

Шаптала В.В., канд. техн. наук, доц.,
Тельнова В.Р., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

ShaptalaVadim@yandex.ru

В статье рассмотрена разработанная на основе метода парных сравнений процедура оценки социально значимых проектов и других объектов социальной природы. Приведен алгоритм вычисления шкальных оценок сравниваемых объектов, позволяющих ранжировать их по степени социально-экономической значимости. Разработана информационная система для автоматизации процесса сравнения и оценки проектов.

Ключевые слова: социальные проекты, метод парных сравнений, шкалирование, оценка проекта.

Введение. Для повышения эффективности работы органов территориального общественного самоуправления, а также для развития и стимулирования социальной активности населения в решении вопросов местного значения в настоящее время все шире используется реализация социальных проектов. Тематика социально значимых проектов весьма разнообразна: от пожарной безопасности, благоустройства поселений, повышения качества жизни людей до духовного развития личности и формирования институтов гражданского общества [1, 2]. В последний период растет количество проектов социального предпринимательства, направленных не только на решение социальных проблем, но и на получение определенной прибыли [3].

Реализация социальных проектов требует значительных затрат, поэтому в условиях ограниченности финансовых ресурсов каждого грантодателя-администрация, компания или частный инвестор крайне заинтересованы в объективной оценке предлагаемых проектов и сравнении их социально-экономической эффективности. С этой целью организуются конкурсы, на которых независимые эксперты оценивают важность проектов и формируют их рейтинговый список [4]. Простейшие оценки социальных проектов можно получить сравнивая предполагаемые количества некоторых характерных событий до и после их реализации, а также определяя денежный эквивалент приносимых проектом социальных благ [3, 5]. Однако, чаще всего предлагаемые социальные проекты не поддаются формализации и не допускают прямых простых расчетов. Поэтому для оценки и сравнения социальных проектов чаще всего применяются экспертные методы с использованием количественных шкал [6, 7]. Одним из них является метод парных сравнений, позволяющий измерить важность каждого проекта, т.е. дать проектам определенные количественные оценки на основе которых ранжировать их по степени социально-экономической важности [8].

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

Результаты парных сравнений проектов 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 проект a_i представляется более значимым, чем проект 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 $\delta_{ji} = 0$.

Задачей метода парных сравнений является приписывание проектам 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 проекта 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 проектов самих с собой, не заполняются.

Процессы восприятия и оценки экспертами различных проектов подвержены воздействиям случайных факторов, поэтому каждому проекту a_i , $i = 1..n$ можно сопоставить распределенную по нормальному закону случайную величину ξ_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 объект a_i предпочитается объекту a_j , тем дальше отстоят друг от друга числовые характеристики v_i и v_j этих объектов [10]. Отсюда следует:

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

где $\xi_{ij} = \xi_i - \xi_j$.

Если величины ξ_i , ξ_j распределены по нормальному закону с параметрами m_i , σ_i и m_j , σ_j , то распределение величины ξ_{ij} также будет нормальным с параметрами m_{ij} и σ_{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:

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

$$d\xi_{ij} = \sigma_{ij} dt \quad \left. -\frac{m_{ij}}{\sigma_{ij}} \leq t < \infty \right| = 1 - \Phi\left(-\frac{m_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) = \Phi\left(\frac{m_{ij}}{\sigma_{ij}}\right),$$

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:

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

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 объектов (z_{ij}).

Параметры распределения величины ξ_{ij} выражаются через математические ожидания и дисперсии величин ξ_i и ξ_j следующим образом [10, 11]:

$$m_{ij} = m_i - m_j \quad (10)$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2r_{ij}\sigma_i\sigma_j}$$

где r_{ij} - коэффициенты корреляции между ξ_i и ξ_j .

Предположим, что мнения каждого эксперта о различных проектах не зависят друг от друга, а мера уверенности в своем выборе, характеризующая значениями σ_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 и является применение метода наименьших квадратов [8]. Согласно этому методу приближенное решение системы должно минимизировать сумму квадратов невязок, которые получатся 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: где $A = (a_{ij})$,

$$A \cdot M = B, \tag{14}$$

$$M = (m_1, m_2, \dots, m_n)^T, \quad B = (z_{12}, \dots, z_{1n}, z_{23}, \dots, z_{2n}, \dots, z_{n-1,n})^T$$

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:

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

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

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

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

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

Система (15) принимает вид:

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

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

зависит от начального приближения, но порядок между числами m_1, m_2, \dots, m_n сохраняется.

Найденные таким образом шкальные оценки проектов 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 важность проектов и ранжировать их по степени значимости [11, 12].

Рассмотрим практический пример использования изложенного варианта метода парных сравнений для оценки социальных проектов. Группа экспертов попарно сравнивает значимость и важность шести проектов. В результате обработки матриц парных сравнений получена следующая матрица относительных частот:

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

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

для наглядности можем перенести полученное решение в область положительных значений (рис. 1):

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

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

На основе рассмотренного варианта метода парных сравнений разработана информационная система, которая имеет следующую структуру (рис. 2).

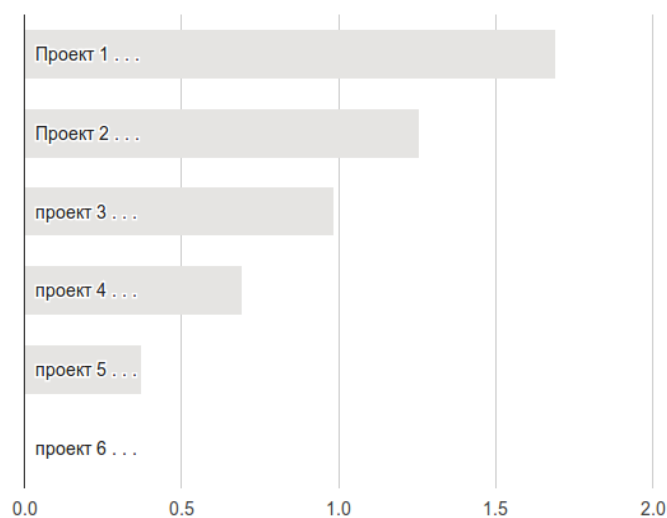


Рис. 1. Результаты ранжирования проектов

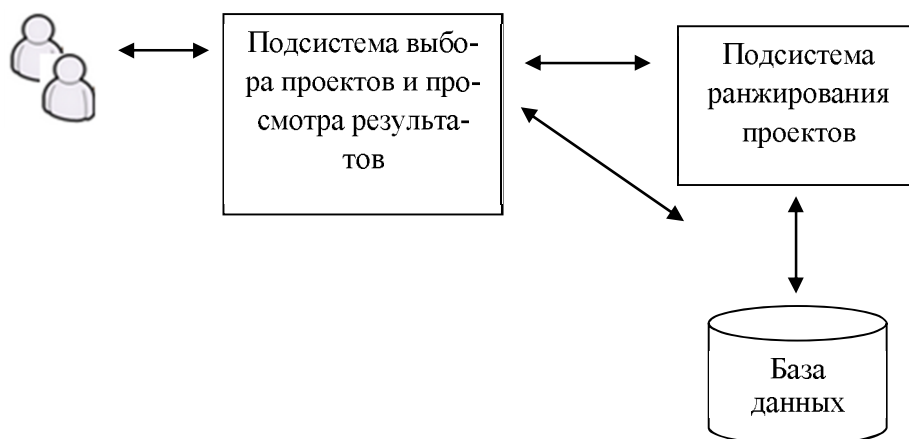


Рис. 2. Структурно-функциональная схема информационной системы

Информационная система обеспечивает выполнение следующих функций:

- Регистрация пользователей
- Добавление проектов в систему
- Просмотр существующих проектов
- Оценка проектов
- Вывод результатов оценки проектов

Информационная система реализована на языке языке php с использованием СУБД MySQL [13].

Выводы.

1. Метод парных сравнений является эффективным инструментом ранжирования социальных объектов (проектов, критериев, факторов, инноваций и др.), необходимым для определения приоритетов и обоснования управленческих решений.

2. Перспективным направлением повышения достоверности сравнительных оценок социальных объектов является использование результатов их общественной экспертизы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Луков В.А. Социальное проектирование: учебное пособие. М.: Изд-во Московского гуманитарного университета: Флинта, 2007. 240 с.
2. Шаптала В.В., Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю. Моделирование опасных факторов пожара, чрезвычайных и кризисных ситуаций. Белгород: ООО «Европолиграф», 2012. 120 с.
3. Минаев А.В. Критерии и методы оценки проектов социального предпринимательства. Труды МФТИ. 2011. Том 3. №3. С. 153–158.
4. www.nornik.com
5. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г., Шаптала В.В., Ветрова Ю.В. Теоретические основы прогнозирования безопасности учреждений высшего профессионального образования. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 211 с.
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.
13. PHP и MySQL. Разработка Web-приложений. -БХВ-Петербург. 2013. 543 с.

Shaptala V.V., Telnova V.R.

INFORMATION SYSTEM EVALUATION OF SOCIAL PROJECTS

In the article the developed based on the method of paired comparisons procedure for assessing social projects, and other objects of social nature. An algorithm for computing the estimates of scale compared objects, allowing to rank them according to the degree of socio-economic importance. The information system for automation of project comparison and evaluation process.

Key words: *social projects, the method of paired comparisons, scaling, evaluation of the project.*

Шапгала Вадим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308023, Белгород, ул. Костюкова, д. 46
E-mail: Shaptalavadim@yandex.ru

Тельнова Валерия Романовна, студент. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308023, Белгород, ул. Костюкова, д. 46
E-mail: Lerenia@yandex.ru