Н. В. АПАТОВА, А. И. ГАПОНОВ

Ранжирование студентов в соответствии с уровнем творческого потенциала на основе метода анализа иерархий и теории нечетких множеств

Известно, что задача организации высшего образования заключается в том, чтобы обеспечить студентов фундаментальными знаниями, соответствующими профессиональными умениями и навыками. Но не менее важной, если не основной, является задача формирования творческой личности, обеспечения высокого уровня творческого потенциала обучаемого.

Цель предлагаемой работы – на основании статистических данных определить важность критериев творческого потенциала с точки зрения анкетированных и вычислить относительную оценку уровня творческого потенциала нескольких субъектов.

В работе использовались метод экспертных оценок, элементы корреляционного анализа, метода анализа иерархий (МАИ) и теории нечетких множеств (ТНМ).

На основании экспертных оценок установлено: важность критериев творческого потенциала по мнению экспертов; отсутствие корреляционной зависимости между критериями; однородность совокупности значений критериев. Анализ статистических данных позволил исключить из дальнейшего рассмотрения один из критериев и считать среднеарифметические значения адекватной оценкой случайных величин, соответствующих рассматриваемым критериям. В результате качественных парных сравнений посредством алгоритма МАИ вычислены относительные приоритеты по каждому критерию для трех объектов исследования – выпускников вуза. С использованием ТНМ определено их преимущество в соответствии с уровнем творческого потенциала. Отмечено, что при решении многокритериальных задач пренебрежение кажущейся незначительной неравносильностью критериев может привести к неопределенному результату. Показано, что для устранения такой неопределенности необходимо учитывать даже самое незначительное различие важности критериев.

Благодаря своей простоте рассмотренный алгоритм многокритериального ранжирования может без существенных затруднений использоваться для решения разнообразных задач выбора лучшего варианта, встающих перед работниками образования в учебном процессе.

Ключевые слова: творческий потенциал, экспертные оценки, анализ иерархий, нечеткие множества, функция принадлежности

Ссылка для цитирования:

Апатова Н. В., Гапонов А. И. Ранжирование студентов в соответствии с уровнем творческого потенциала на основе метода анализа иерархий и теории нечетких множеств // Перспективы науки и образования. 2019. № 4 (40). С. 484-496. doi: 10.32744/pse.2019.4.37

N. V. APATOVA, A. I. GAPONOV

Ranking of students in accordance with the level of creative potential based on the method of the hierarchy analysis method and the fuzzy sets theory

The task of higher education is to provide students with fundamental knowledge and relevant professional skills. No less important, if not the main, is the task of forming a creative personality and providing a high level of creative potential of the student.

The aims of the proposed work are to determine the importance of the criteria of creative potential of the individual using the statistical data and to calculate the relative assessment of the level of creative potential of several individuals.

This work used the method of expert estimates, elements of correlation analysis, the Hierarchy Analysis Method (HAM) and the Fuzzy Sets Theory (FST).

On the basis of expert assessments established: what is the opinion of experts the importance of criteria of creative potential; the lack of correlation between them; the homogeneity of the set of criteria values, with the exception of one, what allows to consider their arithmetic mean values as an adequate estimate of random variables corresponding to the criteria under consideration. As a result of quality pairwise comparisons through the HAM algorithm the relative priorities are computed for each criterion for the three research objects which are the graduates of higher education institution. With the use of FST, their advantage was determined in accordance with the level of creative potential. It is noted that in solving multicriteria problems, neglecting the seemingly insignificant of the criteria nonequilibrium can lead to an uncertain result. It is shown that to eliminate such uncertainty it is necessary to take into account even the smallest difference in the criteria importance.

Due to its simplicity, the considered multi-criteria ranking algorithm can be used without significant difficulty to solve various problems of choosing the best option faced by educators in the educational process.

Key words: creative potential, expert assessments, hierarchy analysis, fuzzy sets, membership function

For Reference:

Apatova, N. V., & Gaponov, A. I. (2019). Ranking of students in accordance with the level of creative potential based on the method of the hierarchy analysis method and the fuzzy sets theory. *Perspektivy nauki i obrazovaniya – Perspectives of Science and Education*, 40 (4), 484-496. doi: 10.32744/pse.2019.4.37

Введение

В качестве основы своей работы авторами использовались известные подходы в оценке творческого потенциала личности. Категории «творчество», «креативность», их психологическая структура, технологии диагностики, методы развития глубоко проанализированы как с точки зрения современных научных концепций, так и в ретроспективном аспекте в монографиях [1-3], авторитет авторов которых не вызывает сомнения. Неоспоримо, что образование должно быть направлено на формирования творческих способностей обучающихся в высшей школе. При этом не менее актуальной является и проблема диагностики творческого потенциала. Однако не только возможность его численной оценки, но и вопросы ранжирования в соответствии с уровнем творческого потенциала остаются открытыми.

Авторы предприняли попытку относительной оценки творческого потенциала трех сравниваемых субъектов на основании критериев, сформулированных одним из основателей психологии творчества американским психологом профессором Дж. Гилфордом [4]. Из 16 первоначально сформулированных им критериев, впоследствии были выделены 6 критериев творчества (креативности) [5]:

1. Способность к обнаружению и постановке проблем (k_1).
2. Способность к генерированию большого количества идей (k_2).
3. Способность к продуцированию разнообразных идей (k_3).
4. Способность продуцировать отдаленные ассоциации, необычные ответы, нестандартные решения (k_4).
5. Способность решать нестандартные проблемы – увидеть в объекте новые признаки, найти новое использование (k_5).
6. Способность усовершенствовать объект, добавляя детали (k_6).

