

УДК 69.003

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.43.4.007](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.007)

Методы экспертного оценивания строительных проектов по качественным критериям

Е.А. Серебрякова✉

*Воронежский государственный технический университет, Воронеж,
Российская Федерация*

Резюме. В статье рассмотрены методы индивидуального и группового экспертного оценивания строительных проектов с целью выбора из них наиболее привлекательного для реализации. В основе предлагаемой модели получения обобщенной оценки качества строительных проектов одним экспертом лежит математическая модель экспертного оценивания по одному или нескольким критериям, отражающим требования к строительным проектам. Кроме традиционного метода анализа иерархий предложены альтернативные методы, основанные на методе латентных переменных и корреляционном анализе. Для группового экспертного оценивания предлагается метод обработки экспертной информации, учитывающий компетентность экспертов. В основе метода лежит предположение, что компетентность эксперта пропорциональна тому факту, насколько сильно будет совпадать мнение эксперта по всем проектам с усредненным мнением всех экспертов по тому же набору проектов. Таким образом будет уменьшено влияние недобросовестных или некомпетентных экспертов на результаты оценивания строительных проектов. Кроме этого, предложена методика обработки групповой экспертизы на основе теории латентных переменных. В основе предлагаемого метода лежит модель Раша оценивания латентных переменных. Предложенные модели позволят повысить эффективность принятия решений при выборе строительных проектов.

Ключевые слова: экспертиза, управление проектами, строительство, латентные переменные, математическое моделирование.

Для цитирования: Серебрякова Е.А. Методы экспертного оценивания строительных проектов по качественным критериям. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2023;11(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1450> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.007

Methods of expert evaluation of construction projects according to qualitative criteria

Е.А. Serebryakova✉

Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation

Abstract. The article discusses methods of individual and group expert assessment of construction projects in order to select the most promising for implementation. The proposed model for obtaining a generalized assessment of the quality of construction projects by one expert is based on a mathematical model of expert assessment using one or more criteria reflecting the requirements for construction projects. In addition to the traditional method of analyzing hierarchies, alternative methods based on the method of latent variables and correlation analysis have been proposed. For group expert assessment, a method for processing expert information is suggested with the competence of experts accounted for. The method is based on the assumption that the expert's competence is proportional to how closely the expert's opinion on all projects coincides with the average opinion of all experts on the same set of projects. In this way, the influence of unscrupulous or incompetent experts on the results of evaluating construction projects will be reduced. In addition, a method for processing group expertise based on the theory of latent variables has been proposed. The method being suggested is based on the Rasch model

for estimating latent variables. The proposed models make it possible to increase the efficiency of decision-making when choosing construction projects.

Keywords: expertise, project management, construction, latent variables, mathematical modeling.

For citation: Serebryakova E.A. Methods of expert evaluation of construction projects according to qualitative criteria. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1450> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.007 (In Russ.).

Введение

Оценка строительных проектов является важным этапом в процессе реализации любого строительного мероприятия. Однако традиционные критерии, такие как стоимость, сроки выполнения и качество материалов, не всегда позволяют полноценно оценить эффективность и успешность проекта. В связи с этим все большее внимание уделяется использованию качественных (латентных, неявных) критериев для более точной оценки строительных проектов.

Качественные критерии представляют собой факторы, которые не всегда видны на первый взгляд или измеримы конкретными числами. Они отражают такие аспекты, как уровень коммуникации между участниками проекта, готовность инженерно-технического персонала к работе, присутствие инноваций и новых технологий в проекте и другие факторы, которые могут значительно повлиять на успех строительства.

Оценка строительных проектов основана в большинстве случаев на многокритериальном подходе на основе объективных показателей привлекательности проектов и субъективных оценках, полученных в результате экспертного оценивания [1], которые и будут рассмотрены в данной работе.

Целью данной работы является описание и обоснование методов оценки строительных проектов по качественным показателям на основе индивидуальной и групповой экспертизы.

