

# ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И ОТБОРА УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## INFORMATION SYSTEM OF ESTIMATION AND SELECTION OF EDUCATIONAL-METHODICAL MATERIALS

**N. Severin  
Y. Gusev  
I. Mikheev  
V. Radautsky  
S. Severin**

*Summary.* The article considers the procedure for evaluating and selecting the most effective educational, methodological, visual, information and other educational materials developed on the basis of the paired comparisons method. An algorithm for calculating the scale estimates of the compared materials is given, which allows them to be ranked according to the degree of efficiency. An information system has been developed to automate the process of comparing and evaluating materials.

*Keywords:* educational materials, the method of paired comparisons, scaling, assessment of educational material.

**Северин Николай Николаевич**

Д.п.н., профессор, Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина, г. Белгород  
severin-belui@yandex.ru

**Гусев Юрий Михайлович**

Преподаватель, Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина, г. Белгород

**Михеев Игорь Анатольевич**

Преподаватель, Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина, г. Белгород

**Радоуцкий Владимир Юрьевич**

К.т.н., профессор, Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина, г. Белгород

**Северин Сергей Николаевич**

Аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

*Аннотация.* В статье рассмотрена разработанная на основе метода парных сравнений процедура оценки и отбора наиболее эффективных учебно-методических, наглядных, информационных и других образовательных материалов. Приведен алгоритм вычисления шкальных оценок сравниваемых материалов, позволяющих ранжировать их по степени эффективности. Разработана информационная система для автоматизации процесса сравнения и оценки учебных материалов.

*Ключевые слова:* учебно-методические материалы, метод парных сравнений, шкалирование, оценка учебного материала.

## Введение

**В** образовательной деятельности часто возникает необходимость оценки и выбора лучшего в определенном смысле объекта из некоторой примерно однородной их совокупности. Такими объектами могут быть учебные материалы, методические разработки, проекты, представленные на конкурс работы. Все эти объекты не поддаются формализации и не допускают прямых простых расчетов. Поэтому для оценки и сравнения подобных объектов чаще всего применяются экспертные методы с использованием количественных шкал [6,7]. Одним из них является метод парных сравнений.

Рассмотрим в качестве примера применение этого метода для оценки и выбора учебных материалов. Метод парных сравнений позволяет измерить достоинства каждого материала, т.е. дать материалам определенные количественные оценки на основе которых ранжировать их по степени эффективности использования в образовательном процессе [8].

## Основная часть

Достоверность применения метода парных сравнений обусловлена тем, что результаты парных сравнений заслуживают большего доверия, чем простая ранжировка, т.к. попарно сравнить материалы гораздо легче. Так, экспертам предлагаются все возможные пары из  $n$  материалов (всего таких пар будет  $n(n-1)/2$ ), относительно которых они должны определяться, какой из них более значим.

Результаты парных сравнений материалов  $k$ -ым экспертом можно представить в виде матрицы  $D^k = (\delta_{ij})$ , элементы которой определяются следующим образом:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i > a_j \\ 0, & \text{если } a_i < a_j \end{cases} \quad (1)$$

Здесь выражение  $a_i > a_j$  означает, что материал  $a_i$  представляется более значимым, чем материал  $a_j$ .

Матрица должна удовлетворять условию транзитивности, согласно которому из условий  $a_i > a_j$  и  $a_j > a_k$  следует  $a_i > a_k$ . Кроме этого исходная матрица парных сравнений асимметрична, т.е. если  $\delta_{ij} = 1$ , то  $\delta_{ji} = 1$ .

Задачей метода парных сравнений является приписывание материалам чисел  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , которые выражают усредненное мнение экспертов о них. Исходные данные метода представляют собой совокупность полученных от экспертов матриц парных сравнений  $D^1, D^2, \dots, D^r$ , где  $r$  — число экспертов.