Рассмотрим следующую модель. Пусть есть условный профессор – лицо, принимающее решение (ЛПР). К нему в аспирантуру поступают три выпускника (претендента), которым он читал лекции, вел практические занятия, принимал зачеты и экзамены. Поэтому профессор адекватно может оценить превосходство по каждому из критериев между претендентами. Все они на вступительных экзаменах получили одинаковые оценки. Но место только одно. Кого профессору выбрать? Для этого он решает оценить творческий потенциал каждого претендента. Однако вызывает затруднение даже качественная их оценка по отдельным критериям. Но при этом легко определяется относительная качественная оценка для двух претендентов, что представляет собой парные сравнения по каждому критерию. Такие сравнения, например, могут представлять собой высказывания следующего вида: «Претендент P_1 не имеет преимущества над претендентом P_2 по критерию k_1 »; «Претендент P_3 имеет слабое преимущество над претендентом P_1 по критерию k_2 »; «Претендент P_2 имеет очень сильное преимущество над претендентом P_2 по критерию k_3 » и т.п. Чтобы на основании высказываний подобного рода установить, у какого из претендентов максимальный творческий потенциал, предлагается использовать алгоритм метода анализа иерархий (МАИ) совместно с элементами теории нечетких множеств (ТНМ).

Ответ на поставленный вопрос представляет собой, как может показаться, несколько надуманную, но, в определенном смысле «штучную» задачу, что, на наш взгляд, оправдывает применение не совсем привычного математического аппарата.

Анализ источников

Принципы, психологии творчества, сформулированные Дж. Гилфордом в середине прошлого века, не теряют своей актуальности, и в настоящее время введенная им категория «креативность» рассматривается как системное понятие, значимыми составляющими которого являются мотивы, цели, ценностные ориентации, знания, умения, навыки, проявляющиеся в образовательной деятельности [6]. Исходя из понятия креативности, анализируются педагогические условия, способствующие процессу становления креативной личности [7]; рассматриваются актуальные подходы в исследовании творческого потенциала формирующейся личности [8]. Базируясь на этом понятии, исследуется трехмерная модель креативного пространства, отражающая сложность творчества и условия его успешного внедрения в образовательную среду [9]. Вопросам формирования творческих способностей обучаемых в высшей школе посвящен ряд научных публикаций. Отмечается, что профессиональная квалификация выпускников как гуманитарных [10; 11], так и инженерно-технических специальностей [12; 13] далеко не определяется лишь наличием определенного объема специальных и общенаучных знаний. Необходимость адаптации к конкретным условиям трудовой деятельности молодого специалиста требует от него, нетрадиционного творческого применения полученных знаний, использования оригинального, нестандартного мышления. Методики формирования творческих способностей включают в себя, например, тренинговые технологии [10], проектный метод [14], акмеологический подход [12], использование специализированных компьютерных технологий [15]. Не менее важной является задача определения уровня творческого потенциала [16; 17]. Для его оценки, например, предлагаются следующие методы:

1. IT-технологии [18].
2. Статистические методы – анализ анкетирования обучаемых, сопоставление результатов анкетирования с соответствующими оценками преподавателей [19].
3. Анализ решения эвристических задач на основе эмоционально-ценностных показателей [20].
4. Анализ социо-игровой деятельности обучаемых [21].
5. Оценка семантических измерений на основе элементов теории графов и статистического анализа [22].
6. Метод тестирования Торренса, основанного на оценке следующих критериев [23]:
 - способность к продуцированию большого количества идей;
 - способность выдвигать идеи, отличающиеся от общепринятых;
 - способность развивать, совершенствовать существующие идеи;
 - способность дать название объекту, позволяющее отразить его суть или связанную с ним историю;
 - способность представить законченной незавершенную картину.
7. Применение нечеткой логики [24].

Проведенный анализ доступных источников, однако, не позволил обнаружить работ, посвященных математически обоснованному методу ранжирования субъектов исследования в соответствии с уровнем их творческого потенциала. Для решения этой задачи было бы оправданно применение алгоритма теории нечетких множеств, который использовался авторами в работах [25; 26] для прогнозирования успеваемости студентов и оценки освоения одной из тем «Высшей математики для экономистов».

Материалы и методы

В проведенном исследовании с целью определения важности критериев творческого потенциала был выполнен опрос среди профессорско-преподавательского состава Института экономики и управления Крымского федерального университета. А именно: в качестве экспертов были выбраны высокопрофессиональные специалисты, имеющие стаж преподавательской работы не менее пятнадцати лет, которым было предложено определить по пятибалльной шкале важность указанных критериев в соответствии с анкетой, приведенной в таблице 1.

Таблица 1

Оценка важности критериев творческого потенциала

№	Критерий	Оценка
1	Способность к обнаружению и постановке проблем.	
2	Способность к генерированию большого количества идей.	
3	Способность к продуцированию разнообразных идей.	
4	Способность продуцировать отдаленные ассоциации, необычные ответы, нестандартные решения.	
5	Способность решать нестандартные проблемы – увидеть в объекте новые признаки, найти новое использование.	
6	Способность усовершенствовать объект, добавляя детали.	

Статистические данные, полученные в результате анкетирования, позволили про ранжировать критерии по степени их важности. На основании математических методов анализа статистических результатов рассмотрена возможность корреляционной связи между случайными величинами – значениями важности критериев, указанными участниками анкетирования. Установлены обоснованность использования среднего значения рассмотренных случайных величин, а также исключение из дальнейшего анализа одного из критериев.

При помощи элементов матричного анализа определены собственные значения и собственные векторы матриц парных сравнений, составленных на основании высказываний ЛПР используемые в алгоритме МАИ.

На основании полученных результатов в соответствии с ТНМ определена интегральная оценка творческого потенциала субъектов исследования как для равновесных (имеющих одинаковую важность), так и для неравновесных критериев.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты статистического анализа ответов пятидесяти респондентов приведены в таблице 2.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Корреляционная зависимость между критериями не существенна, т.е. взаимосвязью между ними можно пренебречь.

2. Величина коэффициента вариации, характеризующего разброс значений случайной величины относительно ее среднего арифметического, для всех критериев, кроме

критерия k_6 , меньше 33%, следовательно, совокупность их значений можно считать однородной. Соответственно, среднее арифметическое адекватно характеризует значение случайной величины.

3. Значение коэффициента вариации критерия k_6 превышает 33%, кроме того среднее значение его оценки самое низкое. Таким образом, есть основания исключить его из рассмотрения.

Таблица 2

Статистические результаты анкетирования

Критерий	Среднее значение оценки критерия	Среднее квадратическое отклонение / Коэффициент вариации (%)	Коэффициент корреляции	
			Критерии i – j	Значение
k_6	4,24	1,05/25	1 – 2	0,33
			1 – 3	0,16
			1 – 4	-0,15
			1 – 5	0,18
			1 – 6	0,24
k_6	3,7	1,00/27	2 – 3	0,50
			2 – 4	0,54
			2 – 5	0,20
			2 – 6	0,18
k_6	3,94	1,05/27	3 – 4	0,22
			3 – 5	0,18
			3 – 6	0,37
k_6	4,1	1,06/26	4 – 5	0,21
			4 – 6	0,42
k_6	4,4	1,17/27	5 – 6	0,26
k_6	3,54	1,31/37		

Исходя из приведенных выводов, в дальнейшем ограничимся пятью критериями и в соответствии с данными таблицы 1 получим их нормированные $\left(\sum_{l=1}^5 w_l = 1\right)$ значения

$$w_1 = 0,21; w_2 = 0,18; w_3 = 0,19; w_4 = 0,20; w_5 = 0,22.$$

Отсюда можно было бы предположить, что эти критерии равнозначны – относительное отклонение от среднего значения не превышает десяти процентов. Однако ниже будет показано, какую роль играет даже практически пренебрежимо малое преимущество между ними.

Далее воспользуемся предложенным в работе [27] упрощенным, но достаточно эффективным алгоритмом многокритериального анализа, основанным на совместном использовании принципа оценок вариантов Белмана-Заде [28] и метода парных сравнений Саати [29].

Применение МАИ основано на оценке относительного преимущества сравниваемых объектов по рассматриваемым критериям в виде матрицы парных сравнений. Согласно этому алгоритму на первом этапе выполняются парные сравнения для трех претендентов Π_1, Π_2, Π_3 по всем критериям. Сравниваются критерии по девятибалльной шкале в соответствии с таблицей 2 [29], и результаты записываются в виде матриц парных сравнений

$$A_k = \begin{pmatrix} a_{11}^k & a_{12}^k & a_{13}^k \\ a_{21}^k & a_{22}^k & a_{23}^k \\ a_{31}^k & a_{32}^k & a_{33}^k \end{pmatrix}.$$

Элементы a_{ij}^k отражают преимущество претендента i над претендентом j по критерию k ($k = 1, 2, 3, 4, 5$). Матрицы A_k (матрицы приоритетов) являются обратносимметричными и согласованными, т.е.

$$a_{ij}^k = \frac{1}{a_{ji}^k}; \quad a_{ij}^k = a_{il}^k a_{lj}^k; \quad a_{ii}^k = 1.$$

Значения компонент собственных векторов, соответствующих максимальному собственному значению матриц приоритетов $\lambda_{\max}$, определяют согласно МАИ относительный уровень претендентов по критерию k . Для указанных матриц в нашем случае $\lambda_{\max} = 3$. В соответствии со свойствами (2) матричных элементов нетрудно убедиться, что компоненты собственных векторов $\mu^k(P_i)$ ($i = 1, 2, 3$) равны

$$\mu^k(P_1) = \frac{1}{1 + a_{21}^k + a_{31}^k}, \quad \mu^k(P_2) = \frac{1}{1 + a_{12}^k + a_{32}^k}, \quad \mu^k(P_3) = \frac{1}{1 + a_{13}^k + a_{23}^k}.$$

Таким образом, числа $\mu^k(P_i)$, имеющие значения от 0 до 1 можно рассматривать в качестве характеристики уровня творческого критерия k претендента P_i . В свою очередь, числа $\mu^k(P_i)$ полагаются равными значениям так называемой функции принадлежности, являющейся одним из основных понятий ТНМ [28] и показывающей, в какой степени рассматриваемый объект обладает тем или иным свойством. Если значение функции принадлежности равно 0, то объект данным свойством не обладает; 1 – обладает им в максимально возможной степени; 0,2 – «этого свойства не то, чтобы совсем нет, но немного присутствует»; 0,8 – «обладает свойством в большой степени, но не в полной мере» и т.д. Согласно ТНМ значение функции принадлежности в нашей задаче показывает, насколько рассматриваемое значение критерия k соответствует определяющему его понятию (например, «Способность к обнаружению и постановке проблем»). При этом, чем больше числа $\mu^k(P_i)$, тем выше оценка по критерию k .

Шкала парных сравнений, в соответствии с которой ЛПР оценивает преимущество претендентов по рассматриваемым критериям, представлена в таблице 3.

Таблица 3

Шкала парных сравнений

Степень преимущества	Определение
1	Отсутствует преимущество P_1 над P_2
2	Слабое преимущество P_1 над P_2
3	Среднее преимущество P_1 над P_2
4	Преимущество P_1 над P_2 выше среднего
5	Умеренно сильное преимущество P_1 над P_2
6	Сильное преимущество P_1 над P_2
7	Очень сильное преимущество P_1 над P_2
8	Почти абсолютное преимущество P_1 над P_2
9	Абсолютное преимущество P_1 над P_2
Обратные значения степени преимущества	Если преимущество P_1 над P_2 имеет одно из приведенных значений, то оценка преимущества P_2 над P_1 будет иметь обратное значение. Например, если по критерию k P_1 в 5 раз превосходит P_2 , т.е., если $a_{12}^k = 5$, то $a_{21}^k = 1/5$.

Высказывания профессора (ЛПР) относительно парных сравнений критериев, определяющих уровень творческого потенциала претендентов, приведены в таблице 4.

Таблица 4

Парные сравнения критериев, соответствующие высказываниям ЛПР

Критерий	Парные сравнения
k_1	Слабое преимущество Π_1 над Π_2 . Преимущество Π_3 над Π_1 выше среднего.
k_2	Умеренно сильное преимущество Π_1 над Π_2 . Среднее преимущество Π_1 над Π_3 .
k_3	Отсутствует преимущество Π_1 над Π_3 . Очень сильное преимущество Π_2 над Π_3 .
k_4	Сильное преимущество Π_1 над Π_3 . Слабое преимущество Π_2 над Π_3 .
k_5	Сильное преимущество Π_3 над Π_2 . Абсолютное преимущество Π_1 над Π_2 .

Этим высказываниям соответствуют следующие матрицы парных сравнений, удовлетворяющие условиям (2):

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1/4 \\ 1/2 & 1 & 1/8 \\ 4 & 8 & 1 \end{pmatrix}; A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 3/5 \\ 1/3 & 5/3 & 1 \end{pmatrix}; A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1/7 & 1 \\ 7 & 1 & 7 \\ 1 & 1/7 & 1 \end{pmatrix}; A_4 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 6 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/6 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}; A_5 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 9/6 \\ 1/9 & 1 & 1/6 \\ 6/9 & 6 & 1 \end{pmatrix}.$$

Выделенные элементы соответствуют высказываниям ЛПР, приведенным в таблице 3, остальные получены согласно свойствам (2).

На основании полученных матриц и формул (3) представим критерии k в виде нечетких множеств

$$\begin{aligned} \tilde{c}_k &= \left\{ \frac{\mu^k(\Pi_1)}{\Pi_1}, \frac{\mu^k(\Pi_2)}{\Pi_2}, \frac{\mu^k(\Pi_3)}{\Pi_3} \right\}. \\ \tilde{c}_1 &= \left\{ \frac{0,18}{\Pi_1}, \frac{0,09}{\Pi_2}, \frac{0,73}{\Pi_3} \right\}, \tilde{c}_2 = \left\{ \frac{0,65}{\Pi_1}, \frac{0,13}{\Pi_2}, \frac{0,22}{\Pi_3} \right\}, \tilde{c}_3 = \left\{ \frac{0,11}{\Pi_1}, \frac{0,78}{\Pi_2}, \frac{0,11}{\Pi_3} \right\}, \\ \tilde{c}_4 &= \left\{ \frac{0,67}{\Pi_1}, \frac{0,22}{\Pi_2}, \frac{0,11}{\Pi_3} \right\}, \tilde{c}_5 = \left\{ \frac{0,56}{\Pi_1}, \frac{0,06}{\Pi_2}, \frac{0,38}{\Pi_3} \right\}. \end{aligned} \quad (4)$$

На следующем этапе для интегральной итоговой оценки уровня творческого потенциала претендентов, руководствуемся принципом Беллмана-Заде, согласно которому решением $\tilde{C}$ является результат, у которого минимальное значение критериев (значения функции принадлежности) всей группы критериев максимально среди всех минимальных значений рассматриваемых вариантов:

$$\begin{aligned} \tilde{C} &= \max \left\{ \frac{\min(0,18; 0,65; 0,11; 0,67; 0,56)}{\Pi_1}, \frac{\min(0,09; 0,13; 0,78; 0,22; 0,06)}{\Pi_2}, \frac{\min(0,73; 0,22; 0,11; 0,11; 0,37)}{\Pi_3} \right\} = \\ &= \max \left\{ \frac{0,11}{\Pi_1}, \frac{0,06}{\Pi_2}, \frac{0,11}{\Pi_3} \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Это выражение показывает, что в случае равновесных критериев неопределенность выбора сохранилась. А именно: между претендентами Π_1 и Π_3 отсутствует преимущество.

