА МАКСИМИННОЙ СВЁРТКИ

\*Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан

**Анотація.** У статті представлено опис методу максимінної згортки для оцінки конкурентоспроможності університетів за умови, що застосовані тут критерії оцінки мають не тільки різну природу, але й різну значимість. Сучасний ринок освітніх послуг ставить перед університетами завдання забезпечення сильних конкурентних позицій. При вирішенні поставленого завдання виникає необхідність оцінки поточного рівня конкурентоспроможності університету в контексті його маркетингового простору. Описана у статті нечітка модель, з огляду на основні слабкоструктуровані показники маркетингового простору, дозволяє досить збалансовано ранжувати університети за рівнями їх конкурентоспроможності. При необхідності модель можна легко адаптувати під регіональну специфіку та/або під вимоги замовника (користувача), що змінилися. У контексті даного дослідження розглянута методика нестандартної задачі визначення узгодженості думок залучених експертів по сукупності показників маркетингового простору для подальшої ідентифікації їх узагальнених вагових коефіцієнтів, які в кінцевому рахунку встановлюють пріоритетність або ступені важливості застосовуваних критеріїв оцінки. Іншими словами, запропонований новий експертний підхід до визначення зважених коефіцієнтів оцінюваних показників маркетингового простору, заснований на застосуванні евристичних знань. Важливою перевагою представленої моделі є те, що вона проста, зручна в застосуванні і здатна адаптуватися до вимог користувачів. Головною її перевагою є те, що вона охоплює досить широкий спектр важливих чинників маркетингового простору ринку освітніх послуг, які мають істотний вплив на рівні конкурентоспроможності університетів. Результати дослідження можуть бути затребувані для оцінки якості освітнього бізнес-процесу в університетах як на регіональному, так і на державному рівні.

**Ключові слова:** конкурентоспроможність університету, маркетинговий простір університету, експертна оцінка, нечітка безліч, максимінна згортка.

**Аннотация.** В статье представлено описание метода максиминной свёртки для оценки конкурентоспособности университетов при условии, что применяемые здесь критерии оценки имеют не только разную природу, но и различную значимость. Современный рынок образовательных услуг ставит перед университетами задачу обеспечения сильных конкурентных позиций. Для решения поставленной задачи возникает необходимость оценки текущего уровня конкурентоспособности университета в контексте его маркетингового пространства. Описанная в статье нечёткая модель, учитывая основные слабоструктурированные показатели маркетингового пространства, позволяет достаточно сбалансированно ранжировать университеты по уровням их конкурентоспособности. При необходимости модель можно легко адаптировать под региональную специфику и/или изменившиеся требования заказчика (пользователя). В контексте данного исследования рассмотрена методика нестандартной задачи определения согласованности мнений привлечённых экспертов по совокупности показателей маркетингового пространства для последующей идентификации их обобщённых весовых коэффициентов, которые в конечном счёте устанавливают приоритетность или степени важности применяемых критериев оценки. Иными словами, предложен новый экспертный подход к определению взвешенных коэффициентов оцениваемых показателей маркетингового пространства, основанный на применении эвристических знаний. Немаловажным достоинством представленной модели является то, что она проста, удобна в применении и способна адаптироваться к требованиям пользователей. Главным её преимуществом является то, что она охватывает достаточно широкий спектр немаловажных факторов маркетингового пространства рынка образовательных услуг, которые оказывают существенное влияние на уровни конкурентоспособности университетов. Результаты исследования

могут быть востребованы для оценки качества образовательного бизнес-процесса в университетах как на региональном, так и на государственном уровне.

**Ключевые слова:** конкурентоспособность университета, маркетинговое пространство университета, экспертная оценка, нечёткое множество, максиминная свёртка.

**Abstract.** The paper presents a description of the maximin convolution method for assessing the competitiveness of universities, provided that the assessment criteria used here are not only of different nature, but different significance as well. The modern market of educational services sets for universities the task of providing strong competitive positions. To solve this problem, it becomes necessary to assess the current level of competitiveness of the university in the context of its marketing space. The fuzzy model described in the paper, taking into account the main weakly structured indicators of the marketing environment, allows for a well-balanced ranking of universities according to their levels of competitiveness. If necessary, the model can be easily adapted to regional specifics and / or changed requirements of the customer (user). In the context of this study, the methodology of a non-standard task of determining the consistency of opinions of involved experts on a set of indicators of the marketing space for the subsequent identification of their generalized weights, which ultimately determine the priority or importance of the applied evaluation criteria, is considered. In other words, a new expert approach was proposed to determine the weighted coefficients of the estimated indicators of the marketing space, based on the application of heuristic knowledge. Its main advantage is that it covers a fairly wide range of important factors of the marketing space of the educational services market, which have a significant impact on the levels of competitiveness of universities. The research results can be used to assess the quality of the educational business process at universities, both at the regional and state levels.