Далее будут представлены методы и модели экспертного оценивания степени привлекательности строительных проектов одним экспертом. Будут изложены две модели, основанные на методах парных сравнений. Первая модель базируется на мультипликативном методе анализа иерархий (МАИ), вторая представляет индивидуальное экспертное оценивание на основе модели Раша оценивания латентных переменных (его будем обозначать как МЛП) [2, 3].

Индивидуальное экспертное оценивание строительных проектов

В основе предлагаемой модели получения обобщенной оценки качества строительных проектов одним экспертом лежит математическая модель экспертного оценивания по одному или нескольким критериям [1, 4], отражающим требования к строительным проектам.

В данном разделе опишем две методики и две математические модели получения количественных оценок строительных проектов по произвольному качественному критерию, связанному с привлекательностью и степенью соответствия проекта объекту строительства. В основе этих методик лежит попарное сравнение строительных проектов по некоторым качественным критериям, а затем обобщение частных оценок на основе выбранной математической модели. Сравнение итоговых результатов оценивания по указанным методикам позволит обосновать адекватность полученных оценок и их применимость при ранжировании проектов.

Модель оценивания проектов, основанная на методе анализа иерархий

Среди всех возможных методов получения информации на основе экспертного оценивания, в настоящее время наиболее точными и максимально объективными

являются методы парных сравнений [4], которые показали себя наиболее эффективными при проведении индивидуальной экспертизы. Это связано с обоснованием того, что наиболее точно эксперт может оценить разницу предпочтений лишь для пары объектов, альтернатив или признаков. Наиболее популярным среди таких методов является метод анализа иерархий [5], разработанный Т. Саати. Существует несколько разновидностей его реализации, в данной работе будет использован мультипликативный МАИ [6].

Перейдем к математической модели. Предположим, что имеется группа из n строительных проектов, которые могут быть практически реализованы и соответствуют задачам строительства. Данные проекты обозначим как A_1, A_2, \dots, A_n . Для выбора наиболее привлекательного из них формируется определенный качественный критерий или группа таких критериев. Рассмотрим здесь случай одного критерия, который можно легко обобщить и для их множества.

Выбираются все возможные пары проектов, и эксперт определяет предпочтения одного проекта перед другим на основе степени предпочтения h , если первый проект в паре A_i лучше второго проекта в паре A_j . Если же первый проект A_i имеет меньшее предпочтение, чем второй A_j , то степень предпочтения выбирается обратной величиной $1/h$. В результате перебора всех пар проектов $(A_i; A_j)$, формируется матрица предпочтений V_{ij} , $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, n$. Степень предпочтения одного проекта перед другим в паре h рекомендовано брать в соответствии со вторым столбцом Таблицы 1 [5].

Таблица 1 – Шкала относительной разницы оценок проектов для МАИ и МЛП
Table 1 – Scale of relative difference in project estimates for HAI and LVA

Уровень превосходства одного проекта над другим	Параметр h для МАИ	Вероятность p'_{ij} для МЛП
<i>Одинаковая оценка</i>	1	0,5
<i>Слабое превосходство</i>	3	0,6
<i>Умеренное превосходство</i>	5	0,7
<i>Значительное превосходство</i>	7	0,8
<i>Большое превосходство</i>	9	0,9
<i>Однозначное превосходство</i>	9	1

На основании матрицы парных сравнений V_{ij} можно рассчитать собственные векторы степени соответствия проектов строительному объекту по выбранному критерию, которые определяют для каждого проекта, в какой мере он соответствует объекту строительства. Элемент такого вектора U_i для каждого i -го проекта будут определяться следующими соотношениями:

$$U_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n V_{ij}} = \sqrt[n]{V_{i1} \cdot V_{i2} \cdot \dots \cdot V_{in}}. \quad (1)$$

Тут следует отметить, что данный подход вычисления собственного вектора является приближенным. Точное значение U_i определяется компонентами собственного вектора матрицы V_{ij} , которые соответствуют наибольшему действительному собственному значению матрицы. Однако предложенный подход часто используют в оценивании по методу анализа иерархий на практике.

