

УДК 330.4, 303.425

DOI: 10.26140/anie-2020-0903-0047

**МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ И РАНЖИРОВАНИЕ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ
КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ В СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

© 2020

SPIN: 3144-4596

AuthorID: 159684

Коробов Владимир Борисович, доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории социокультурной динамики развития Арктических регионов РФ

SPIN: 3312-4131

AuthorID: 509170

Тутыгин Андрей Геннадьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории социокультурной динамики развития Арктических регионов РФ

SPIN: 2238-2252

AuthorID: 381257

ResearcherID: D-1867-2019

ORCID: 0000-0003-0298-5248

Чижова Людмила Александровна, кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории социокультурной динамики развития Арктических регионов РФ

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики

им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук

(163000, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23, e-mail: chijova.mila@yandex.ru)

Аннотация. В статье обсуждается методологический вопрос широкого применения в социально-экономических исследованиях и процедурах принятия управленческих решений определенного ряда модельных подходов, использующих, наряду с классическими экономико-статистическими схемами, инструментальный весовых коэффициентов и их совокупностей, получаемых в результате проведения различных экспертно-аналитических процедур. Необходимость такого обсуждения возникла из предыдущего опыта исследовательских работ, проведенных самими авторами и их коллегами в таких областях знаний, как экономика, социология, политология, экология, география. Методологический аспект обсуждаемой проблемы состоит, прежде всего в том, что естественное желание повысить качество объективной составляющей наряду с максимально возможным нивелированием негативных последствий от субъективных оценок не должно приводить исследователя к существенным усложнениям модельных расчетов. Авторами проведено сравнение двух самых популярных методов расчета весовых коэффициентов влияющих факторов – анализа иерархий и ранжирования. Показано, что метод анализа иерархий обладает рядом существенных недостатков, приводящих к необходимости без достаточных на то оснований исключать из рассмотрения суждений экспертов, не соответствующих некоторым формальным критериям. В то же время, по эмпирическим данным было установлено, что результаты этих двух методов высоко коррелированы. В результате численного имитационного эксперимента сделан вывод о том, что оба подхода имеют один порядок точности, а в предельных случаях они близки, но при этом ранжирование существенно проще. Рассмотрены подходы, позволяющие повысить точность весовых коэффициентов, рассчитанных ранжированием факторов.

Ключевые слова: социально-экономические исследования, модельный подход, экспертные оценки, метод анализа иерархий, весовые коэффициенты, ранжирование.

**HIERARCHY ANALYSIS METHOD AND RANKING OF INFLUENCING FACTORS
AS ALTERNATIVE TOOLS IN SOCIO-ECONOMIC RESEARCH**

© 2020

Korobov Vladimir Borisovich, doctor of geographical Sciences,
chief researcher,

Tutugin Andrey Gennadievich, candidate of physical and mathematical Sciences,
associate Professor, leading researcher

Chizhova Lyudmila Alexandrovna, candidate of economic Sciences,
associate Professor, leading researcher

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(163000, Russian Federation, Arkhangelsk, Embankment of the Northern Dvina, 23, e-mail: chijova.mila@yandex.ru)*

Abstract. The article discusses the methodological issue of wide application in socio-economic research and management decision-making procedures of a certain number of model approaches that use, along with the classical economic and statistical schemes, the tools of weight coefficients and their aggregates obtained as a result of various expert-analytical procedures. The need for such a discussion arose from the previous experience of research conducted by the authors themselves and their colleagues in such fields of knowledge as Economics, sociology, political science, ecology, geography. The methodological aspect of the problem under discussion is, first of all, that the natural desire to improve the quality of the objective component along with the maximum possible leveling of negative consequences from subjective evaluations should not lead the researcher to significant complications of model calculations. The authors compared the two most popular methods of calculating the weight coefficients of influencing factors - analysis of hierarchies and ranking. It is shown that the method of analysis of hierarchies has a number of significant drawbacks, leading to the need without sufficient grounds to exclude from consideration the judgments of experts that do not meet some formal criteria. At the same time, empirical data showed that the results of these two methods are highly correlated. As a result of numerical simulation experiment it is concluded that both approaches have the same order of accuracy, and in extreme cases they are close, but the ranking is much easier. The approaches to improve the accuracy of weight coefficients calculated by ranking factors are considered.