**Keywords:** university competitiveness, university marketing space, expert assessment, fuzzy set, maximin convolution.

DOI: 10.34121/1028-9763-2019-3-135-143

## 1. Введение

В работе [1] нами рассматривался подход к оценке и ранжированию университетов на основе применения двух нечётких методов многокритериальной оценки: методов нечёткого вывода и максиминной свёртки, которые были апробированы на примере произвольных показателей маркетинговых пространств пяти гипотетических университетов. Ранжирование этих университетов обоими методами показали некоторое расхождение в оценках их конкурентоспособности, объясняемое тем, что при применении метода максиминной свёртки используемые нечёткие критерии оценки, отражающие соответствующие оценочные понятия, обладали одинаковыми степенями важности. Поэтому для более сбалансированной оценки конкурентоспособности университетов в данной статье предлагается использовать максиминный метод многокритериальной оценки альтернатив на основе пересечения нечётких множеств, отражающих качественные критерии оценки с различными степенями значимости.

## 2. Постановка задачи

В качестве системы показателей, отражающих маркетинговую среду университета с учётом деятельности других университетов, в [1] нами рассмотрена следующая совокупность:  $x_1$  – поддержка государства;  $x_2$  – конкурс абитуриентов;  $x_3$  – связи со средними школами;  $x_4$  – популяризация медийными структурами;  $x_5$  – состояние национальной экономики;  $x_6$  – социально-демографические условия;  $x_7$  – социально-культурное положение общества;  $x_8$  – политико-правовое обеспечение общества;  $x_9$  – целевое ориентирование;  $x_{10}$  – применяемая технология обучения;  $x_{11}$  – организационная структура вуза;  $x_{12}$  – уровень профессорско-преподавательского состава и подготовки вспомогательного персонала;  $x_{13}$  – число вузов-конкурентов.

Для проведения аналитических исследований, то есть для компиляции соответ-

ствующих эвристических знаний, требующей перевода накопленных внешних знаний о задаче во внутренние, необходимо провести статистический анализ маркетинговой среды по каждому из выше перечисленных факторов  $x_i (i = 1 \div 13)$ . Это достаточно затратный по времени и трудоёмкий процесс, который требует достоверности релевантной информации. Поэтому для описания предлагаемой методики оценки предположим, что путём независимого анкетирования специалистов в предметной области были получены экспертные оценки показателей маркетинговой среды  $x_i (i = 1 \div 13)$  для гипотетических пяти университетов:  $a_1, a_2, a_3, a_4$  и  $a_5$ . Консолидированные путём усреднения оценки экспертов по десятибалльной шкале сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Консолидированные экспертные оценки маркетинговой среды университетов

| Обозначение | Показатели маркетинговой среды университетов   | Альтернативные университеты |       |       |       |       |
|-------------|--|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|             |  | $a_1$                       | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ |
| $x_1$       | Поддержка государства                          | 7,23                        | 2,91  | 9,02  | 2,48  | 2,13  |
| $x_2$       | Конкурс абитуриентов                           | 7,08                        | 9,13  | 6,30  | 8,50  | 7,56  |
| $x_3$       | Связи с средними школами                       | 8,95                        | 3,96  | 6,23  | 6,30  | 4,34  |
| $x_4$       | Популяризация медийными структурами            | 3,19                        | 2,60  | 7,69  | 3,91  | 6,24  |
| $x_5$       | Состояние национальной экономики               | 6,42                        | 9,36  | 7,66  | 2,63  | 4,98  |
| $x_6$       | Социально-демографические условия              | 6,38                        | 6,65  | 5,99  | 5,47  | 2,19  |
| $x_7$       | Социально-культурное положение общества        | 6,54                        | 6,28  | 3,11  | 9,78  | 4,08  |
| $x_8$       | Политико-правовое обеспечение общества         | 5,11                        | 8,53  | 9,42  | 2,49  | 7,61  |
| $x_9$       | Целевое ориентирование                         | 5,36                        | 6,23  | 9,47  | 2,70  | 9,36  |
| $x_{10}$    | Технология обучения                            | 4,37                        | 6,85  | 4,88  | 4,16  | 5,43  |
| $x_{11}$    | Организационная структура                      | 8,14                        | 3,71  | 8,44  | 6,99  | 8,05  |
| $x_{12}$    | Уровень преподавательского состава и персонала | 9,28                        | 4,56  | 6,95  | 6,68  | 9,33  |
| $x_{13}$    | Число конкурентов                              | 7,12                        | 8,09  | 5,33  | 7,95  | 7,09  |

Основной целью данного исследования является разработка методики компиляции экспертных знаний о маркетинговой среде рынка образовательных услуг на примере произвольных университетов, характеризующихся своими внешними и внутренними факторами воздействия на конкурентоспособность.