Окончательным показателем интегральной оценки проектов по выбранному критерию являются веса строительных проектов W_i , которые получаются в результате нормирования собственных векторов на суммарную единицу:

$$W_i = \frac{U_i}{\sum_{i=1}^n U_i} = \frac{U_i}{U_1 + U_2 + \dots + U_n}. \quad (2)$$

Данный метод оценивания строительных проектов достаточно прост, удобен в реализации, однако он имеет ряд недостатков, основными из которых являются:

1. Вербальная шкала сравнения проектов с точки зрения заданного качественного критерия, которая приведена в Таблице 1 (столбец 2), в большой степени субъективна, результаты оценок во многом зависят от индивидуальных качеств эксперта, проводящего сравнение.

2. Ввиду использования нелинейных зависимостей итоговой оценки от частных (1), полученные оценки строительных проектов также оказываются нелинейными, что затрудняет их использование в дальнейшем, например, при проведении статистических процедур.

3. При добавлении или удалении объектов, результаты оценивания могут значительно измениться, то есть модель чувствителен к изменению количества и качества проектов.

4. При большом количестве проектов может возникнуть проблема согласованности частных оценок ввиду нарушения транзитивности оценок по цепочкам оцениваемых проектов [3].

Для устранения в какой-то мере указанных выше недостатков предложим альтернативную модель обработки экспертной информации, которая базируется на методе Раша оценки латентных переменных [2, 3].

Модель оценивания, основанная на теории латентных переменных

Общая идея использования этой модели основана на том, что многие показатели качества строительного проекта, с точки зрения их привлекательности для объекта строительства, являются латентными переменными, и их можно оценивать по модели Раша.

Математическая постановка модели оценивания следующая, она во многом схожа с методикой оценивания по МАИ. Рассмотрим ситуацию, когда необходимо оценить n проектов, привлекательности или иные показатели качества проекта для строительного объекта нужно оценить по качественному критерию. Оценкой проектов занимается эксперт и процедура оценивания в общем такая же, как и при МАИ, но степень предпочтения одного проекта над другим в паре $(A_i; A_j)$ определяется на основании вероятностного показателя p'_{ij} , который можно интерпретировать как вероятность того, что первый проект больше удовлетворяет оценочному критерию, чем второй. Если проекты примерно равны по количественным критериям, то в одинаковых условиях и за одно и то же время первый проект даст экономический эффект как p'_{ij} долю от суммарного эффекта, а второй, соответственно, $(1 - p'_{ij})$. При оценивании, вместо экономических показателей можно использовать показатели времени реализации проекта, затраты ресурсов или иные. Для равных по качеству проектов, эту вероятность будет $p'_{ij} = 0,5$, а также в любой паре проектов будут справедливы соотношения: $p'_{ij} = 1 - p'_{ji}$; $p'_{ii} = 0,5$.

Сравнивая данную методику оценивания с МАИ, также можно построить некоторую вербальную шкалу предпочтений, которая приведена в Таблице 1 (столбец 3). Эту шкалу предпочтений можно адаптировать под условия оценки по модели МАИ, представленной в этой же таблице в столбце 2.

Оценки каждого строительного проекта при парном сравнении на основе МЛП имеют степени предпочтений, которые имеют вероятностный характер, поэтому они лучше поддаются аналитической интерпретации, понятны для анализа качества проектов, могут быть использованы в явном виде при организации различных статистических процедур, и, поэтому, нивелируют первый недостаток, указанный выше, которые имела модель МАИ для оценки строительных проектов.