Keywords: socio-economic research, model approach, expert evaluation, hierarchy analysis method, weight coefficients, ranking

ВВЕДЕНИЕ

Не секрет, что многие социально-экономические задачи, решаемые на разных уровнях управления, от-

носятся к задачам многокритериального оценивания, при этом большинство из таких задач не имеют точного решения. В случаях отбора и упорядочения влияющих

факторов, необходимых для разработки экономических и прочих моделей, учеными и специалистами используются методы выбора их приоритетов. Наиболее популярными на текущий момент методами расчёта весовых коэффициентов влияющих факторов (выбора приоритетов) являются анализ иерархий и ранжирование.

Отметим, что весовые коэффициенты стали непременным атрибутом большого количества моделей, разрабатываемых не только в экономике, но и в других отраслях: экологии, географии, социологии, политологии, медицине и технике, и сфера их применения неуклонно расширяется. Связано это главным образом с тем, что к предметам исследования предъявляются, с одной стороны, требования по более адекватному их описанию, а с другой – к релевантности информации, количество которой стремительно увеличивается. При этом следует учитывать, что такие модели, с одной стороны, должны содержать не противоречащие ключевым установкам субъективные оценки, генерируемые экспертами и лицами, принимающими решения, с другой – органично включать в свои процедуры и алгоритмы расчетов когнитивные составляющие. Это заставляет принимать во внимание новые факторы и пересматривать установленные ранее связи и их характер между компонентами системы. Данное обстоятельство необходимо учитывать, прежде всего, в так называемых «обратных задачах» принятия решений, имеющих наиболее высокую степень неопределенности [1]. Их ярким примером могут быть названы широко используемые в практике государственного и муниципального управления обязательные процедуры оценки регулирующего воздействия, одной из целей которых является «определение и оценка положительных и отрицательных последствий принятия проекта акта или действующего акта на основе анализа проблемы, цели ее регулирования, способов ее решения» [2].

Приведем ещё несколько примеров социально-экономических исследований, использующих модели с весовыми коэффициентами. Так, в работе [3] проведен анализ инвестиционной привлекательности муниципальных образований региона, где для расчета инвестиционного потенциала и инвестиционного риска авторы использовали весовые коэффициенты влияющих факторов и показателей, включая их в качестве параметров в многофакторную модель.

Наши коллеги использовали весовые коэффициенты применительно к блокам параметров и показателей для расчета различных индексов социо-эколого-экономического развития и освоенности территории в научно-исследовательской работе, посвященной оценке пространственного развития арктических регионов России [4]. При проведении комплексной оценки эффективности реализации государственной социально-экономической политики в северных регионах России в работе [5] авторы с помощью расчета весовых коэффициентов установили ряд критериев, вносящих наибольший вклад в качество составления региональных государственных программ. В работе [6] представлена модель оценки эффективности государственного управления региональным рыбохозяйственным комплексом, в которой значительное место также отводится определению весовых коэффициентов различных критериев. При этом отмечено, что весовые коэффициенты определяют вклад критерия в конечный результат оценки эффективности и указывают долю этого вклада по отношению к другим критериям. В социологических исследованиях также применяется множество моделей, использующих весовые коэффициенты. Например, в статье [7] продемонстрирован пример процедуры построения интегрального индекса качества национальной политики на основе совокупности индикаторов, введенных авторами для измерения этнополитических процессов в регионе. При этом методология исследования построена, в том числе, на применении экспертных методов и процедур.

МЕТОДОЛОГИЯ

Используемый авторами методологический подход заключается в том, что при решении социально-экономических задач исследователю следует избегать существенного усложнения расчетов при повышении качества объективной составляющей наряду с максимально возможным нивелированием негативных последствий от субъективных оценок. Целью исследования является сравнение двух самых популярных методов расчёта весовых коэффициентов влияющих факторов – анализа иерархий и ранжирования. Задачи исследования: рассмотреть недостатки метода анализа иерархий; эмпирически определить корреляцию результатов двух методов расчёта весовых коэффициентов влияющих факторов – анализа иерархий и ранжирования; провести численный имитационный эксперимент порядка точности этих двух методов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспертные методы представляют собой обширный набор разветвлённых процедур, применение которых выходит за рамки разработок моделей процессов и представляет собой самостоятельную задачу [8]. Авторы модели только определяют необходимость использования соответствующих коэффициентов (не обязательно весовых), которые затем находятся отдельно в рамках соответствующих процедур.