Считая выборку экспертов однородной, можно найти относительную частоту  $P(a_i > a_j)$  предпочтений  $i$ -го материала  $j$ -му, т.е. относительную частоту выполнения условия  $a_i > a_j$ :

$$P(a_i > a_j) = (p_{ij}) = \frac{\left( \sum_{k=1}^r \delta_{ij}^k \right)}{r} \quad (2)$$

Элементы матрицы относительных частот  $(p_{ij})$  обладают следующими свойствами:  $0 < p_{ij} < 1$ ,  $p_{ij} + p_{ji} = 1$ , диагональные элементы, соответствующие сравнению материалов самих с собой, не заполняются.

Процессы восприятия и оценки экспертами различных учебных материалов подвержены воздействиям случайных факторов, поэтому каждому материалу  $a_i$   $i = 1, n$  можно сопоставить распределенную по нормальному закону случайную величину  $\xi_i$ , характеризующую степень его значимости [9]. Математические ожидания этих гипотетически существующих случайных величин можно рассматривать в качестве оценок чисел  $v_i$ .

Закон сравнительного суждения Терстоуна утверждает: чем чаще материал  $a_i$  предпочитается материалу  $a_j$ , тем дальше отстоят друг от друга числовые характеристики  $v_i$  и  $v_j$  этих материалов [10]. Отсюда следует:

$$P(\xi_i > \xi_j) = P(\xi_{ij}) = p_{ij} \quad (3)$$

где  $\xi_{ij} = \xi_i - \xi_j$ .

Если величины  $\xi_i, \xi_j$  распределены по нормальному закону с параметрами  $m_i, \sigma_i$  и  $m_j, \sigma_j$ , то распределение величины  $\xi_{ij}$  также будет нормальным с параметрами  $m_{ij}$  и  $\sigma_{ij}$ . [11]:

$$f(\xi_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ij}} \exp\left(-\frac{\xi_{ij} - m_{ij}}{2\sigma_{ij}^2}\right) \quad (4)$$

Поэтому для вероятности выполнения условия  $\xi_{ij} > 0$  получим:

$$P(\xi_{ij} > 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ij}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{(\xi_{ij} - m_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}\right) d\xi_{ij} = \left| \frac{\xi_{ij} - m_{ij}}{\sigma_{ij}} = t \right|_{-\frac{m_{ij}}{\sigma_{ij}}}^{\infty} = 1 - \Phi\left(-\frac{m_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) = \Phi\left(\frac{m_{ij}}{\sigma_{ij}}\right), \quad (5)$$

где  $\Phi(z)$  — функция нормированного нормального распределения:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (6)$$

С учетом соотношения (5) уравнение (3) принимает вид:

$$\Phi\left(\frac{z_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) = p_{ij} \quad (7)$$

где

$$z_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sigma_{ij}} \quad (8)$$

Функцию  $\Phi(z)$  будем аппроксимировать полиномом:

$$\Phi(z) \approx 0.5 + 0.3974z + 0.0156z^2 - 0.1041z^3 + 0.0364z^4 + 0.0041z^5 + 0.00005z^6 \quad (9)$$

С помощью уравнения (7) можно осуществить переход от матрицы относительных частот  $(p_{ij})$  к матрице различий материалов  $(z_{ij})$ .

Параметры распределения величины  $\xi_{ij}$  выражаются через математические ожидания и дисперсии величин  $\xi_i$  и  $\xi_j$  следующим образом [10,11]:

$$\begin{aligned} m_{ij} &= m_i - m_j \\ \sigma_{ij} &= \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2r_{ij}\sigma_i\sigma_j} \end{aligned} \quad (10)$$

где  $r_{ij}$  — коэффициенты корреляции между  $\xi_i$  и  $\xi_j$ .