Для описания математического ядра решения задачи по МЛП введем вектор латентных переменных β_i , которые имеют смысл оценок привлекательности i -го проекта по выбранному качественному критерию, аналог собственного вектора по МАИ. В соответствии с работами [2, 3, 7], вероятность P_{ij} того, что проект A_i , имеющий итоговую оценку на основании всех сравнений β_i , будет оценен выше, чем проект A_j с итоговой оценкой β_j , связана следующим соотношением:

$$P_{ij} = \frac{e^{\beta_i - \beta_j}}{1 + e^{\beta_i - \beta_j}}. \quad (3)$$

В соответствии с [7], для получения латентных итоговых показателей β_i , $i=1, 2, \dots, n$, которые входят в вероятность (3) на основании эмпирических частных оценок элементов матрицы p'_{ij} , нужно решать задачу нелинейной оптимизации:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(p'_{ij} - \frac{e^{\beta_i - \beta_j}}{1 + e^{\beta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

из которой будет получен вектор итоговых оценок проектов показателей β_i . Оптимизационная задача (4) дополняется граничным условием вида:

$$\min_i \beta_i = 0. \quad (5)$$

Оптимизационная (4) с ограничениями вида (5) не поддается аналитическому решению для большого числа проектов, но решить ее можно численными методами, методика численного решения в табличном процессоре MS Excel с использованием надстройки Solver приведена в работах [2, 8].

После нахождения оценок проектов β_i можно их нормировать на единичную по сумме шкалу, что позволит по аналогии с МАИ определить веса W_i каждого проекта в плане степени привлекательности их для строительного объекта:

$$W_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i}. \quad (6)$$

Описанные методики определения степени соответствия заданному критерию или качества проектов, позволяют проводить оценки по некоторому заданному критерию. Однако данная модель является лишь частью общей задачи, которая предполагает расширение данных моделей и на круг многостороннего оценивания качества проектов, в частности, по группе критериев.

Предположим, что имеется K критериев оценки качества строительных проектов. Введем некоторые оценки качества проекта с номером i , которые обозначим через W_i^k

по каждому k -му оценочному критерию, и веса, или, говоря другими словами, степени важности оценочных критериев w^k , которые определяются по методу МАИ, или на основе МЛП. На основании полученных данных вычисляются интегральные оценки строительных проектов по выбранным критериям:

$$F_i = \sum_k W_i^k w^k . \quad (7)$$

Такой же подход будет использован для группового экспертного оценивания строительных проектов.

Групповое экспертное оценивание строительных проектов

Групповое экспертное оценивание отличается от индивидуального наличием группы экспертов, которые проводят экспертизу. Групповое экспертное оценивание имеет ряд преимуществ по сравнению с индивидуальным экспертным оцениванием:

1. Синергия знаний: групповое решение позволяет объединить знания и опыт всех участников экспертной группы. Коллективное обсуждение и обмен идеями могут привести к появлению новых идей, которые не могли быть обнаружены индивидуально.

2. Достоверность оценки: путем совместного обсуждения группа может прийти к объективному и достоверному решению. Различные точки зрения и оценки помогают устранить субъективные предубеждения или ошибки. Если совместного обсуждения не предусмотрено, то есть эксперты независимы и не общаются друг с другом, то достоверность оценки все равно повышается в результате сглаживания ошибок. С точки зрения теории вероятности, это регулируется по закону больших чисел: если кто-то завысил оценку, то высока вероятность того, что кто-то ее занизит.

3. Увеличение точности и надежности: каждый эксперт может иметь свои собственные ошибки и предубеждения. Путем объединения мнений и оценок группы можно получить более точные и надежные результаты. Результат обоснован тем же рассуждением, что приведен в предыдущем пункте.

4. Сокращение времени экспертного оценивания: групповое оценивание может быть более эффективным, чем индивидуальное оценивание, так как позволяет рассматривать множество вариантов и принимать решение быстрее благодаря комбинированному интеллекту и опыту группы экспертов. При этом, несомненно, необходимо проверять уровень экспертов и их согласованность.