Для неравновесных критериев значения функций принадлежности $\mu^k(\Pi_j)$ необходимо возвести в степень, равную нормированным значениям соответствующих критериев [27]. Используя соотношения (1) и (4), получим:

$$\begin{aligned}\tilde{c}_1 &= \left\{ \frac{0,18^{0,21}}{\Pi_1}, \frac{0,09^{0,21}}{\Pi_2}, \frac{0,73^{0,21}}{\Pi_3} \right\} = \left\{ \frac{0,70}{\Pi_1}, \frac{0,60}{\Pi_2}, \frac{0,94}{\Pi_3} \right\}, \\ \tilde{c}_2 &= \left\{ \frac{0,65^{0,18}}{\Pi_1}, \frac{0,13^{0,18}}{\Pi_2}, \frac{0,22^{0,18}}{\Pi_3} \right\} = \left\{ \frac{0,92}{\Pi_1}, \frac{0,69}{\Pi_2}, \frac{0,76}{\Pi_3} \right\}, \\ \tilde{c}_3 &= \left\{ \frac{0,11^{0,19}}{\Pi_1}, \frac{0,78^{0,19}}{\Pi_2}, \frac{0,11^{0,19}}{\Pi_3} \right\} = \left\{ \frac{0,66}{\Pi_1}, \frac{0,95}{\Pi_2}, \frac{0,66}{\Pi_3} \right\}, \\ \tilde{c}_4 &= \left\{ \frac{0,67^{0,20}}{\Pi_1}, \frac{0,22^{0,20}}{\Pi_2}, \frac{0,11^{0,20}}{\Pi_3} \right\} = \left\{ \frac{0,92}{\Pi_1}, \frac{0,74}{\Pi_2}, \frac{0,64}{\Pi_3} \right\}, \\ \tilde{c}_5 &= \left\{ \frac{0,56^{0,22}}{\Pi_1}, \frac{0,06^{0,22}}{\Pi_2}, \frac{0,38^{0,22}}{\Pi_3} \right\} = \left\{ \frac{0,88}{\Pi_1}, \frac{0,54}{\Pi_2}, \frac{0,81}{\Pi_3} \right\}. \\ \tilde{C} &= \max \left\{ \frac{0,66}{\Pi_1}, \frac{0,54}{\Pi_2}, \frac{0,64}{\Pi_3} \right\}.\end{aligned}$$

Из последнего выражения следует, что претендент Π_1 обладает максимальным творческим потенциалом, что и является основанием для окончательного выбора ЛПР.

Заключение

Авторы отдают себе отчет, что в результате проведенной работы отнюдь не решена проблема определения важности критериев творческого потенциала. На основании опроса, проведенного среди профессорско-преподавательского состава Института экономики и управления Крымского федерального университета проранжированы критерии творческого потенциала относительно их важности **исключительно** с точки зрения анкетированных.

Показано, что использование алгоритмов МАИ и ТНМ позволяет получить численные оценки относительных значений уровня творческого потенциала сравниваемых субъектов. Более того, рассмотренная техника дает возможность проранжировать объекты исследования, даже если затруднена их качественная оценка по заданным критериям, а возможна лишь их попарная сравнительная оценка.

Полученные результаты также демонстрируют, что формальное использование шкалы парных сравнений (см. табл. 2) для оценки экспериментальных результатов (см. табл. 1) не всегда позволяет найти преимущество между объектами исследования. Так, в соответствии с этой шкалой и значениями (1), следует считать, что между критериями отсутствует преимущество, что приводит к неопределенности (5). Следовательно, при использовании алгоритмов МАИ и ТНМ для решения многокритериальных задач, в которых экспертные оценки хотя бы некоторых отношений численных показателей важности критериев близки к единице, не всегда допустимо пренебрежение их различием, каким бы незначительным оно ни казалось.

Рассмотренный алгоритм многокритериального анализа после незначительных изменений может применяться для решения разнообразных задач ранжирования, возникающих в процессе обучения. Ввиду своей простоты он вполне доступен работникам образования, не обладающим специальными математическими знаниями.