Предположим, что мнения каждого эксперта о различных материалах не зависят друг от друга, а мера уверенности в своем выборе, характеризуемая значениями  $\sigma_i$  у различных экспертов примерно одинакова. Тогда  $r_{ij} = 0$ ,  $\sigma_i = \sigma_j = \sigma$ , а  $\sigma_{ij} = \sqrt{2}\sigma$ . В этом случае из соотношения (8) вытекают уравнения для определения математических ожиданий:

$$m_i - m_j = z_{ij}\sqrt{2}\sigma \quad (11)$$

Принимая за единицу искомой шкалы число  $\sqrt{2}\sigma$ , перепишем соотношение (10) в виде:

$$m_i - m_j = z_{ij} \quad (12)$$

Соотношение (12) определяет систему  $n(n-1)/2$  линейных уравнений для  $n$  неизвестных  $m_1, m_2, \dots, m_n$ .

Поскольку число неизвестных меньше числа уравнений, то эта система переопределена. Уравнивать числа неизвестных и уравнений путем отбрасывания лишних уравнений нецелесообразно, т.к. при этом часть информации теряется. Более обоснованным подходом к решению системы уравнений является применение метода наименьших квадратов [8]. Согласно этому методу приближенное решение системы должно минимизировать сумму квадратов невязок, которые получаются при подстановке этого решения во все уравнения:

$$S = \sum_{ij} (m_i - m_j - z_{ij})^2 \rightarrow \min \quad (13)$$

Преобразуем систему (12) к стандартному виду:

$$A \cdot M = B, \quad (14)$$

$$\text{где } A = (a_{ij}), M = (m_1, m_2, \dots, m_n)^T, B = (z_{12}, \dots, z_{1n}, z_{23}, \dots, z_{2n}, \dots, z_{n-1,n})^T$$

Например, при  $n = 4$  система уравнений (14) записывается так:

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{12} \\ z_{13} \\ z_{14} \\ z_{23} \\ z_{24} \\ z_{34} \end{pmatrix}$$

Выражение (13) принимает вид:

$$S = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} m_j - b_i \right)^2 \rightarrow \min \quad (15)$$

Приравняв нулю частные производные функции  $S(m_1, m_2, \dots, m_n)$ , получим следующую систему уравнений:

$$\frac{\partial S}{\partial m_k} = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^n a_{ik} \cdot a_{ij} \cdot m_j \right) - \sum_{i=1}^n a_{ik} \cdot b_i = 0 \quad (16)$$

Из  $m$  уравнений (16) независимыми являются только  $m-1$  из них. То есть система уравнений недоопределена. Для ее решения одно из чисел  $m_i$  можно выбрать произвольно. Поэтому итерационная процедура находит решение, которое зависит от начального приближения, но порядок между числами  $m_1, m_2, \dots, m_n$  сохраняется.

Найденные таким образом шкальные оценки учебных материалов не являются их числовыми характеристиками, поскольку единичный отрезок шкалы, равный  $\sqrt{2}\sigma$  остается неизвестным, а начало отсчета может быть выбрано произвольно. Содержательный смысл имеет лишь структура интервалов между шкальными оценками, позволяющая сравнивать эффективность учебных материалов и ранжировать их по степени значимости [11,12].

Рассмотрим практический пример использования изложенного варианта метода парных сравнений для оценки учебных материалов, используемых в работе кафедры огневой подготовки БЮИ. Группа экспертов (преподавателей и курсантов) попарно сравнивает значимость и эффективность шести учебных фильмов по огневой подготовке. В результате обработки матриц парных сравнений получена следующая матрица относительных частот:

$$P = \begin{pmatrix} * & 0.58 & 0.70 & 0.84 & 0.92 & 0.98 \\ 0.42 & * & 0.52 & 0.66 & 0.84 & 0.90 \\ 0.30 & 0.48 & * & 0.52 & 0.64 & 0.86 \\ 0.16 & 0.34 & 0.48 & * & 0.56 & 0.68 \\ 0.08 & 0.16 & 0.36 & 0.44 & * & 0.56 \\ 0.02 & 0.1 & 0.14 & 0.32 & 0.44 & * \end{pmatrix} \quad (17)$$