5. Увеличение приемлемости и принятия решений: групповое решение может быть более объемным для всех участников, так как у них есть возможность внести свой вклад и выразить свое мнение. Это способствует улучшению взаимопонимания и принятию более справедливых и сбалансированных решений.

Оценки обобщенного качества проектов можно провести по следующему алгоритму. Предположим, что имеется K качественных критериев оценки строительных проектов. Введем некоторые оценки привлекательности проекта с номером i для объекта строительства, которые обозначим через W_i^k по каждому k -му оценочному критерию, и веса или степени важности оценочных критериев w^k , которые являются субъективными показателями и также могут быть найдены с помощью группового или индивидуального экспертного оценивания. Для получения итоговых оценок проектов по всем критериям можно использовать формулу (7).

Определим исходные данные поставленной задачи, рассмотрим ситуацию, когда оценка множества из N проектов производится с помощью группы из K экспертов, которые оценили каждый из проектов по произвольной, но линейной шкале. Обозначим

через переменную x_{ij} оценку привлекательности для строительного объекта i -го проекта, которую предоставил эксперт с номером j . Существует несколько методов обработки экспертной информации.

Метод обработки экспертной информации, учитывающий компетентность экспертов

Этот метод является простейшим, но достаточно эффективным. Он является обобщением аддитивного метода, который предполагает вычислять итоговые показатели привлекательности проектов как средние арифметические (или суммы) от мнений всех экспертов.

Иными словами, если каждый эксперт оценил каждый проект по заданному критерию по некоторой одинаковой для всех экспертов шкале, то в качестве исходной информации будет служить матрица экспертных оценок:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1K} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & \dots & x_{NK} \end{pmatrix}.$$

Аддитивный метод предполагает, что итоговые обобщающие оценки проектов по критерию U_i равны среднеарифметическому частных экспертных оценок проектов, то есть:

$$U_i = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Предлагаемая модификация данного аддитивного метода будет учитывать качество оценок эксперта, которое назовем компетентностью эксперта. Будем предполагать, что компетентность эксперта пропорциональна тому факту, насколько сильно будет совпадать мнение эксперта по всем проектам с усредненным мнением всех экспертов по тому же набору проектов. Чем выше будет компетентность экспертов, тем больший вклад в общую оценку привлекательности проектов будет давать этот эксперт. Таким образом мы уменьшим влияние недобросовестных или некомпетентных экспертов на результаты оценивания строительных проектов.

Рассмотрим математическую модель такого группового экспертного оценивания, она будет состоять из нескольких шагов. На первом шаге мы не знаем, насколько компетентен каждый эксперт, и будем считать, что все эксперты одинаково компетентны и этот уровень компетентности, а как следует из условий модели, и вклад эксперта в итоговую оценку (вес эксперта), будет равен $\frac{1}{K}$. Отталкиваясь от данных компетентностей, можно найти средние оценки качества оцениваемых строительных проектов:

$$x_i^1 = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (8)$$

Эти оценки формируют некоторый вектор итоговых показателей качества проектов на первом шаге:

$$\mathbf{x}^1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1).$$

Если использовать матричную алгебру, то можно записать:

$$\mathbf{x}^1 = X \cdot \mathbf{q}^0, \text{ где } \mathbf{q}^0 = \left(\frac{1}{K}, \frac{1}{K}, \dots, \frac{1}{K} \right)'$$

есть не что иное, как вектор весов или вкладов экспертов в итоговый результат оценки каждого проекта.