Рассчитать весовые коэффициенты можно многими методами, из которых наиболее известными являются методы прямой расстановки, ранжирования и анализа иерархий. Первые два получили широкое распространение из-за своей простоты, последний – вследствие технологичности используемых процедур. Однако эти процедуры оказались далеки от совершенства, хотя, в конечном итоге, давали непротиворечивые результаты [9, 10]. В то же время на эмпирическом материале было показано, что все три перечисленных подхода в итоге дают высоко коррелированные результаты.

Возникает вопрос: если все эти методы дают близкие результаты, то зачем применять более сложный из них – метод анализа иерархий, тем более, что при его использовании приходится исключать результаты большого числа, иногда до половины, участвующих в опросе экспертов. Остановимся на этом вопросе несколько подробнее.

Проблема определения минимально достаточного числа экспертов для получения устойчивых оценок ещё не решена на приемлемом уровне. Для оценки качества работы эксперта обычно используются методы, основанные на отклонении от некоторых «истинных» оценок [11, 12]. Однако никто не знает, каким требованиям должны удовлетворять эти оценки. Поэтому стараются набрать как можно больше эмпирического материала, чтобы затем, используя идеологию закона больших чисел, найти статистически устойчивые оценки.

Этот подход более-менее работает лишь при условии, что мы можем накапливать однородную информацию. Но это происходит лишь в небольшом числе случаев, когда экспертам предлагается решать одну и ту же задачу. Тогда результаты вновь привлечённых экспертов могут сравниваться с ранее полученными стандартными процедурами. Когда же эксперты решают новую задачу, в любом смысле, этот подход уже не работает.

Автор метода анализа иерархий Томас Саати, видимо, из благих побуждений решил заменить «идеального» эксперта генератором случайных чисел [13]. Идея не новая, мы тоже ею воспользуемся в рамках настоящих исследований. Весь вопрос в том, как он это сделал. Подробно это нами разобрано в работе [10] и других публикациях, в которых показано, что «идеальный» эксперт на самом деле таковым не является, и предложенный критерий сравнения с ним, естественно, не работает. Тогда неправомерна и практика отсеивания экспертов по этому критерию.

Средний коэффициент корреляции между весовыми

ми коэффициентами, найденными путём ранжирования и методом анализа иерархий по результатам экспериментов оказался достаточно высоким, превышающим значение 0,8. Это заставляет задуматься о том, стоит ли применять более сложный метод, если более простой и понятный даёт близкие результаты. Не случайно ранжирование факторов столь популярно для нахождения весовых коэффициентов в различных областях знаний и приложениях [14-18 и др.].

Однако, следует отметить, что вышеупомянутый коэффициент корреляции Пирсона характеризует только наличие и тесноту линейной связи, линейный характер имеет и процедура его осреднения. Вместе с тем, во-первых, векторы, составленные из весовых коэффициентов, не всегда корректно рассматривать как случайные выборки, во-вторых, нельзя быть уверенным в отсутствии нелинейных зависимостей. Поэтому подход, основанный на применении только классического корреляционного анализа, может дать ответ на вопрос о близости лишь в самом первом приближении.

В связи с этим вполне приемлемым было бы использовать подход, основанный на изучении отклонений значений показателей. Это могут быть как обычные разности, так и «расстояния» в различных метриках – евклидовой, Хэмминга, Махаланобиса и т.д. Однако, и здесь возникает ряд трудностей, связанных с выбором соответствующих шкал, которые можно хотя бы частично преодолеть, используя предложенный в [19] подход, основанный на решении соответствующих матричных уравнений. Кстати, применяемый при решении таких уравнений итерационный процесс позволяет, с одной стороны, технически избежать еще одной проблемы, присущей уже методу анализа иерархий – отсутствия транзитивности в оценках экспертов, с другой – отслеживать на каждом шаге характеристики вариации показателей.