В результате численного решения уравнения (7) получаем вектор  $B$ :

$$B = (0.2; 0.52; 0.99; 1.4; 2.02; 0.05; 0.41; 0.99; 1.28; 0.05; 0.36; 1.08; 0.15; 0.47; 0.15)^T$$

Система (15) принимает вид:

$$\begin{pmatrix} 5 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 5 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 5 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 5 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 5 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \\ m_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.15 \\ 2.54 \\ 0.91 \\ -0.84 \\ -2.76 \\ -5 \end{pmatrix} \quad (18)$$

При сложении уравнений (18) получаем тождество, поэтому система (18) недоопределена. Если систему решать итерационно, то вычисления сходятся без предварительной подготовки к следующему результату:

$$m = (0.86; 0.42; 0.15; -0.14; -0.46; -0.83)^T$$

Поскольку в полученном решении имеют значение только интервалы между оценками, то для наглядности можем перенести полученное решение в область положительных значений (рис. 1):

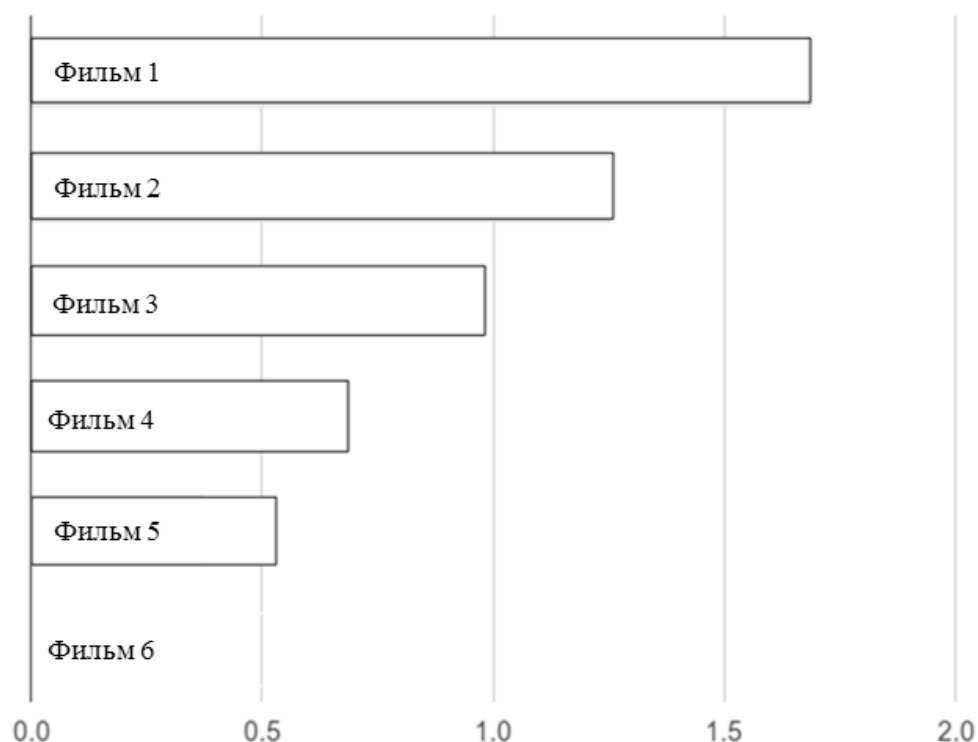


Рис. 1. Результаты ранжирования учебных материалов

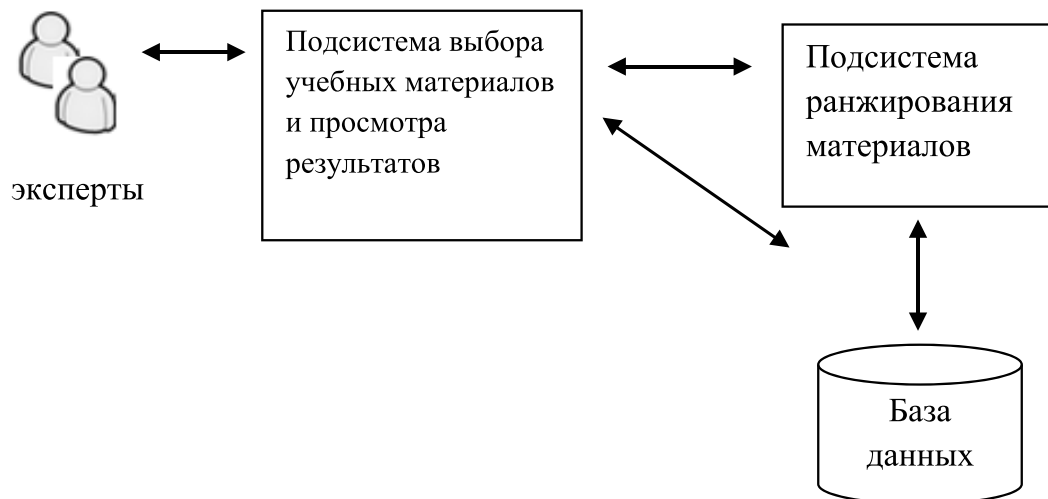


Рис. 2. Структурно-функциональная схема информационной системы

$$m = (1.69; 1.26; 0.99; 0.69; 0.37; 0.0)^T$$

Повысить достоверность оценки учебных материалов можно путем привлечения к их анализу широкого круга активных заинтересованных граждан, обладающих разнообразными знаниями и опытом. Организовать участие таких экспертов в оценке учебных материалов можно с использованием web-технологий.

На основе рассмотренного варианта метода парных сравнений разработана структура информационной системы (рис. 2).

Информационная система должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- ♦ Регистрация пользователей
- ♦ Добавление материалов в систему

- ♦ Просмотр существующих материалов
- ♦ Оценка материалов
- ♦ Вывод результатов оценки учебных материалов.