На втором шаге, используя оценки качества строительных проектов, можно пересчитать компетентности экспертов, учитывая то, как их индивидуальные оценки согласуются с итоговыми оценками проектов, полученных по всей экспертной группе, это можно сделать по формуле:

$$\bar{q}_j^1 = \sum_{i=1}^N x_{ij} \cdot x_i^1, \quad j=1, \dots, K. \quad (9)$$

Полученные компетентности экспертов необходимо нормализовать на суммарную единицу:

$$\mathbf{q}^1 = (q_1^1, \dots, q_K^1), \text{ где } q_j^1 = \frac{\bar{q}_j^1}{\sum_{j=1}^K \bar{q}_j^1}, \quad j=1, \dots, K.$$

Если подводить итог второго шага, то в соответствии с формулой (9), вектор компетентности на втором шаге \mathbf{q}^1 равен произведению вектора оценок проектов на первом шаге \mathbf{x}^1 и матрицы X , после чего результат нормируется на суммарную единицу.

Продолжая действовать по описанному алгоритму, на каждом следующем шаге мы будем формировать новые оценки качества строительных проектов на основе компетентности экспертов на предыдущем шаге, а затем пересчитывать компетентности экспертов в соответствии с рассчитанными оценками привлекательностей проектов. Иными словами, получается итерационный процесс постоянного уточнения как качества строительных проектов, с точки зрения объекта строительства, так и меры компетентности экспертов, который можно записать на языке матричной алгебры следующим образом:

$$\begin{cases} \mathbf{x}^t = X \cdot \mathbf{q}^{t-1}; \\ \mathbf{q}^t = \frac{1}{\lambda^t} \mathbf{x}^t \cdot X, \quad t=1, 2, \dots, \end{cases} \quad (10)$$

в данном выражении введены обозначения

$$\mathbf{q}^0 = \left(\frac{1}{K}, \dots, \frac{1}{K} \right), \text{ а } \lambda^t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K x_i^t \cdot x_{ij}.$$

Можно преобразовать данное выражение, для этого необходимо учесть, что $\mathbf{x}^t \cdot X = X' \cdot \mathbf{x}^t$, здесь штрих – операция транспонирования. В итоге получаем итерационную формулу (10) в матричной форме:

$$\begin{cases} \mathbf{x}^t = \frac{1}{\lambda^t} X \cdot X' \cdot \mathbf{x}^{t-1}, \\ \mathbf{q}^t = \frac{1}{\lambda^t} X' \cdot X \cdot \mathbf{q}^{t-1}. \end{cases} \quad (11)$$

Полученные выражения, как (10), так и матричная формула (11), представляют собой итерационный метод определения собственных значений и собственного вектора для матриц частных экспертных оценок проектов $X \cdot X'$ и $X' \cdot X$. Показано, что итерационный процесс для данных матриц является сходящимся. Количество итераций определяется из условий достижения необходимой точности, для точности порядка 0,001, как показывает практика, достаточно использовать 2-3 итерации.

Обработка экспертной информации, основанная на методах корреляции

Данный метод обработки информации имеет ту же идею оценки эффективности экспертного оценивания, что и предыдущий. Вес эксперта, или его вклад в итоговый результат оценивания, будет пропорционален степени согласованности общего мнения с мнением, данным этим экспертом. Единственное отличие данного метода в том, что для оценки степени согласованности экспертов будет использован параметрический коэффициент корреляции Пирсона, либо непараметрический ранговый коэффициент корреляции Спирмена. В этом случае обобщенная оценка степени привлекательности строительных проектов U_i будет определяться в соответствии с формулой:

$$U_i = \frac{\sum_{j=1}^K r_j x_{ij}}{\sum_{j=1}^K r_j}, \quad (12)$$

где r_j – коэффициент корреляции Пирсона или Спирмена между j -ым столбцом матрицы частных экспертных оценок x_{ij} и вектором средних оценок \bar{x}_i , который может быть рассчитан по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij}.$$

Как показали результаты вычислительных экспериментов, направленные на анализ свойств полученных оценок, результаты оценок проектов, полученные по данному методу, практически не отличаются от оценок по модели, основанной на компетентности экспертов.

Обработка экспертной информации на основе теории латентных переменных

Примененный для индивидуального экспертного оценивания метод, основанный на теории латентных переменных, можно применить и для группового экспертного оценивания. Однако, за математическую основу в данном случае возьмем модель Раша с вычислительным ядром, основанном на методе наименьших квадратов [7, 8].

Суть предлагаемого подхода следующая. Проводя анкетирование группы экспертов и проводя нормализацию частных оценок на единичную шкалу, получаем матрицу x_{ij} , элементы которой есть нормализованные оценки i -го строительного проекта, данные j -ым экспертом, $i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, K$.

В качестве латентных переменных возьмем следующие векторы:

θ_i – вектор итоговых оценок степени привлекательности каждого проекта, полученных на основании группового мнения экспертов;

β_j – вектор степени лояльности каждого эксперта, смысл которого в том, что чем меньше значение показателя β_j , тем более требовательным или строгим является j -тый эксперт относительно всего множества оцениваемых проектов.

В статьях [7, 8] показано, что вероятность p_{ij} такого события, что j -й эксперт поставил оценку i -го проекта больше, чем равна его обобщенная оценка строгости, будет определяться выражением:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}. \quad (13)$$

Искомые латентные параметры θ_i и β_j могут быть определены в соответствии с моделью Раша, вычислительным ядром которой является метод наименьших квадратов [7, 9], который предполагает необходимость решения задачи нелинейной оптимизации с граничными условиями, требующими неотрицательности переменных следующего вида:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K \left(u_{ij} - \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min; \quad (14)$$

$$\theta_i \geq 0; \beta_j \geq 0, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M.$$

Представленная модель оценивания проектов учитывает личностные качества экспертов, такие как степень строгости / лояльности. Лояльные эксперты будут давать проектам более высокие оценки, чем строгие, поэтому их вклад в итоговый показатель будет выше, что приведет к некоторому смещению группового мнения при применении аддитивной модели. Модель, основанная на теории латентных переменных, нивелирует этот недостаток аддитивной модели. Кроме того, как следует из свойств модели Раша [10], предлагаемая модель будет давать оценки проектов по линейной шкале, эти оценки будут независимыми от набора экспертов и множества оцениваемых строительных проектов. Кроме того, представленная модель позволяет не только оценить качество строительных проектов, но также дает возможности проанализировать индивидуальные особенности и качество работы экспертов на основе вектора β_j .

Заключение

В данной статье на основе анализа существующих методов оценивания качества и эффективности строительных проектов по качественным критериям, были разработаны математические модели индивидуального и группового оценивания строительных проектов.

В частности, были разработаны методы индивидуального экспертного оценивания строительных проектов, основанные на методе анализа иерархий. Отмечены преимущества и недостатки предложенного метода.

На основе изучения путей решения описанных недостатков, была предложена альтернативная методика оценки качества строительных проектов на основании индивидуального экспертного оценивания. Она опирается на теорию латентных переменных и намного менее чувствительна к указанным в работе недостаткам.

Также была предложена математическая модель многокритериального оценивания строительных проектов, в основе которой лежит групповое экспертное оценивание. Предложены два математических метода обработки экспертной информации: метод, основанный на учете компетентности экспертов, и метод, в основе которого лежит корреляционный анализ. Показано, что оба метода дают близкие результаты.

Кроме того, предложена математическая модель многокритериального оценивания строительных проектов, в основе которой лежит групповое экспертное оценивание, обработка информации по которой основана на теории латентных переменных.

Все вышесказанное дает основание предполагать, что предложенные модели позволят повысить эффективность принятия решений при выборе строительных проектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кравченко К.А. *Организационное строительство и управление персоналом крупной компании*. М.: Академический проект; 2005. 557 с.
2. Баркалов С.А., Карпович М.А., Моисеев С.И. Метод анализа иерархий: подход, основанный на теории латентных переменных. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2022;22(2):58–66.
3. Ананьев А.В., Иванников К.С., Моисеев С.И. Применение теории латентных переменных для анализа элементного базиса устройств обработки сигналов на основе метода парных сравнений. *Системы управления и информационные технологии*. 2022;89(3):35–38.
4. Пономарева А.Н. Использование метода анализа иерархий в отборе приоритетных критериев анализа инновационной деятельности предприятий. *Актуальные вопросы экономических наук*. 2010;11(1):235–240.
5. Саати Т., Кернс К.М. *Аналитическое планирование. Организация систем*. Пер. с англ. М.: Радио и связь; 1991. 224 с.
6. Lootsma F.A. Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART. *J. Multi-Criteria Decision Analysis*. 1993;2.
7. Маслак А.А., Моисеев С.И. *Модель Раша оценки латентных переменных и ее свойства*. Воронеж: НПЦ «Научная книга»; 2016. 177 с.
8. Баркалов С.А., Киреев Ю.В., Кобелев В.С., Моисеев С.И. Модель оценивания привлекательности альтернатив в подходе Раш-анализа. *Системы управления и информационные технологии*. 2014;57(3.2):209–213.
9. Моисеев С.И. Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов. *Экономика и менеджмент систем управления*. 2015;16(2.1):166–172.
10. Маслак А.А., Моисеев С.И., Осипов С.А. Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов. *Проблемы управления*. 2015;(5):58–66.

REFERENCES

1. Kravchenko K.A. *Organizational building and personnel management of a large company*. Moscow, Academic project; 2005. 557 p. (In Russ.).
2. Barkalov S.A., Karpovich M.A., Moiseev S.I. Hierarchy Analysis Method: An approach based on latent variable theory. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika = Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics*. 2022;22(2):58–66. (In Russ.).
3. Anan'ev A.V., Ivannikov K.S., Moiseev S.I. Application of the theory of latent variables to analyze the elemental basis of signal processing devices based on the method of paired comparisons. *Sistemy upravleniya i informacionnyye tehnologii = Management systems and information technologies*. 2022;89(3):35–38. (In Russ.).
4. Ponomareva A.N. Using the hierarchy analysis method in the selection of priority criteria for analyzing the innovative activities of enterprises. *Aktual'nye voprosy jekonomicheskikh nauk = Current issues in economic sciences*. 2010;11(1):235–240. (In Russ.).

5. Saaty T., Kearns K.M. *Analytical planning. Organization of systems*. Translated from English. Moscow, Radio and communications; 1991. 224 p. (In Russ.).
6. Lootsma F.A. Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART. *J. Multi-Criteria Decision Analysis*. 1993;2.
7. Maslak A.A., Moiseev S.I. *Rasch model for estimating latent variables and its properties*. Voronezh, SPC Nauchnaya kmoga; 2016. 177 p. (In Russ.).
8. Barkalov S.A., Kireev Ju.V., Kobelev V.S., Moiseev S.I. A model for assessing the attractiveness of alternatives in the Rasch analysis approach. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii = Control systems and information technology*. 2014;57(3.2):209–213. (In Russ.).
9. Moiseev S.I. Rasch model of latent variable estimation based on the method of least squares. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii = Economics and management of control systems*. 2015;16(2.1):166–172. (In Russ.).
10. Maslak A.A., Moiseev S.I., Osipov S.A. Comparative analysis of Rasch model parameter estimates obtained by maximum likelihood and least squares methods. *Problemy upravlenija = Management problems*. 2015;(5):58–66. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Серебрякова Елена Анатольевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация. **Elena A. Serebryakova**, Candidate of Economics, Associate Professor, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation.

e-mail: sea-parish@mail.ru

ORCID: [0000-0001-5129-2460](https://orcid.org/0000-0001-5129-2460)

Статья поступила в редакцию 03.10.2023; одобрена после рецензирования 10.10.2023; принята к публикации 25.10.2023.

The article was submitted 03.10.2023; approved after reviewing 10.10.2023; accepted for publication 25.10.2023.