### 3. Многофакторная оценка альтернатив нечётким методом максиминной свёртки

В нечётких приложениях под качественными критериями оценки понимают некоторые оценочные понятия (термы лингвистических переменных), а численные оценки рассматриваемых альтернатив представляют степенями соответствия этим понятиям. Отправляясь от этого, предположим, что имеют место множество альтернатив  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  и множество критериев оценки  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ , причём каждый из критериев представляет собой нечёткое подмножество дискретного универсума  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  в виде

$$F_i = \frac{\mu_{F_i}(a_1)}{a_1} + \frac{\mu_{F_i}(a_2)}{a_2} + \dots + \frac{\mu_{F_i}(a_n)}{a_n} \quad (i = 1 \div m). \quad (1)$$

Тогда выбор наилучшей альтернативы осуществляется путём пересечения нечётких множеств  $F_i$ , описывающих критерии оценки [2]:

$$D = F_1 \cap F_2 \cap \dots \cap F_m, \quad (2)$$

где операция пересечения реализуется согласно следующей формуле:

$$\mu_D(a_j) = \min\{\mu_{F_1}(a_j), \mu_{F_2}(a_j), \dots, \mu_{F_m}(a_j)\} \quad j = 1 \div n. \quad (3)$$

Наилучшей считается та альтернатива  $a^*$ , соответствующая функция принадлежности для которой имеет наибольшее значение, то есть

$$\mu_D(a^*) = \max\{\mu_D(a_1), \mu_D(a_2), \dots, \mu_D(a_n)\}, \quad (4)$$

а остальные альтернативы ранжируются по убыванию.

В процессе принятия решений критерии оценки  $F_i$ , как правило, имеют различные степени важности. В этом случае пересечение (2) заменяют взвешенным пересечением [2]:

$$D = F_1^{\alpha_1} \cap F_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap F_m^{\alpha_m}, \quad (5)$$

где  $\alpha_i$  – веса соответствующих критериев оценки, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1; \quad \alpha_i \geq 0. \quad (6)$$

#### 4. Многофакторная оценка маркетинговой среды университетов на предмет их конкурентоспособности

Множество решений характеризуется набором критериев – оценочных понятий показателей маркетинговой среды  $x_i (i = 1 \div 13)$ , которые опишем посредством нечётких подмножеств дискретного универсума  $U = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$ . В качестве функций принадлежности, восстанавливающих эти множества, выберем Гауссовские функции вида

$$\mu(u) = \exp\{-(u - 10)^2 / \sigma^2\},$$

где  $\sigma^2$  – плотность распределения соседних элементов, определяющая ширину функции.

Тогда, полагая для всех случаев фазификации  $\sigma = 3,1$ , оценочные понятия, характеризующие критерии оценки, опишем в виде следующих нечётких множеств:

- ДОСТАТОЧНАЯ (поддержка государства):  $F_1 = \{0,4498/a_1; 0,0053/a_2; 0,9052/a_3; 0,0028/a_4; 0,0016/a_5\}$ ;
- ВЫСОКИЙ (конкурс абитуриентов):  $F_2 = \{0,4111/a_1; 0,9244/a_2; 0,2406/a_3; 0,7923/a_4; 0,5378/a_5\}$ ;
- ТЕСНЫЕ (связи с средними школами):  $F_3 = \{0,8924/a_1; 0,0224/a_2; 0,2287/a_3; 0,2414/a_4; 0,0356/a_5\}$ ;
- НЕПРЕРЫВНАЯ (популяризация медийными структурами):  $F_4 = \{0,0080/a_1; 0,0034/a_2; 0,5729/a_3; 0,0211/a_4; 0,2292/a_5\}$ ;
- УСТОЙЧИВОЕ (состояние национальной экономики):  $F_5 = \{0,2645/a_1; 0,9587/a_2; 0,5669/a_3; 0,0035/a_4; 0,0728/a_5\}$ ;
- ВОЗРАСТАЮЩАЯ (социально-демографическая динамика):  $F_6 = \{0,2551/a_1; 0,3121/a_2; 0,1871/a_3; 0,1183/a_4; 0,0018/a_5\}$ ;
- ВЫСОКОЕ (социально-культурное положение общества):  $F_7 = \{0,2873/a_1; 0,2373/a_2; 0,0071/a_3; 0,9948/a_4; 0,0262/a_5\}$ ;
- ПОХОДЯЩЕЕ (политико-правовое обеспечение общества):  $F_8 = \{0,0835/a_1; 0,7981/a_2; 0,9655/a_3; 0,0028/a_4; 0,5519/a_5\}$ ;
- ОБОСНОВАННОЕ (целевое ориентирование):  $F_9 = \{0,1063/a_1; 0,2280/a_2; 0,9709/a_3; 0,0039/a_4; 0,9588/a_5\}$ ;
- СОВРЕМЕННАЯ (технология обучения):  $F_{10} = \{0,0368/a_1; 0,3570/a_2; 0,0655/a_3; 0,0289/a_4; 0,1137/a_5\}$ ;

- СБАЛАНСИРОВАННАЯ (организационная структура):  $F_{11}=\{0,6973/a_1; 0,0163/a_2; 0,7767/a_3; 0,3890/a_4; 0,6742/a_5\}$ ;
- ВЫСОКИЙ (уровень преподавательского состава и подготовки персонала):  $F_{12}=\{0,9473/a_1; 0,0460/a_2; 0,3807/a_3; 0,3181/a_4; 0,9543/a_5\}$ ;
- БОЛЬШОЕ (число конкурентов):  $F_{13}=\{0,4219/a_1; 0,6837/a_2; 0,1032/a_3; 0,6449/a_4; 0,4139/a_5\}$ .

Очевидно, что приведённые критерии  $F_j (j=1\div 13)$  имеют различную значимость при оценке конкурентоспособности заявленных университетов. Поэтому необходимо идентифицировать обобщённые веса  $\alpha_j (j=1\div 13)$  этих критериев, для чего следует воспользоваться методом экспертных оценок взвешенных коэффициентов оцениваемых показателей маркетинговой среды университетов.

#### 4.1. Идентификация весов критериев оценки на основе экспертных заключений

Рейтинг университета – это многофакторная категория, которая характеризуется в том числе и системой показателей его маркетинговой среды  $x_i (i=1\div 13)$ , оказывающих существенное влияние на уровень его кредитоспособности на рынке образовательных услуг. Экспертная идентификация весов этих показателей как критериев оценки кредитоспособности университетов подразумевает: 1) ранжирование показателей  $x_k$  на предмет их приоритетности; 2) групповую оценку нормированных значений обобщённых весов показателей  $x_i$ , исходя из их относительного влияния на уровень кредитоспособности университетов. Опираясь на эту схему, продолжим рассуждения следующим образом.

Предположим, что путём независимого анкетирования 15-ти экспертов получены ранговые оценки приоритетности показателей  $x_i$ . При этом каждому эксперту предлагалось расположить  $x_i$  по принципу: наиболее важный показатель обозначить цифрой «1», следующий, менее важный, – цифрой «2» и далее по убыванию порядка предпочтения эксперта. Полученные таким образом ранговые оценки показателей  $x_i$  сведены в табл. 2.

Для установления степени согласованности экспертных заключений применяется коэффициент конкордации Кендалла, демонстрирующий множественную ранговую корреляцию экспертных мнений. Согласно [2, 3], этот коэффициент вычисляется по формуле

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (7)$$

где  $m$  – число экспертов,  $n$  – число показателей маркетинговой среды, а  $S$  – отклонение экспертных заключений от среднего значения ранжирования показателей  $x_i$ , которое вычисляется, например, по формуле [3]

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [r_{ij} - m(n+1)/2]^2, \quad (8)$$

где  $r_{ij} \in \{1, 2, \dots, 13\}$  – ранг  $i$ -го показателя, установленный  $j$ -ым экспертом. В рассматриваемом случае (см. табл. 2) значение коэффициента конкордации Кендалла, рассчитанного по формуле (7), при величине  $S=29194$ , вычисленной на основании (8) и данных из табл. 2, будет число

$$W = \frac{12 \cdot 29194}{15^2(13^3 - 13)} = 0,7218 > 0,6,$$

что свидетельствует о достаточно сильной согласованности экспертных заключений относительно степеней важности показателей  $x_i$ .

Таблица 2 – Экспертные ранговые оценки приоритетности показателей  $x_i$

| Эксперт  | Показатели маркетинговой среды и их ранговые оценки ( $r_{ij}$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
|          | $x_1$  | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ | $x_9$ | $x_{10}$ | $x_{11}$ | $x_{12}$ | $x_{13}$ |
| 1        | 5  | 2     | 6     | 7     | 8     | 10    | 11    | 12    | 9     | 3        | 4        | 1        | 13       |
| 2        | 13   | 2     | 7     | 6     | 9     | 12    | 11    | 10    | 8     | 5        | 3        | 1        | 4        |
| 3        | 6  | 2     | 5     | 7     | 8     | 10    | 13    | 12    | 9     | 3        | 4        | 1        | 11       |
| 4        | 5  | 9     | 6     | 8     | 7     | 12    | 10    | 11    | 1     | 4        | 3        | 2        | 13       |
| 5        | 7  | 2     | 6     | 5     | 8     | 10    | 13    | 12    | 9     | 3        | 4        | 1        | 11       |
| 6        | 4  | 1     | 6     | 7     | 8     | 11    | 12    | 10    | 9     | 3        | 5        | 2        | 13       |
| 7        | 5  | 2     | 6     | 7     | 9     | 10    | 11    | 4     | 8     | 3        | 13       | 1        | 12       |
| 8        | 7  | 2     | 6     | 5     | 12    | 13    | 11    | 8     | 9     | 3        | 4        | 1        | 10       |
| 9        | 5  | 2     | 8     | 9     | 6     | 12    | 11    | 10    | 7     | 3        | 4        | 1        | 13       |
| 10       | 5  | 3     | 10    | 7     | 8     | 6     | 11    | 12    | 13    | 2        | 4        | 1        | 9        |
| 11       | 8  | 2     | 6     | 7     | 5     | 11    | 13    | 12    | 9     | 3        | 4        | 1        | 10       |
| 12       | 9  | 3     | 6     | 7     | 8     | 10    | 11    | 12    | 5     | 2        | 4        | 1        | 13       |
| 13       | 5  | 1     | 6     | 7     | 13    | 10    | 11    | 12    | 9     | 3        | 4        | 2        | 8        |
| 14       | 6  | 2     | 5     | 7     | 8     | 13    | 11    | 12    | 9     | 4        | 3        | 1        | 10       |
| 15       | 5  | 13    | 7     | 6     | 8     | 9     | 11    | 12    | 10    | 3        | 4        | 1        | 2        |
| $\Sigma$ | 95   | 48    | 96    | 102   | 125   | 159   | 171   | 161   | 124   | 47       | 67       | 18       | 152      |

На предварительном этапе независимого анкетирования каждому эксперту также было поручено установить значения нормированных оценок весов показателей  $x_i (i = 1 \div 13)$ . Результаты этого анкетирования сведены в табл. 3.

Таблица 3 – Экспертные оценки нормированных значений обобщённых весов показателей  $x_i$

| Эксперт  | Оценочные признаки и их нормированные оценки ( $\alpha_{ij}$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
|          | $x_1$  | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ | $x_9$ | $x_{10}$ | $x_{11}$ | $x_{12}$ | $x_{13}$ |
| 1        | 0,095  | 0,130 | 0,085 | 0,075 | 0,065 | 0,045 | 0,040 | 0,030 | 0,055 | 0,115    | 0,105    | 0,140    | 0,020    |
| 2        | 0,020  | 0,130 | 0,075 | 0,085 | 0,055 | 0,030 | 0,040 | 0,045 | 0,065 | 0,095    | 0,115    | 0,140    | 0,105    |
| 3        | 0,085  | 0,130 | 0,095 | 0,075 | 0,065 | 0,045 | 0,020 | 0,030 | 0,055 | 0,115    | 0,105    | 0,140    | 0,040    |
| 4        | 0,095  | 0,055 | 0,085 | 0,065 | 0,075 | 0,030 | 0,045 | 0,040 | 0,140 | 0,105    | 0,115    | 0,130    | 0,020    |
| 5        | 0,075  | 0,130 | 0,085 | 0,095 | 0,065 | 0,045 | 0,020 | 0,030 | 0,055 | 0,115    | 0,105    | 0,140    | 0,040    |
| 6        | 0,105  | 0,140 | 0,085 | 0,075 | 0,065 | 0,040 | 0,030 | 0,045 | 0,055 | 0,115    | 0,095    | 0,130    | 0,020    |
| 7        | 0,095  | 0,130 | 0,085 | 0,075 | 0,055 | 0,045 | 0,040 | 0,105 | 0,065 | 0,115    | 0,020    | 0,140    | 0,030    |
| 8        | 0,075  | 0,130 | 0,085 | 0,095 | 0,030 | 0,020 | 0,040 | 0,065 | 0,055 | 0,115    | 0,105    | 0,140    | 0,045    |
| 9        | 0,095  | 0,130 | 0,065 | 0,055 | 0,085 | 0,030 | 0,040 | 0,045 | 0,075 | 0,115    | 0,105    | 0,140    | 0,020    |
| 10       | 0,095  | 0,115 | 0,045 | 0,075 | 0,065 | 0,085 | 0,040 | 0,030 | 0,020 | 0,130    | 0,105    | 0,140    | 0,055    |
| 11       | 0,065  | 0,130 | 0,085 | 0,075 | 0,095 | 0,040 | 0,020 | 0,030 | 0,055 | 0,115    | 0,105    | 0,140    | 0,045    |
| 12       | 0,055  | 0,115 | 0,085 | 0,075 | 0,065 | 0,045 | 0,040 | 0,030 | 0,095 | 0,130    | 0,105    | 0,140    | 0,020    |
| 13       | 0,095  | 0,140 | 0,085 | 0,075 | 0,020 | 0,045 | 0,040 | 0,030 | 0,055 | 0,115    | 0,105    | 0,130    | 0,065    |
| 14       | 0,085  | 0,130 | 0,095 | 0,075 | 0,065 | 0,020 | 0,040 | 0,030 | 0,055 | 0,105    | 0,115    | 0,140    | 0,045    |
| 15       | 0,095  | 0,020 | 0,075 | 0,085 | 0,065 | 0,055 | 0,040 | 0,030 | 0,045 | 0,115    | 0,105    | 0,140    | 0,130    |
| $\Sigma$ | 1,230  | 1,755 | 1,215 | 1,155 | 0,935 | 0,620 | 0,535 | 0,615 | 0,945 | 1,715    | 1,510    | 2,070    | 0,700    |

Отправляясь от данных, представленных в табл. 3, проведём предварительные расчёты для последующей идентификации весов показателей  $x_i$  в виде усреднений по груп-

пам нормированных оценок. В частности, усреднение по  $i$ -ой группе нормированных оценок показателей  $x_i$  осуществляется итерационным образом по формуле [3]

$$\alpha_i(t+1) = \sum_{j=1}^m w_j(t) \alpha_{ij}, \quad (9)$$

где  $w_j(t)$  – показатель, характеризующий степень компетентности  $j$ -го эксперта ( $j=1 \div m$ ) на момент времени  $t$ . Вообще, показатели компетентности экспертов  $w_j(t)$  ( $j=1 \div m$ ) на момент времени  $t$  вычисляются на основании следующих равенств [3]:

$$\begin{cases} w_j(t) = \frac{1}{\eta(t)} \sum_{i=1}^n \alpha_i(t) \cdot \alpha_{ij} \quad (j = \overline{1, m-1}), \\ w_m(t) = 1 - \sum_{j=1}^{m-1} w_j(t), \quad \sum_{j=1}^m w_j(t) = 1, \end{cases} \quad (10)$$

где  $w_j(t)$  – показатель компетентности  $j$ -го эксперта в  $t$ -ом приближении, а  $\eta(t)$  – нормирующий множитель, вычисляемый по формуле [3]

$$\eta(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_i(t) \alpha_{ij}. \quad (11)$$

При этом сам процесс усреднения завершается при выполнении условия

$$\max_i \{ |\alpha_i(t+1) - \alpha_i(t)| \} \leq \varepsilon, \quad (12)$$

где  $\varepsilon$  – допустимая точность расчётов.

Полагая  $\varepsilon = 0,0001$  и одинаковые показатели компетентности экспертов, характеризующиеся на начальном этапе  $t=0$  величиной  $w_j(0) = 1/m$ , средние значения по группам нормированных оценок весов показателей  $x_i$  в 1-ом приближении получим из частного случая формулы (9), а именно  $\alpha_i(1) = \sum_{j=1}^{15} w_j(0) \alpha_{ij} = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{15} \alpha_{ij}$ ,  $i = 1 \div 13$ . В этом случае, соответственно, имеем:  $\alpha_1(1) = 0,08200$ ;  $\alpha_2(1) = 0,11700$ ;  $\alpha_3(1) = 0,08100$ ;  $\alpha_4(1) = 0,07700$ ;  $\alpha_5(1) = 0,06233$ ;  $\alpha_6(1) = 0,04133$ ;  $\alpha_7(1) = 0,03567$ ;  $\alpha_8(1) = 0,04100$ ;  $\alpha_9(1) = 0,06300$ ;  $\alpha_{10}(1) = 0,11433$ ;  $\alpha_{11}(1) = 0,10067$ ;  $\alpha_{12}(1) = 0,13800$ ;  $\alpha_{13}(1) = 0,04667$ .

Очевидно, что требование (12) для 1-го приближения не выполняется. Поэтому, чтобы перейти на следующий этап, вычислим нормирующий множитель  $\eta(1)$  в виде

$$\begin{aligned} \eta(1) &= \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(1) \alpha_{ij} = 1,230 \cdot 0,08200 + 1,755 \cdot 0,11700 + 1,215 \cdot 0,08100 + 1,155 \cdot 0,07700 + \\ &+ 0,935 \cdot 0,06233 + 0,620 \cdot 0,04133 + 0,535 \cdot 0,03567 + 0,615 \cdot 0,04100 + 0,945 \cdot 0,06300 + \\ &+ 1,715 \cdot 0,11433 + 1,510 \cdot 0,10067 + 2,070 \cdot 0,13800 + 0,700 \cdot 0,04667 = 1,34770. \end{aligned}$$

Согласно (10), показатели компетентности экспертов, настраиваясь в виде

$$\begin{cases} w_j(1) = \frac{1}{\eta(1)} \sum_{i=1}^{14} \alpha_i(1) \cdot \alpha_{ij} \quad (j = \overline{1, 14}), \\ w_{15}(1) = 1 - \sum_{j=1}^{14} w_j(1), \quad \sum_{j=1}^{15} w_j(1) = 1, \end{cases}$$

в 1-ом приближении принимают следующие значения:  $w_1(1)=0,06802$ ;  $w_2(1)=0,06542$ ;  $w_3(1)=0,06817$ ;  $w_4(1)=0,06422$ ;  $w_5(1)=0,06810$ ;  $w_6(1)=0,06776$ ;  $w_7(1)=0,06430$ ;  $w_8(1)=0,06749$ ;  $w_9(1)=0,06753$ ;  $w_{10}(1)=0,06638$ ;  $w_{11}(1)=0,06776$ ;  $w_{12}(1)=0,06742$ ;  $w_{13}(1)=0,06734$ ;  $w_{14}(1)=0,06801$ ;  $w_{15}(1)=0,06208$ .

Далее, согласно (9), или точнее  $\alpha_i(2) = \sum_{j=1}^{15} w_j(1)\alpha_{ij}$ , средними значениями по группам

нормированных оценок весов показателей  $x_i$  во 2-ом приближении будут соответствующие числа:  $\alpha_1(2)=0,08197$ ;  $\alpha_2(2)=0,11770$ ;  $\alpha_3(2)=0,08108$ ;  $\alpha_4(2)=0,07699$ ;  $\alpha_5(2)=0,06234$ ;  $\alpha_6(2)=0,04125$ ;  $\alpha_7(2)=0,03556$ ;  $\alpha_8(2)=0,04084$ ;  $\alpha_9(2)=0,06286$ ;  $\alpha_{10}(2)=0,11438$ ;  $\alpha_{11}(2)=0,10083$ ;  $\alpha_{12}(2)=0,13801$ ;  $\alpha_{13}(2)=0,04619$ . Проверяя эти значения на выполнение условия (12) и убедившись, что оно вновь не выполняется:

$\max\{|\alpha_i(2)-\alpha_i(1)|\}=\max\{|0,08197-0,08200|; |0,11770-0,11700|; |0,08108-0,08100|; |0,07699-0,07700|; |0,06234-0,06233|; |0,04125-0,04133|; |0,03556-0,03567|; |0,04084-0,04100|; |0,06286-0,06300|; |0,11438-0,11433|; |0,10083-0,10067|; |0,13801-0,13800|; |0,04619-0,04667|\}=0,0007>\varepsilon$ , вычислим соответствующий следующему этапу нормирующий множитель:

$$\eta(2) = \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(2)\alpha_{ij} = 1,230 \cdot 0,08197 + 1,755 \cdot 0,11770 + 1,215 \cdot 0,08108 + 1,155 \cdot 0,07699 + \\ + 0,935 \cdot 0,06234 + 0,620 \cdot 0,04125 + 0,535 \cdot 0,03556 + 0,615 \cdot 0,04084 + 0,945 \cdot 0,06286 + \\ + 1,715 \cdot 0,11438 + 1,510 \cdot 0,10083 + 2,070 \cdot 0,13801 + 0,700 \cdot 0,04619 = 1,34865.$$

В этом случае показателями компетентности экспертов во 2-ом приближении соответственно будут  $w_1(2)=0,06803$ ;  $w_2(2)=0,06541$ ;  $w_3(2)=0,06818$ ;  $w_4(2)=0,06419$ ;  $w_5(2)=0,06812$ ;  $w_6(2)=0,06778$ ;  $w_7(2)=0,06430$ ;  $w_8(2)=0,06749$ ;  $w_9(2)=0,06754$ ;  $w_{10}(2)=0,06638$ ;  $w_{11}(2)=0,06777$ ;  $w_{12}(2)=0,06743$ ;  $w_{13}(2)=0,06734$ ;  $w_{14}(2)=0,06802$ ;  $w_{15}(2)=0,06201$ .

В 3-ем приближении средними величинами по группам нормированных оценок весов показателей  $x_i$ , рассчитанные по частному случаю формулы (9):  $\alpha_i(3) = \sum_{j=1}^{15} w_j(2)\alpha_{ij}$ ,

являются следующие числа:  $\alpha_1(3)=0,08197$ ;  $\alpha_2(3)=0,11771$ ;  $\alpha_3(3)=0,08108$ ;  $\alpha_4(3)=0,07699$ ;  $\alpha_5(3)=0,06234$ ;  $\alpha_6(3)=0,04125$ ;  $\alpha_7(3)=0,03556$ ;  $\alpha_8(3)=0,04084$ ;  $\alpha_9(3)=0,06286$ ;  $\alpha_{10}(3)=0,11438$ ;  $\alpha_{11}(3)=0,10083$ ;  $\alpha_{12}(3)=0,13801$ ;  $\alpha_{13}(3)=0,04619$ .

Как видно из следующего,  $\max\{|\alpha_i(3)-\alpha_i(2)|\}=\max\{|0,08197-0,08197|; |0,11771-0,11770|; |0,08108-0,08108|; |0,07699-0,07699|; |0,06234-0,06234|; |0,04125-0,04125|; |0,03556-0,03566|; |0,04084-0,04084|; |0,06286-0,06286|; |0,11438-0,11438|; |0,10083-0,10083|; |0,13801-0,13801|; |0,04619-0,04619|\}=0,00001<\varepsilon$ , условие (12) уже выполняется, что является основанием для прекращения вычислений. Это означает, что  $\alpha_1(3), \dots, \alpha_{13}(3)$  являются итоговыми обобщёнными весами соответствующих показателей  $x_i (i = 1 \div 13)$  маркетинговой среды.

## 4.2. Итоговое ранжирование университетов

Итак, согласно (5) и (6), множество  $A$  оптимальных альтернативных университетов  $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$  с учётом различной важности качественных критериев оценки определим путём пересечения нечётких множеств  $F_i(a)$  в следующем виде:

$$A = F_1^{\alpha_1} \cap F_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap F_{13}^{\alpha_{13}},$$

где, согласно (4), наилучшим считается  $j$ -ый университет ( $j = 1 \div 5$ ), для которого выполняется условие



$$\mu_A(a_j) = \max\{\mu_a(a_1), \mu_A(a_2), \dots, \mu_A(a_5)\}.$$

С учётом взвешенных критериев  $F_i(a)$  множеством оптимальных альтернатив будет  $A = \{\min\{0,4498^{0,08197}; 0,4111^{0,11771}; 0,8924^{0,08108}; 0,0080^{0,07699}; 0,2645^{0,06234}; 0,2551^{0,04125}; 0,2873^{0,03556}; 0,0835^{0,04084}; 0,1063^{0,06286}; 0,0368^{0,11438}; 0,6973^{0,10083}; 0,9473^{0,13801}; 0,4219^{0,13801}\}; \min\{0,0053^{0,08197}; 0,9244^{0,11771}; 0,0224^{0,08108}; 0,0034^{0,07699}; 0,9587^{0,06234}; 0,3121^{0,04125}; 0,2373^{0,03556}; 0,7981^{0,04084}; 0,2280^{0,06286}; 0,3570^{0,11438}; 0,0163^{0,10083}; 0,0460^{0,13801}; 0,6837^{0,13801}\}; \min\{0,9052^{0,08197}; 0,2406^{0,11771}; 0,2287^{0,08108}; 0,5729^{0,07699}; 0,5669^{0,06234}; 0,1871^{0,04125}; 0,0071^{0,03556}; 0,9655^{0,04084}; 0,9709^{0,06286}; 0,0655^{0,11438}; 0,7767^{0,10083}; 0,3807^{0,13801}; 0,1032^{0,13801}\}; \min\{0,0028^{0,08197}; 0,7923^{0,11771}; 0,2414^{0,08108}; 0,0211^{0,07699}; 0,0035^{0,06234}; 0,1183^{0,04125}; 0,9948^{0,03556}; 0,0028^{0,04084}; 0,0039^{0,06286}; 0,0289^{0,11438}; 0,3890^{0,10083}; 0,3181^{0,13801}; 0,6449^{0,13801}\}; \min\{0,0016^{0,08197}; 0,5378^{0,11771}; 0,0356^{0,08108}; 0,2292^{0,07699}; 0,0728^{0,06234}; 0,0018^{0,04125}; 0,0262^{0,03556}; 0,5519^{0,04084}; 0,9588^{0,06286}; 0,1137^{0,11438}; 0,6742^{0,10083}; 0,9543^{0,13801}; 0,4139^{0,13801}\}\}.$

В итоге решение относительно конкурентоспособности оцениваемых университетов интерпретируется из следующего:

$$\max_j \mu_A(a_j) = \max\{0,6854; 0,6451; 0,7322; 0,6177; 0,5898\},$$

откуда видно, что наиболее конкурентоспособным является университет  $a_3$  с итоговой оценкой 0,7322, за ним – университет  $a_1$  с оценкой 0,6854 и далее по убыванию:  $a_2$  (0,6451),  $a_4$  (0,6177) и  $a_5$  (0,5898).

## 5. Заключение

Предложенный в статье подход к ранжированию университетов путём агрегирования консолидированных экспертных оценок ключевых показателей маркетингового пространства образовательных услуг охватывает только произвольно выбранные пять университетов. Последнее предопределило выбор дискретного универсума  $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$ , на базе которого были описаны качественные критерии оценки по средствам его нечётких подмножеств. В случае охвата большего числа университетов качество описания критериев оценки показателей  $F_i (i=1 \div 13)$  посредством нечётких множеств заметно улучшится, что неминуемо положительно скажется и на адекватности последующего ранжирования.

Кроме того, ранжирование университетов нечётким методом максиминной свёртки проводится с учётом степеней важности рассматриваемых качественных критериев оценки, то есть путём их взвешивания. В результате приоритетность показателей маркетингового пространства  $x_i (i=1 \div 13)$  становится решающим при вынесении итоговых оценок уровням конкурентоспособности университетов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Худадова А.К. Ранжирование университетов на основе нечётких методов многокритериальной оценки показателей их конкурентоспособности. *Автоматизация и измерения в машиноприборостроении*. 2018. № 4. С. 39–48.
2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: «Финансы и статистика», 2000. 368 с.
3. Mardanov M.J., Rzayev R.R. One Approach to Multi-criteria Evaluation of Alternatives in the Logical Basis of Neural Networks. *Springer's Series "Advances in Intelligent Systems and Computing"*. 2019. Vol. 896. P. 279–287.

*Стаття надійшла до редакції 02.07.2019*