## Выводы

1. Метод парных сравнений является эффективным инструментом ранжирования объектов различной природы

(материалов, критериев, факторов, инноваций и др.), необходимым для определения приоритетов и обоснования организационно-управленческих решений.

2. Перспективным направлением повышения достоверности сравнительных оценок эффективности учебных материалов является использование результатов их практического применения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Курбатов В. И., Курбатова О. В. Социальное проектирование: учебное пособие. Ростов на Дону. Феникс, 2001. — 416 с.
2. Луков В. А. Социальное проектирование: учебное пособие. — М.: Изд-во Московского гуманитарного университета: Флинта, 2007. — 240с.
3. Минаев А. В. Критерии и методы оценки проектов социального предпринимательства. Труды МФТИ. 2011. Том 3. № 3. С. 153–158.
4. [www.nornik.com](http://www.nornik.com)
5. Ситников А. П. Методы оценки эффективности инвестиций в социально-экономические проекты. Вестник Самарского государственного экономического университета. 2010. № 3 (65). С. 89–94.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь. 1993. — 278 с.
7. Орлов А. И., Луценко Е. В. Системная нечеткая интервальная математика. — Краснодар, Изд-во КубГАУ, 2014. — 600 с.
8. Дэвид Г. Метод парных сравнений. — М.: Статистика. 1978. — 144 с.
9. Гусев А. Н., Уточкин И. С. Психологические измерения. — М.: Аспект Пресс, 2011. — 317 с.
10. Thurstone L. L. A law of comparative judgement. Psychol. Rev. 34. 1927. P 273–286.
11. Толстова Ю. Н. Измерение в социологии. — М.: КДУ. 2007. — 288 с.
12. Толстова Ю. Н. Новые информационные технологии как фактор повышения эффективности социологического исследования // Математическое моделирование социальных процессов. Сб. трудов. Вып. 17. — М.: Экономинформ. 2015. С. 210–228.

© Северин Николай Николаевич (severin-belui@yandex.ru), Гусев Юрий Михайлович,  
Михеев Игорь Анатольевич, Радоцкий Владимир Юрьевич, Северин Сергей Николаевич.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина