УДК 519.816

© А. Г. Тутыгин, канд. физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник
(Федеральный исследовательский центр
комплексного изучения Арктики
имени академика Н. П. Лаврова РАН)
E-mail: andgt64@yandex.ru
© В. Б. Коробов, д-р геогр. наук, директор Северо-
Западного отделения
(Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН)
E-mail: szoioran@mail.ru
© Т. В. Меньшикова, канд. экон. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: mmbk@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-5-291-297

© A. G. Tutygin, PhD in Sci. Phys.-Math.,
senior research worker
(N. Laverov Federal Center
for Integrated Arctic Research RAS)
E-mail: andgt64@yandex.ru
© V. B. Korobov, Dr. Sci. Geogr.
Director of the North-Western Department
(Shirshov Institute of Oceanology RAS)
E-mail: szoioran@mail.ru
© T. V. Menshikova, PhD in Sci. Ec., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: mmbk@yandex.ru

ПРОБЛЕМЫ СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ СУЖДЕНИЙ В МЕТОДЕ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

PROBLEMS OF CONSISTENCY OF EXPERT JUDGMENTS IN THE METHOD OF HIERARCHY ANALYSIS

Рассмотрен критерий качества отбора экспертов по итогам их работы в методе анализа иерархий — самом популярном на сегодня методе многокритериального оценивания факторов, влияющих на формирование и работу сложных систем. На основании проведенного анализа этого критерия показано, что он не является строго обоснованным. Недостаточно аргументированное исключение из рассмотрения части экспертных оценок может привести к искажению расчетов в тех методиках и моделях, в которых используются весовые коэффициенты. Сделан вывод, что этот критерий нельзя использовать для однозначной оценки качества экспертных суждений.

Ключевые слова: оценка качества экспертных суждений, метод анализа иерархий.

The paper considers the criterion of quality of experts' selection based on the results of their work in the method of analysis of hierarchies, which is at present the most popular method of multi-criteria effecting the evaluation of factors affecting the formation and operation of complex systems. The analysis of the content of this criterion shows that it is too rigid and not fully substantiated. The insufficiently reasoned exclusion from consideration of a part of expert estimations can result in distortion of calculations in the methods and models where weight coefficients are used. The authors have come to the conclusion that the specified criterion can't be used for single-valued assessment of the quality of expert judgments.

Keywords: assessment of the quality of expert judgments, the method of analysis of hierarchies.

Экспертные технологии в настоящее время получили широкое применение в различных отраслях человеческой деятельности при исследовании сложных технических, экономических и социальных систем [1, 2, 8, 9, 14], причем круг задач, где они используются, неуклонно расширяется. Их бурное развитие в последние десятилетия поставило, как это всегда бывает в науке,

множество вопросов, требующих своего осмысления и разрешения.

Одним из наиболее проблемных вопросов в экспертных технологиях является определение критериев качества работы экспертов. Под оценкой качества подразумевается соответствие формализованных экспертных суждений некому числовому интервалу их возможных значений,

не соответствие которым дает основание к исключению таких суждений из рассмотрения.

Сегодня самым популярным экспертным методом многокритериального оценивания является разработанный американским математиком Томасом Саати метод анализа иерархий (МАИ) [15, 16, 17 и др.]. Суть метода, на подробном описании которого мы останавливаться не будем, заключается в попарном сравнении по специальной шкале влияющих факторов с последующим вычислением их вклада в конечный результат. Целью большинства опросов являются числовые оценки роли факторов, представленные вектором весовых коэффициентов $w_i > 0$, сумма которых равна единице.

В МАИ критерий качества экспертных суждений непосредственно вычисляется, что делает сам метод весьма привлекательным для организаторов опросов. Но сам критерий, получивший название «индекс согласованности», далеко не однозначен и вызывает ряд вопросов, некоторые из которых указаны в работах [4–7], но ряд проблем требует более подробного рассмотрения.

Вычисляется индекс согласованности (ИС) довольно просто:

$$\text{ИС} = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad (1)$$

где λ — максимальное собственное число матрицы парных сравнений; n — число сравниваемых факторов.

Первые вопросы, которые возникают: почему он так называется и что с чем согласовывается. Происхождение термина вызывает аналогии с групповыми опросами. В них обязательным условием является согласованность суждений всех участников группы. То есть главной целью таких опросов становится не поиск оптимального суждения/решения, а наиболее согласованного, что не одно и то же. В качестве критерия согласованности в процедурах группового обсуждения используется коэффициент конкордации: считается, что чем ближе он к единице, тем суждения согласованнее, и, наоборот, близость его к нулю свидетельствует о несогласованности оценок. В таких случаях проводятся повторные туры, пока не будет достигнут установленный организаторами опроса уровень коэффициента конкордации.

Но в МАИ непонятно, каким образом максимальное собственное число матрицы парных сравнений $\lambda_{\max}$ может служить основанием для согласования экспертных суждений. Отклонение главного собственного значения матрицы суждений от ее размерности, как верно отмечено в [10], служит для согласования матриц между собой, и только для полностью согласованных матриц их ИС равны [11]. Отсюда, по-видимому, и вытекает само название индекса. Но, как мы покажем далее, не только по этой причине.

Максимальное собственное число матрицы вычисляется следующим образом:

$$\lambda_{\max} = r_1 \sum_{i=1}^n \omega_{i1} + r_2 \sum_{i=1}^n \omega_{i2} + \dots + r_n \sum_{i=1}^n \omega_{in}, \quad (2)$$

$$r = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \omega_{ij}} \cdot \left(\sum_{j=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \omega_{ij}} \right), \quad (3)$$

где ω_{ij} — элементы матрицы парных сравнений; n — размерность матрицы.

Мы привели эти формулы не случайно. Дело в том, что в МАИ провозглашено использование принципа транзитивности, т. е. если $A > B$, а $B > C$, то и $A > C$. Применительно к матричным выражениям это записывается так: $\omega_{ij} = \omega_{ik} \circ \omega_{kj}$, где $\circ$ — умножение бинарных отношений. Из этого соотношения вытекает только то, что операция композиции бинарных отношений однозначно определена на множестве объектов. Однако в реальных ситуациях со взаимно влияющими факторами операция композиции, как правило, определена лишь частично, что явно недостаточно для использования метода Саати.

Для проверки на транзитивность бинарного отношения необходимо сопоставление всех возможных упорядоченных троек элементов из исходного множества. Нетрудно видеть, что для множества из $n > 2$ объектов количество таких упорядоченных троек различных элементов равно:

$$A_n^3 = (n-2) \cdot (n-1) \cdot n. \quad (4)$$

Следовательно, необходимо сопоставлять все возможные соотношения трех элементов матрицы парных сравнений. Такие алгоритмы разработаны, и хотя они достаточно громоздки, при использовании современных компьютеров вычисления не составляют сложностей. Дело в другом: сколько должно быть несогласований, чтобы считать матрицу несогласованной, и, как

отмечено в [13], как следует выбрать «наиболее несогласованную» тройку, которая оказывает наибольшее влияние на оценку согласованности всей матрицы?

Получается, что если в матрице имеются несогласованные тройки, то требуется установление числового критерия по их процентному содержанию от общего количества всех возможных троек, а если учитывать их влияние на общую оценку согласованности матрицы, то придется еще вводить некие поправочные коэффициенты, которые не понятно как рассчитывать. Но даже если это и удастся сделать, то мы только вырабатываем некий критерий логичности мышления эксперта, не более того.

Следующий вопрос возникает по поводу самой транзитивности. Мы считаем [6, 7], что в большинстве задач многокритериального оценивания она не оправдана. Примеров нарушения транзитивности, помимо указанных в выше цитируемых публикациях, можно привести множество, но мы ограничимся самым простым, чтобы было понятно, о чем идет речь. Пусть в турнире по круговой системе — каждая команда встречается с каждой — играют три футбольные команды. Первая выигрывает у второй 1:0, а вторая выигрывает у третьей с таким счетом. Аксиома транзитивности утверждает, что в таком случае первая должна побеждать третью (счет может отличаться, но сути это не меняет). А на практике довольно часто третья команда побеждает первую, вследствие чего организаторы турниров для выявления победителя вынуждены вводить дополнительные правила: большее количество голов, лучшая разница забитых и пропущенных мячей и т. д.

Нарушение логики здесь усмотреть довольно трудно: в любой спортивной игре на конечный результат, помимо мастерства игроков, влияет множество факторов, таких как тренерская стратегия, удача, ошибки арбитров и целый ряд других. Если бы это было не так, футбол не то что не собирал бы полные стадионы, на него, как и на хоккей, баскетбол, волейбол и другие спортивные состязания, вообще никто бы не ходил, поскольку все или почти все было предсказуемо.

Но что будет с требованием транзитивности, если в турнире играют не три, а четыре, пять и более команд? Теоретически можно выстроить

цепочку иерархии побед $A > B > C > D \dots$, но на практике она никогда не выполняется. (Такое заключение авторы сделали на основании анализа турнирных таблиц футбольных европейских чемпионатов пяти ведущих — Испании, Англии, Германии, Италии и Франции за последние десять лет.)

Матрица парных сравнений факторов в этом смысле — полный аналог заключительной турнирной таблицы футбольного чемпионата. Они даже внешне похожи. С ростом показателя n число несогласований может увеличиться, что делает выполнение поставленного выше вопроса о критерии несогласованности еще более трудно-выполнимым. Таким образом, требование транзитивности в МАИ является слишком жестким и не оправдано с практической точки зрения.

Говоря об индексе согласованности, также следует принимать во внимание, как показано в работе [10], что ИС в МАИ сильно занижен по сравнению с более строгими и обоснованными оценками по Терстоуну [20].

Видимо, понимая, что введенное им в качестве ключевого параметра согласованности максимальное собственное число произвольное, Саати предложил основанный на нем индекс с чем-то сравнивать. Как часто поступают в таких случаях, сравнение осуществляется с некой «истинной» величиной, например, с математическим ожиданием [18]. Но для определения математического ожидания в каждом конкретном случае требуется знание закона распределения величины, которая заранее неизвестна. Приходится вводить гипотезы на характер распределения, которые далеко не всегда подтверждаются по факту. Тогда в качестве некоего стандарта для сравнения принимают некую статистическую характеристику эмпирических данных, например, среднее арифметическое, служащую оценкой математического ожидания [18], что не всегда корректно, поскольку требует выполнения некоторых довольно жестких условий.

Тем не менее, именно этим путем пошел Саати. Поскольку эмпирические данные собирать долго и хлопотно, он с коллегами стал генерировать выборки при помощи генератора случайных чисел, что часто практикуется в науке. При этом был постулирован закон равномерного распределения всех возможных чисел шкалы Саати:

1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 [15].

В результате из сгенерированных выборок были рассчитаны так называемые средние согласованности (СС) как функции размерности матрицы парных сравнений n (табл. 1). Здесь мы приводим «короткий» вариант этой таблицы. Есть таблица, продолженная до $n = 18$. Суть не в этом, главное, что скорость роста СС по мере увеличения n сокращается и где-то, по-видимому, сама функция $СС(n)$ приближается к асимптоте.

Эти СС в МАИ и служат мерой проверки качества работы эксперта: если разделить ИС на СС для матрицы того же порядка, то получим отношение согласованности (ОС):

$$ОС = \frac{ИС}{СС} 100 \%, \quad (5)$$

который и является окончательным критерием оценки качества работы эксперта. Согласование и в самом деле производится между матрицами: реальной и «средней» того же порядка.

В выше цитируемых работах было показано, что как критерий качества этот индекс ведет себя, по меньшей мере, странно. Нами были подобраны случаи, когда при строгой иерархии суждений, т. е. когда условие транзитивности выполнялось полностью, ОС выходило за установленные Саати пределы и росло по мере увеличения размерности матрицы. Получается, что «среднестатистический» эксперт «мыслит» далеко не идеально. Наверное, так оно и должно быть, но тогда мы не вправе принимать его как эталон для сравнения.

Уже давно показано, что усредненное мнение редко бывает правильным. По утверждению знаменитого экономиста Джона Кеннета Гэлбрейта, иностранного члена Российской академии наук, в экономических вопросах большинство всегда не право [3]. А процедура усреднения качественных признаков, которые широко используются для описания объектов, в том числе и в МАИ, вообще некорректна [12].

Следующий вопрос возникает с самим числовым критерием ОС. Саати рекомендует принимать в качестве такового величину 10 %. Но почему именно ее? Эта величина ничем не обоснована. Просто число 10 удобно и не более того. Это понимает и сам Саати, когда рекомендует в некоторых случаях устанавливать верхнюю

границу ОС, равной 20 %. По-видимому, к нему поступало много нареканий на излишнюю жесткость критерия. Авторам приходилось сталкиваться с ситуациями, когда большая часть опрошенных экспертов не укладывалась в 10 %-ный критерий, хотя в их квалификации сомнений не возникало. И что тогда? Увеличивать их число? Но это далеко не всегда возможно, особенно если решается узкоспецифическая задача. При этом результаты экспертов могут быть очень близкими, но ОС могут сильно отличаться. Вот и приходится чисто из практических соображений увеличивать критерий. К науке это не имеет никакого отношения.

Обратим внимание еще на одну проблему ИС, а именно: он может зависеть от способа вычислений и расположения факторов. Проиллюстрируем это на таком примере. Рассмотрим опять строгую иерархию, когда каждый из последующих факторов важнее предыдущего — равенство двух последних факторов взято для контроля вычислений (табл. 2).

А теперь поменяем порядок расположения факторов на обратный (табл. 3), что должно привести к тому же результату.

Но на самом деле все вышло несколько иначе. ОС оказались неидентичными и равными 5,140 и 5,243 % соответственно. На первый взгляд различие небольшое, но имеющее принципиальное значение, когда ОС принимает значения, близкие к критическим, тем же 10 %. На удивление такие случаи не так уж редки, и в практике авто-

Таблица 1

**Средние согласованности (СС)
для случайных матриц разного порядка**

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СС	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Таблица 2

Матрица парных сравнений

Факторы	1	2	3	4	5
1	1	4	4	4	4
2	1/4	1	3	3	3
3	1/4	1/3	1	2	2
4	1/4	1/3	1/2	1	1
5	1/4	1/3	1/2	1	1

Таблица 3

Матрица парных сравнений с обратным порядком факторов

Факторы	1	2	3	4	5
1	1	1/4	1/4	1/4	1/4
2	4	1	1/3	1/3	1/3
3	4	3	1	1/2	1/2
4	4	3	2	1	1
5	4	3	2	1	1

ров встречались неоднократно, следствием чего, строго следуя «букве закона» МАИ, была необходимость исключать такие матрицы.

Еще хуже, что изменение порядка расположения факторов на обратный привело к существенному — до полутора раз! — изменению значений весовых коэффициентов у соответствующих факторов, а это уже повод для отдельного анализа.

Источником данной проблемы является способ нахождения собственного вектора, заложенный в методе Саати, а именно, использование среднего геометрического, не являющегося линейным инвариантом при изменении порядка расположения строк (столбцов), соответствующих факторам.

Эту проблему нельзя относить к уникальным, так как зависимость конечного результата от выбора способа и порядка проведения вычислений присуща многим задачам и неоднократно встречалась в научной и инженерной практике. С каждым таким случаем следует разбираться отдельно. Это может быть характер числовых данных, требования к точности, устойчивости метода и т. д.

Резюмируя вышесказанное, заключаем, что отношение согласованности, используемое в методе анализа иерархий в качестве критерия работы эксперта, по своей сути таковым не является, а его применение приводит к потере информации за счет некорректного исключения экспертов. Поэтому его следует использовать в совокупности с другими методами и оценками. В противном случае исключенные по формальным причинам из расчетов суждения экспертов могут существенным образом сказаться на значениях весовых коэффициентов и кардинально

повлиять на итоговые оценки в методологиях и моделях, где они используются как параметры.