Не отказываясь от проведения экспериментов, требуется проведение ещё целого ряда параллельных опросов, чтобы установить степень близости результатов, даваемых этими двумя методами. Мы предварительно решили исследовать этот вопрос путём имитационного моделирования. С его помощью были сгенерированы по 10 выборок из 10 факторов каждая для весовых коэффициентов, получаемых ранжированием и находимых методом анализа иерархий. Поскольку распределение весовых коэффициентов, как правило, асимметрично со сдвигом влево ($A_s > 0$), то при генерации случайных чисел нами было выбрано логнормальное распределение величины $X \sim \text{LogN}(\mu, \sigma^2)$ с функцией плотности вероятности:

$$f_X(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Результаты расчётов, осреднённые по 10 выборкам, представлены в таблице 1.

Таблица 1- Весовые коэффициенты, рассчитанные при помощи генератора случайных чисел*

Номер фактора	Ранжирование	Метод анализа иерархий	Разность
1	0.0927	0.1093	-0.0165
2	0.1382	0.1044	0.0338
3	0.1327	0.1061	0.0266
4	0.0891	0.1020	-0.0129
5	0.1055	0.1171	-0.0116
6	0.0673	0.0830	-0.0157
7	0.0873	0.0956	-0.0083
8	0.0873	0.1058	-0.0185
9	0.1073	0.0868	0.0205
10	0.0927	0.0900	0.0027
сумма	1.0000	1.0000	0.0001

* составлено авторами

Расхождения значений весовых коэффициентов между двумя методами различны и варьируют от 3% до 32%. Отклонения имеют различный знак, что и следовало ожидать, и суммарная величина отклонений практически равна нулю, поскольку сумма весовых коэффициентов по определению равна единице. Коэффициент

корреляции, в отличие от эмпирического, оказался существенно ниже, равным 0,42. Но величина отклонений по модулю не так уж и мала, поскольку изменение значений весовых коэффициентов в таких пределах в задачах, где они играют роль ключевого параметра, например, в балльных классификациях, в которых используется всего два параметра – весовой коэффициент и показатель фактора, может привести к переходу объекта или его части в другую категорию [20]. Но далеко не очевидно, что такое же влияние они окажут в моделях другого типа, где они фигурируют, например, под знаком радикала. Этот вопрос требует специального изучения.

С другой стороны, расхождения оценок между отдельными экспертами может быть (и бывают) существенно большими, достигая в методе анализа иерархий 75% (при ранжировании и прямой расстановке они могут быть ещё выше), то есть оценки становятся противоположными. Коэффициент вариации при этом часто превышает 50%, причём, его значение не зависит от квалификации экспертов. Поэтому отклонения экспертных оценок весовых коэффициентов в 30-40% считаются вполне естественными [21].

Относительно низкое значение коэффициента корреляции в таком модельном случае заставило нас рассмотреть предельную ситуацию, когда факторы образуют строгую иерархию: ранги не объединяются [19], а в матрице парных сравнений в методе анализа иерархий каждый фактор строго больше либо меньше предыдущего. Так бывает, когда все эксперты думают примерно одинаково (такие ситуации встречаются, когда задача чётко формализована, критерии оценки ситуации понятны, эксперты примерно равной квалификации и в данном вопросе придерживаются сходных позиций). Тогда совокупность экспертов можно заменить одним, поскольку результаты всех их будут близкими. Расчёты, выполненные для этого случая, приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Весовые коэффициенты, рассчитанные при помощи генератора случайных чисел для строгой иерархии*

Номер фактора	Ранжирование	Метод анализа иерархий	Разность
1	0.0182	0.0091	0.0090
2	0.0364	0.0169	0.0194
3	0.0545	0.0293	0.0253
4	0.0727	0.0475	0.0253
5	0.0909	0.0724	0.0185
6	0.1091	0.1037	0.0054
7	0.1273	0.1392	-0.0119
8	0.1455	0.1747	-0.0292
9	0.1636	0.2037	-0.0400
10	0.1818	0.2037	-0.0218
сумма	1.0000	1.000	0.0000

* составлено авторами

Сразу отметим, что коэффициент корреляции существенно повысился и стал равным 0,98, что говорит о практически полном совпадении когнитивной логики экспертов. При этом средняя величина отклонений в обоих случаях оказались одного и того же порядка, а при строгой иерархии даже несколько ниже: 0,0206 и 0,0167, соответственно.

Близость результатов применения этих методов может быть ещё выше, если ранжирование сделать более точным. Дело в том, что весовые коэффициенты, рассчитываемые этим методом, пропорциональны константе, равной обратной величине суммы рангов:

$$S = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i}$$

где r_i – ранг фактора, $i = 1, \dots, n$ – порядковый номер ранга. Это означает, что весовые коэффициенты, получаемые ранжированием, будут равномерно распределены внутри интервала, в то время, как получаемые методом анализа иерархий и особенно прямой расстановкой, могут принимать внутри этого же интервала большее число значений. Особенно актуально это для небольшого числа факторов, когда оценки становятся более грубыми вследствие увеличения дискретности.

Уменьшить дискретность можно посредством разбивания градаций на дополнительные категории. Проще всего вводить ещё три градации, что существенно облегчает работу эксперта, поскольку позволяет принимать решения и давать оценки по принципу «середина», «больше», «меньше». Так обычно и поступают, когда состояние объекта позволяет это сделать [22].

Такой подход даёт возможность также получить более адекватные оценки при желании эксперта иметь в своём распоряжении близкие, но не равные (это возможно, когда двум и более факторам присваиваются одинаковые ранги), значения весовых коэффициентов. Прямая расстановка это позволяет сделать без проблем, метод анализа иерархий, в общем, тоже, а вот при ранжировании возникают сложности, обусловленные дискретностью вследствие необходимости соотнесения оценок к разным рангам. Эта проблема носит общий методологический характер и относится ко всем видам вербально-числовых шкал.

Есть ещё один путь: перераспределение «вручную» значений соседних весовых коэффициентов, при этом их сумма должна оставаться прежней. Пример, как это может происходить, приведён в таблице 3. Индексами a и b отмечены принадлежность значений весовых коэффициентов «до» и «после» перераспределения, соответственно.

Таблица 3 - Перераспределение весовых коэффициентов*

Факторы		Разница	Сумма
$k_{a1} = 0.099$	$k_{a2} = 0.101$	0.002	0.200
$k_{b1} = 0.087$	$k_{b2} = 0.113$	0.026	0.200

* составлено авторами

Аналогичного результата можно добиться, если позволять экспертам оставлять «пустые» ранги, но это предложение выглядит слишком искусственным. Лучше уж разбивать ранг на дополнительные градации, так будет понятнее для самих экспертов. Также можно задавать некоторое распределение коэффициентов внутри интервала, определяемого границами рангов, чтобы использовать его значение в качестве параметра. Этот вопрос, однако, весьма спорный и требует специальных исследований и эмпирической проверки.

Для полноты изложения следует упомянуть и о таком методе перераспределения весовых коэффициентов, как аналитические сети [13]. В них исходные значения весовых коэффициентов рассматриваются как начальные и при большом числе итераций, что имеет место в сложных сетях при оценке десятков факторов, когда учитываются не только прямые, но и опосредованные и косвенные связи, а эффект дискретизации сводится к минимуму.

Скажем несколько слов о методе простой расстановки, который является наиболее простым и также высоко коррелируемым ($r > 0,8$) с двумя рассматриваемыми методами. Он также широко применяется, но обладает одним существенным недостатком: хорошо работает при небольшом, не более 6-7, количестве факторов. При превышении этого числа уже начинается подгонка.

ВЫВОДЫ

Таким образом, для решения многокритериальных социально-экономических задач (например, задач выбора, принятия управленческих решений, оптимизации транспортных потоков, управления ресурсами в целях развития территории и многих других) – где требуется определить ранг влияющих факторов, для расчёта весовых коэффициентов целесообразнее использовать метод ранжирования, который не уступает по точности методу анализа иерархий, но при этом свободен от целого ряда присущих ему недостатков. При этом он значительно проще для применения и позволяет естественным обра-

зом выстраивать последовательность факторов. Это позволяет широко применять ранжирование для решения широкого класса задач, особенно на предварительных стадиях исследования, где большая точность не требуется, а определяющими являются качественные оценки.

Точность расчёта весовых коэффициентов можно повысить, применяя некоторые технически простые средства, такие, как непосредственное перераспределение значений соседних весовых коэффициентов и введение дополнительных градаций внутри рангов. При этом не обязательно каждый ранг делить на одинаковое число градаций. Соответствующие алгоритмы перерасчёта весовых коэффициентов несложно разработать уже применительно к конкретным классам задач. В первую очередь, это относится к различным задачам социо-эколого-экономического характера [23], в которых качественные выводы зачастую имеют для исследователя превалирующую значимость, нежели результаты модельных расчётов, которые, как правило, являются лишь численным подтверждением соответствующих гипотез.

Авторы считают, что среди нескольких подходов расчётов весовых коэффициентов факторов метод ранжирования является, в определённом смысле, компромиссным, сочетающим в себе простоту реализации и логическую обоснованность результатов, и рекомендуют именно его для использования в социально-экономических исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ширяев В.И., Ширяев Е.В. Принятие решений: Математические основы. Статические задачи: Учебное пособие. Изд. стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. 208 с.
2. Федеральный закон от 2 июля 2013 года № 176-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации” и статьи 7 и 46 Федерального закона “Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации” по вопросам оценки регулирующего воздействия проектов нормативных правовых актов и экспертизы нормативных правовых актов».
3. Тутыгин А.Г., Чижова Л.А., Матвиенко И.И. Анализ инвестиционной привлекательности муниципальных образований Архангельской области // Экономика и управление. 2012. № 10 (84). С. 40-48.
4. Шеломенцев А.Г., Уханова А.В., Смиреникова Е.В., Воронина Л.В. Оценка пространственного развития регионов Арктической зоны Российской Федерации // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2018. № 4 (56). https://elibrary.ru/download/elibrary_36685595_76135995.pdf
5. Смиреникова Е.В., Воронина Л.В., Уханова А.В., Губина О.В., Проворова А.А. Комплексная оценка эффективности реализации государственной социально-экономической политики в северных регионах России // Фундаментальные исследования. 2016. № 4-2. С. 435-444.
6. Торцев А.М. Инструментарий оценки эффективности государственного управления региональным рыбохозяйственным комплексом // Проблемы развития территории. 2018. № 1 (93). С. 71-82.
7. Максимов А.М., Вережагин И.Ф., Задорин М.Ю. Методические проблемы эмпирических исследований этнополитических и этносоциальных процессов в регионах российской Арктики // Арктика и Север. 2018. № 30. С. 97-119.
8. Петраков Н.Я. Избранное: Т.1. – М.: СПб.: Нестор-История, 2012. 368 с.
9. Коробов В.Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // Научный диалог. Естественное. Экология. Наука о земле. 2013. № 3 (15). С. 94-108.
10. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Проблемы использования метода анализа иерархий и пути их решения // Экономика и управление. 2016. № 8. с. 60-65.
11. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. – М.: Дело, 2004. 400 с.
12. Татарова Г.Г. Качественные методы в структуре методологии анализа данных // Социология: методология, методы, математические модели. 2002. № 14. С. 33-52.
13. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.
14. Ашманов И.С., Иванов А.А. Продвижение сайта в поисковых системах. – СПб.: ИД Вильямс, 2011. 304 с.
15. Бакуменко Л.П. Методика априорного ранжирования факторов качества жизни населения // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2011. № 1. С. 142-149.
16. Дербишер Е.В., Позорелов П.И., Гермашев И.В., Дербишер В.Е. Априорное ранжирование факторов при расчёте индекса экологической опасности веществ с использованием нечётких множеств // Химическая промышленность сегодня. 2006. № 8. С. 48-56.
17. Озорнин С.П., Бердникова И.Е. Ранжирование факторов условий эксплуатации, оказывающих негативное влияние на изменение

технического состояния транспортно-технологических машин // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. т. 21. № 3 (122). С. 145-154.

18. Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Академия, 2009. 400 с.

19. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. - 957 с.

20. Коробов В.Б., Середкин К.А. Применение экспертных сетей для экологического районирования Белого моря // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 3. С. 81-87.

21. Томашевский И.Л. Оценка погрешности метода анализа иерархий // Экономика и математические методы. 2014. № 1. С. 55-60.

22. Кочуров Б.И., Лобковский В.А., Смирнов А.Я. Эффективность и культура природопользования. – М.: РУСАЙНС, 2018. 162 с.

23. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Классификационные методы решения эколого-экономических задач. – Архангельск, Поморский университет, 2010. - 310 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (№ государственной регистрации проекта - АААА-А19-119020490098-1).

Статья поступила в редакцию 10.06.2020

Статья принята к публикации 27.08.2020