Благодарности

Авторы выражают признательность сотрудникам Института экономики и управления, участвовавшим в статистическом исследовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богоявленская Д. Б. Психология творческих способностей: монография. Самара: Издательский дом «Федоров», 2009. 416 с.
2. Ильин Е. П. Психология творчества, креативности, одаренности. Санкт-Петербург: Питер, 2009. 444 с.
3. Барышева Т. А. Креативность. Диагностика и развитие: монография. Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена, 2002. 205 с.
4. Богоявленская Д. Б., Сусоколова И.А. Психометрическая интерпретация творчества. Научный вклад Дж. Гилфорда. Москва: МГППУ, 2011. 265 с.
5. Савенков А. И. Основные подходы к диагностике креативности // Наука и школа. 2014. № 4. С. 117-127 [Электрон. ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-podhody-k-dagnostike-kreativnosti> (дата обращения: 27.03.2019)
6. Рындак В.Г. Эволюция понятия "креативность": философский и психолого-педагогический аспекты // Понятийный аппарат педагогики и образования: коллективная монография. Ответственные редакторы Е.В. Ткаченко, М.А. Галагузова. Екатеринбург, 2016. С. 110-120.
7. Берикбаева Л.М., Савелова И.Б. Педагогические условия становления креативной личности // В сборнике: VI Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: Материалы международной научной конференции. 2018. С. 81-85
8. Исаханов М.Ю., Сидоренко И.В. Творческий потенциал формирующейся личности как феномен, актуальный для познания и развития молодыми учеными // Человеческий капитал. 2016. № 12 (96). С. 40-43.
9. White I. The development of a model of creative space and its potential for transfer from non-formal to formal education // International Review of Education. 2016, № 62, (6). P. 771-790.
10. Курникова Т.А., Потапова Р.П., Черниенко Ю.А. Возможности тренинговых технологий в формировании творческих способностей обучающегося в вузе // Мир науки, культуры, образования. 2016. № 6 (61). С. 213-215.
11. Федулова К.А., Маракулина У.Е., Щепина Т.А. Развитие творческих способностей студентов профессионально-педагогического вуза при формировании информационных компетенций // В сборнике: Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании: Материалы 22-й Международной науч.-но-практической конференции. 2017. С. 281-283.
12. Михайлова А.Г. Акмеологический подход к формированию профессионально-творческих способностей будущих инженеров в контексте современных требований. // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. 2015. № 4 (34). С. 149-153 [Электрон. ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/akmeologicheskij-podhod-k-formirovaniyu-professionalno-tvorcheskih-sposobnostey-buduschih-inzhenerov> (дата обращения: 27.03.2019)
13. Прахова М.Ю., Исакова Г.И., Хорошавина Е.А., Ахметова И.Б. Развитие творческих способностей студентов в инженерном образовании // Проблемы современного педагогического образования. 2016. № 51-7. С. 131-140.
14. Горбунова Н.Ю. Формирование творческих способностей студентов при изучении темы "определенный интеграл" // Математический вестник педвузов и университетов Волго-Вятского региона. 2016. № 18. С. 146-153.
15. Савелов Н.И. Развитие творческого мышления студентов с использованием специализированного программного обеспечения // Креативная педагогика и педагогический поиск: Материалы Международной научно-практической конференции, 29 марта 2017 г. Чебоксары: Негосударственное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования "Экспертно-методический центр", 2017. С. 95-97 [Электрон. ресурс]. URL: <https://emc21.ru/wp-content/uploads/2017/03/Statya-Savelov.pdf> (дата обращения: 27.03.2019)

16. Боровкова Т.И. Выявление и оценивание творческого потенциала студентов и выпускников магистратуры // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12-1. С. 63-65 [Электрон. ресурс]. URL: <https://top-technologies.ru/pdf/2015/12-1/35208.pdf> (дата обращения: 27.03.2019)
17. Savic M., Karakok G., Tang G., El Turkey H., Naccarato E. Formative Assessment of Creativity in Undergraduate Mathematics: Using a Creativity-in-Progress Rubric (CPR) on Proving // 2017, Creativity and Giftedness. Advances in Mathematics Education. / ed. by Leikin R., Sriraman B. P. 23-46
18. Комаров Р.В., Смирнова Д.С. Ит-инструментарий диагностики творческой одаренности: проблемы разработки и пути их решения // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. 2016. № 4 (38). С. 70-80 [Электрон. ресурс]. URL: https://www.mgpu.ru/uploads/adv_documents/2742/1485851464-VestnikInformatika42016.Pdf (дата обращения: 27.03.2019)
19. Кислякова Л.П., Зобнина Т.В. Исследование взаимосвязи способности к саморегуляции деятельности и мотивации достижений, силы воли, творческого потенциала личности студентов – будущих педагогов // СИСП. 2017. №8. С. 99-111 [Электрон. ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vzaimosvyazi-sposobnosti-k-samoregulyatsii-deyatelnosti-i-motivatsii-dostizheniy-sily-voli-tvorcheskogo-potentsiala> (дата обращения: 27.03.2019)
20. Мартыновская С.Н., Долматов С.Н., Сухенко Н.В. Исследование критериальных характеристик творческого потенциала студентов технических вузов // Эпоха науки. 2018. № 15. С. 201-204 [Электрон. ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-kriterialnyh-harakteristik-tvorcheskogo-potentsiala-studentov-tehnicheskikh-vuzov> (дата обращения: 27.03.2019)
21. Власова Ю.А., Ветошкин С.А. Творческий потенциал социоигровой деятельности при формировании креативности студентов организаций среднего профессионального образования // Научный диалог. 2017, № 3, С. 229-242 [Электрон. ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tvorcheskiy-potentsial-sotsioigrovoy-deyatelnosti-pri-formirovanii-kreativnosti-studentov-organizatsiy-srednego-professionalnogo> (дата обращения: 27.03.2019)
22. Georgiev V., Georgiev D. Enhancing user creativity: Semantic measures for idea generation // Knowledge-Based Systems. 2018, № 151. P. 1-15 [Электрон. ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.03.016> (дата обращения: 27.03.2019)
23. Cardoso A., Malheiro R., Rodrigues P., Felizardo S., Lopes A. Assessment and creativity stimulus in school context // Social and Behavioral Sciences. 2015, № 171. P. 864 – 873 [Электрон. ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.202> (дата обращения: 27.03.2019)
24. Chuang T.-Y., Liu E. Z.-F., Shiu W.-Y. Game-based creativity assessment system: the application of fuzzy theory // Multimedia Tools and Applications. 2015, № 74, (21). P. 9141-9155.
25. Апатова Н.В., Гапонов А.И., Майорова А.Н. Прогнозирование успеваемости студентов на основе нечеткой логики // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 4. С. 7-11 [Электрон. ресурс]. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36630>
26. Апатова Н.В., Гапонов А.И. Оценка освоения темы "матрица" при изучении дисциплины "математика для экономистов" с использованием теории нечетких множеств // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 59-1. С. 47-56 [Электрон. ресурс]. URL: <http://science.cfuv.ru/wp-content/uploads/2018/06/59-1-2018.pdf>
27. Ротштейн А. П. Штовба С.Д. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 3. С. 150–154.
28. Беллман Р., Заде Д. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976, С. 172-215.
29. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: «Радио и связь», 1993. 278 с.

REFERENCES

1. Bogoyavlenskaya D.B. *Psikhologiya tvorcheskikh sposobnostey* [Psychology of creativity]. Samara, Publishing house «Fedorov»; 2009. 416 p. (In Russ.)
2. Il'in E. P. *Psikhologiya tvorchestva, kreativnosti, odarennosti* [Psychology of creativity, creativity, giftedness]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2009. 444 p. (In Russ.)
3. Barysheva T. A. Kreativnost'. *Diagnostika i razvitie* [Creativity. Diagnosis and development]. Saint-Petersburg, The Herzen State Pedagogical University of Russia, 2002. 205 p. (In Russ.)
4. Bogoyavlenskaya D.B., Susokolova I.A. *Psikhometricheskaya interpretatsiya tvorchestva. Nauchnyy vklad J. Gilforda* [Psychometric interpretation of creativity. J. Guilford's scientific contribution]. Moscow, Moscow State University of Psychology & Education, 2011. 265 p. (In Russ.)
5. Savenkov A.I. The main approaches to the diagnosis of creativity. *Nauka i shkola = Science and School*. 2014 [cited 2019 Mar 27]; 4: 117-127. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-podhody-k-diyagnostike-kreativnosti> (In Russ.)
6. Ryndak V.G. *Evolutsiya ponyatiya «kreativnoct»: filosofskij i psihologo-pedagogicheskij aspekty* [Evolution of

- the «creativity» concept: philosophical, psychological and pedagogical aspects]. *Ponyatijnyj apparat pedagogiki i obrazovaniya* [Conceptual apparatus of pedagogy and education]. Under the editorship of E.V.Tkachenko, V.A.Galuzanova. Ekaterinburg, Ural State Pedagogical University, 2016. p. 110-120. (In Russ)
7. Berbikaeva L.M., Savelova I.B. Pedagogical conditions of creative personality In: *VI Luzhskie nauchnye chteniya. Sovremennoe nauchnoe znanie: teoriya i praktika: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. [VI Luzhskie scientific readings. Modern scientific knowledge: theory and practice: Collection of Materials of the International Scientific Conference], 2018 Mar 28, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: A. S. Pushkin Leningrad state University, 2018. p.81-85. (In Russ.)
 8. Iskhanov M. Y., Sidorenko I. V. The creative potential of the emerging personality as a phenomenon relevant to the learning and development of young scientists. *Chelovecheskij kapital – Human capital*, 2016, 12 (96), 40-43 (In Russ.)
 9. White I. The development of a model of creative space and its potential for transfer from non-formal to formal education. *International Review of Education*, 2016, 62 (6), 771-790.
 10. Kurnikova T.A., Potapova R.P., Chernienko Yu.A. Training technologies in formation of creative abilities of students. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya = The world of science, culture and education*. 2016, 6 (61), 213-215. (In Russ)
 11. Fedulova K.A., Marakulina U. E., Shchepina T. A. Development of creative abilities of students of vocational pedagogical higher education in the formation of information competences. In: *Innovacii v professional'nom i professional'no-pedagogicheskom obrazovanii: Sbornik materialov 22-j Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Innovations in professional and vocational pedagogical education: Collection of Materials of the 22nd International Scientific-Practical Conference], 2017 Apr 18-20, Ekaterinburg, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education Russian State Vocational Pedagogical University, 2017. pp. 281-283. (In Russ.)
 12. Mikhailova A.G. Acmeological approach to the development of future engineers' professional and creative skills in the context of modern requirements. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.P.Astaf'eva – Bulletin of Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev*, 2015 [cited 2019 Mar 27]; 4 (34): 149-153. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/akmeologicheskij-podhod-k-formirovaniyu-professionalno-tvorcheskih-sposobnostey-buduschih-inzhenerov> (In Russ)
 13. Prakhova M.Y., Iskhakova G.I., Khoroshavina E.A., Akhmeyova I.B. Development of creative abilities of students in engineering education. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya – Problems of modern pedagogical education*, 2016, 51 (7), 131-140. (In Russ)
 14. Gorbunova N.Yu. Formation of creative abilities of students in the study of the theme "a certain integral". *Matematicheskij vestnik pedvuzov i universitetov Volgo-Vyatskogo regiona – Mathematical Bulletin of pedagogical universities and universities of the Volga-Vyatka region*. 2016, 18, 146-153. (In Russ)
 15. Savelov N.I. Development of creative thinking of students using specialized software In: *Kreativnaya pedagogika i pedagogicheskij poisk: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Creative pedagogy and pedagogical search: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference], 2017 Mar 29, Cheboksary. Cheboksary: Non-state educational institution of additional professional education "Expert-methodical center"; [Internet]; 2017. [cited 2019 Mar 27]. p. 95-97. Available from: <https://emc21.ru/wp-content/uploads/2017/03/Statya-Savelov.pdf> (In Russ)
 16. Borovkova T.I. Conceptual bases of identifying and estimating the creative potential of students and graduates of the judiciary. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii – Modern high technologies*, 2015. [cited 2019 Mar 27]; 12 (1): 63-65. Available from: <https://top-technologies.ru/pdf/2015/12-1/35208.pdf> (In Russ)
 17. Savic M., Karakok G., Tang G., El Turkey H., Naccarato E. Formative Assessment of Creativity in Undergraduate Mathematics: Using a Creativity-in-Progress Rubric (CPR) on Proving. In: *Leikin R., Sriraman B. (eds) Creativity and Giftedness. Advances in Mathematics Education*. Springer, Cham 2017; 23-46.
 18. Komarov R.V., Smirnova D.S. IT-Tools of Diagnostics of Creative Endowments: Development Problems and Ways of Solution of Them. *Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatika i informatizaciya obrazovaniya – Moscow City University Vestnik of Moscow City University. Series «Informatics and Informatization of Education»*, 2016 [cited 2019 Mar 27]; 4 (38): 70-80. Available from: https://www.mgpu.ru/uploads/adv_documents/2742/1485851464-VestnikInformatika42016.Pdf (In Russ)
 19. Kislyakova L.P., Zobnina T.V. A study of the relationship of the capacity for self-regulation of activity and of achievement motivation, willpower, creative potential of personality of students – future teachers. *Sovremennye issledovaniya social'nyh problem – Modern Research of Social Problems*, 2017 [cited 2019 Mar 27]; 8: 99-111. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vzaimosvyazi-sposobnosti-k-samoregulyatsii-deyatelnosti-i-motivatsii-dostizheniy-sily-voli-tvorcheskogo-potentsiala> (In Russ)
 20. Martynovskaya S.N. The study criterial characteristics of creative potential of students of technical universities. *Epoha nauki – The Era of Science*, 2018 [cited 2019 Mar 27]; 15: 201-204. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-kriterialnyh-harakteristik-tvorcheskogo-potentsiala-studentov-tehnicheskikh-vuzov> (In Russ)
 21. Vlasova Yu. A. Creative Potential of Sociography Activities in Creativity Formation in Students of Secondary Professional Education. *Nauchnyj dialog – Scientific Dialogue*, 2017 [cited 2019 Mar 27]; 3: 229-242. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/tvorcheskij-potentsial-sotsiograficheskoy-deyatelnosti-pri-formirovanii-kreativnosti>

- studentov-organizatsiy-srednego-professionalnogo (In Russ)
22. Georgiev V., Georgiev D. Enhancing user creativity: Semantic measures for idea generation [Internet]. *Knowledge-Based Systems*. 2018 [cited 2019 Mar 27]; 151: 1–15. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.03.016>
 23. Cardoso A., Malheiro R., Rodrigues P., Felizardo S., Lopes A. Assessment and creativity stimulus in school context [Internet]. *Social and Behavioral Sciences*, 2015 [cited 2019 Mar 27]; 171: 864 – 873. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.202>
 24. Chuang T.-Y., Liu E. Z.-F., Shiu W.-Y. Game-based creativity assessment system: the application of fuzzy theory. *Multimedia Tools and Applications*, 2015, 74 (21), 9141-9155.
 25. Apatova N.V., Gaponov A.I., Mayorova A.N. Prediction of student performance based on fuzzy logic. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii – Modern high technologies*, 2017, 4, 7-11. Available at: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36630> (In Russ.)
 26. Apatova N.V., Gaponov A.I. Assessment of the development of the theme “The matrix” in the study the discipline “Mathematics for economists” using the theory of fuzzy sets. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya – Problems of modern pedagogical education*, 2018, 59 (1), 47-56. Available from: <http://science.cfuv.ru/wp-content/uploads/2018/06/59-1-2018.pdf> (In Russ.)
 27. Rotshtein A.P., Shtovba S.D. Fuzzy multicriteria analysis of variants with the use of paired comparisons. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya – Izvestiya Akademii Nauk. Teoriya i Sistemy Upravleniya*, 2001, 3, 150–154. (In Russ)
 28. Bellman R., Zadeh D. Decision-making in fuzzy environment. In: *Voprosy analiza i procedury prinyatiya reshenij: Sbornik perevodov* [Questions of analysis and decision-making procedures: Collection of translations]. Moscow, Mir Publ., 1976. p. 240. (In Russ)
 29. Saati T. Decision making. Hierarchy analysis method. Moscow, Radio and Communication Publ., 1993. p. 278 (In Russ)

Информация об авторах

Апатова Наталья Владимировна

(Российская Федерация, Симферополь)

Профессор, доктор педагогических наук, доктор экономических наук, заведующая кафедрой «Бизнес-информатики и математического моделирования»

Институт экономики и управления Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского

E-mail: apatova@list.ru

ORCID ID: 0000-0003-4066-3821

Гапонов Андрей Иванович

(Российская Федерация, Симферополь)

Доцент, кандидат физико-математических наук, Доцент кафедры «Бизнес-информатики и математического моделирования»

Институт экономики и управления Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского

E-mail: bal8996@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-0127-9643

Information about the authors

Natalya V. Apatova

(Russian Federation, Simferopol)

Professor, Doctor of Pedagogical Sciences, Doctor of Economics, Head of the Department of Business Informatics and Mathematical Modeling

Institute of Economics and Management V.I. Vernadsky Crimean Federal University

E-mail: apatova@list.ru

ORCID ID: 0000-0003-4066-3821

Andrey I. Gaponov

(Russian Federation, Simferopol)

Associate Professor, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Business Informatics and Mathematical Modeling

Institute of Economics and Management V.I. Vernadsky Crimean Federal University

E-mail: bal8996@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-0127-9643