Библиографический список

1. Баденко Н. В., Ваксова Е. И., Иванов Т. С., Ломоносов А. А., Никонова О. Г., Петрошенко М. В. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 4. С. 39–48.
2. Гребенщикова Л. С., Якушев Н. М., Иванова И. Б. Формирование системы показателей для оценки проектных решений в многоэтажном жилищном строительстве // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. 2017. Т. 20, № 3. С. 62–66.
3. Гэлбрейт Дж. К. Экономические теории и цели общества. М.: Прогресс, 1976. 408 с.
4. Коробов В. Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // Научный диалог. 2013. № 3 (15): Естествознание. Экология. Науки о земле. С. 94–108.
5. Коробов В. Б. Теория и практика экспертных методов / под ред. Б. И. Кочурова. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 281 с.
6. Коробов В. Б., Тутыгин А. Г. Классификационные методы решения эколого-экономических задач. Архангельск: Поморский университет, 2010. 310 с.
7. Коробов В. Б., Тутыгин А. Г. Проблемы использования метода анализа иерархий и пути их решения // Экономика и управление. 2016. № 8. С. 60–65.
8. Мелькумов В. Н., Кузнецов И. С., Кузнецов Р. Н. Определение оптимального маршрута трассы газопровода на основе карт стоимости влияющих факторов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 1 (13). С. 21–27.
9. Меньшикова Т. В. О системе критериев и приоритетов при формировании федеральных целевых программ // Экономические и социальные проблемы развития Европейского Севера: сб. науч. тр. Архангельск: АГТУ, 2007. С. 81–88.
10. Мощенко И. Н., Пирогов Е. В. К выбору оценочной шкалы в методе анализа иерархий // Инженерный вестник Дона. 2017. № (47). С. 96.
11. Павлов С. П., Перегудов А. Б. Системный анализ и математические методы принятия решений // Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2013. 144 с.
12. Петровский А. Б. Групповое многокритериальное принятие решений с несовпадающими предпочтениями // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика. 2009. № 15 (70). С. 151–160.

13. Плаксин М. А. Механизм сокращения нагрузки на эксперта при применении метода анализа иерархий // Вестник Пермского университета. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2007. № 7(12). С. 64–70.

14. Романович М. А., Симанкина Т. Л., Ильченко Д. П. Интегральная оценка квалификации строительных рабочих // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 49–53.

15. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

16. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.

17. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

18. Татарова Г. Г. Качественные методы в структуре методологии анализа данных // Социология: методология, методы, математические модели. 2002. № 14. С. 33–52.

19. Тутыгин А. Г., Коробов В. Б. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий // Известия РПГУ им. А. И. Герцена. Сер.: Естественные и точные науки. 2010. № 122. С. 108–115.

20. Thurstone L. L. A law of comparative judgement // Psychological review. 1927. Vol. 34, no. 4. Pp. 273–286.

References

1. Badenko N. V., et al. *Otsenka perspektivnosti gidroenergeticheskogo stroitel'stva v regionakh RF na osnove metoda analiza ierarkhiy* [Assessment of the prospects of hydropower construction in the regions of the Russian Federation on the basis of the analysis of hierarchies method]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal – Journal of engineering and construction*, 2014, no. 4, pp. 39–48.

2. Grebenshchikova L. S., Yakushev N. M., Ivanova I. B. *Formirovanie sistemy pokazateley dlya otsenki proektnykh resheniy v mnogoetazhnom zhilishchnom stroitel'stve* [Formation of system of indicators for evaluation of design decisions in a multi-storey residential building]. *Vestnik IzhGTU im. M. T. Kalashnikova – Bulletin of the IzhSTU named after M. T. Kalashnikov*, 2017, vol. 20, no. 3, pp. 62–66.

3. Gehlbreyt Dzh. K. *Ehkonomicheskie teorii i tseli obshchestva* [Economic theories and goals of society]. Moscow, Progress Publ., 1976, 408 p.

4. Korobov V. B. *Nekotorye problemy primeneniya ehkspertnykh metodov na praktike* [Some problems of application of expert methods in practice]. *Nauchnyy dialog. Estestvoznaniye. Ehkologiya. Nauki o zemle – Scientific dialogue. Natural History. Ecology. Earth Science*, 2013, no. 3 (15), pp. 94–108.

5. Korobov V. B. *Teoriya i praktika ehkspertnykh metodov* [Theory and practice of expert methods]. Ed. by Kochurov B. I. Moscow, NITs INFRA-M Publ., 2019, 281 p.

6. Korobov V. B., Tutygin A. G. *Klassifikatsionnye metody resheniya ehkologo-ehkonomicheskikh zadach* [Classification methods for solving ecological and economic problems]. Arkhangelsk, Pomorskiy Universitet Publ., 2010, 310 p.

7. Korobov V. B., Tutygin A. G. *Problemy ispol'zovaniya metoda analiza ierarkhiy i puti ikh resheniya* [Problems of using the analysis of hierarchies method and the ways of solving them]. *Ehkonomika i upravleniye – Economics and management*, 2016, no. 8, pp. 60–65.

8. Mel'kumov V. N., Kuznetsov I. S., Kuznetsov R. N. *Opreделение optimal'nogo marshruta trassy gazoprovoda na osnove kart stoimosti vliyayushchikh faktorov* [The determination of optimal gas pipeline route based on cost maps of influencing factors]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura – Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Construction. Ser.: Construction and Architecture*, 2009, no. 1 (13), pp. 21–27.

9. Men'shikova T. V. *O sisteme kriteriev i prioriteto pri formirovanii federal'nykh tselevykh program* [About the system of criteria and priorities at developing Federal targeted program]. *Sb. nauch. tr. «Ehkonomicheskie i sotsial'nye problemy razvitiya Evropeyskogo Severa»* [Coll. of sci. works “Economic and social development problems of European North”]. Arkhangelsk, 2007, pp. 81–88.

10. Moshchenko I. N., Pirogov E. V. *K vyboru otsenочноy shkaly v metode analiza ierarkhiy* [About selecting the evaluation scale in the method of hierarchy analysis]. *Inzhenernyy vestnik Dona – Engineering Herald of the Don*, 2017, no. (47), p. 96.

11. Pavlov S. P., Peregudov A. B. *Sistemnyy analiz i matematicheskie metody prinyatiya resheniy* [System analysis and mathematical methods of decision-making]. Saratov, Saratov State Technical University Publ., 2013, 144 p.

12. Petrovskiy A. B. *Gruppovoe mnogokriterial'noe prinyatie resheniy s nesovpadayushchimi predpochteniyami* [Group multicriteria decision-making with mismatched preferences]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: «Ehkonomika. Informatika» – Scientific Bulletin of the Belgorod State University. Ser.: “Economy. Informatics”*, 2009, no. 15 (70), pp. 151–160.

13. Plaksin M. A. *Mekhanizm sokrashcheniya nagruzki na ehksperta pri primeneniі metoda analiza ierarkhiy* [Technique of reducing the burden of the expert when using the method of hierarchy analysis]. *Vestnik Permskogo universiteta. Ser.: «Matematika. Mekhanika. Informatika» –*

Bulletin of the Perm University. Ser.: "Mathematics. Mechanics. Informatics", 2007, no. 7(12), pp. 64–70.

14. Romanovich M. A., Simankina T. L., Il'chenko D. P. *Integral'naya otsenka kvalifikatsii stroitel'nykh rabochikh* [Integral assessment of qualification of construction workers]. *Promyshlenno i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil construction*, 2015, no. 5, pp. 49–53.

15. Saati T. L. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy* [Decision-making. Method of analysis of hierarchies]. Moscow, Radio i Svyaz' Publ., 1993, 278 p.

16. Saati T. L. *Prinyatie resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: analiticheskie seti* [Decision-making under dependencies and feedbacks: analytical networks]. Moscow, LIBROKOM Publ., 2009, 360 p.

17. Saati T., Kerns K. *Analiticheskoe planirovanie* [Analytical planning]. Moscow, Radio i Svyaz' Publ., 1991, 224 p.

18. Tatarova G. G. *Kachestvennye metody v strukture metodologii analiza dannykh* [Qualitative methods in the structure of data analysis methodology]. *Sotsiologiya: metodologiya, metody, matematicheskie modeli – Sociology: methodology, methods, mathematical models*, 2002, no. 14, pp. 33–52.

19. Tutygin A. G., Korobov V. B. *Preimushchestva i nedostatki metoda analiza ierarkhiy* [Advantages and disadvantages of the method of analysis of hierarchies]. *Izvestiya RPGU im. A.I. Gertsena. Ser.: «Estestvennye I tochnye nauki»*. – *Bulletin of the RPSU named after A. I. Herzen. Ser.: "Natural and Exact Sciences"*, 2010, no. 122, pp. 108–115.

20. Thurstone L. L. Law of comparative judgement. *Psychological Review*, 1927, vol. 34, no. 4, pp. 273–286.