

УДК 004.41: 621.22

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ Т. СААТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕСОВ АЛЬТЕРНАТИВ ПРИ СИНТЕЗЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Золотухин С.И., Синёв М.Ю., Шмойлов А.О.

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: vaiu@mil.ru*

Настоящая статья посвящена примеру решения многокритериальной задачи по поиску оптимальной структуры энергетической системы перспективной гидравлической установки с применением метода анализа иерархий модифицированного в части использования дифференцированной шкалы относительной важности, а также индекса достоверности. Под энергетической системой гидравлической установки в данном случае понимается система, включающая все элементы преобразующие энергию от первоначального источника до потребителя. Синтез оптимальной структуры энергетической системы перспективной гидравлической установки осуществлялся в два этапа. На первом, используя индекс достоверности, уточняется обобщенный локальный вектор приоритетов оценок экспертов. На втором этапе, применяя дифференцированную шкалу относительной важности, формируется обобщенный локальный вектор приоритетов альтернатив по каждому критерию. Применение данной модификации позволяет снизить влияние субъективности мнений экспертов и получить более точное распределение в глобальном приоритете с учетом индекса достоверности.

Ключевые слова: индекс достоверности, энергетическая система, дифференцированная шкала относительной важности, гидравлическая установка, матрица парных сравнений, обобщенный вектор приоритетов

MODIFICATION OF T. SAATY METHOD OF HIERARCHIES ANALYSIS FOR CALCULATION OF ALTERNATIVES IN THE SYNTHESIS OF OPTIMUM STRUCTURE HYDRAULIC EQUIPMENT ENERGY SYSTEM

Zolotukhin S.I., Sinev M.Yu., Shmoylov A.O.

*Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational
and Scientific Centre of the air force N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin air Force Academy»
the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh, e-mail: vaiu@mil.ru*

The present article is devoted to an example of the solution of a multicriteria task of search of optimum structure of a power system of perspective hydraulic installation with application of a method of the analysis of hierarchies modified regarding use of the differentiated scale of relative importance and a reliability index as well. The power system of hydraulic installation in this case is understood as the system including all elements transforming energy from an initial source to the consumer. Synthesis of optimum structure of a power system of perspective hydraulic installation was carried out in two stages. On the first, using a reliability index, the generalized local vector of priorities of estimates of experts is specified. At the second stage, applying the differentiated scale of relative importance, the generalized local vector of priorities of alternatives by each criterion is formed. Application of this modification allows to reduce influence of experts opinions subjectivity and to receive more exact distribution in a global priority taking into consideration a reliability index.

Keywords: reliability index, power generating system, the differentiated scale of relative importance, hydraulic unit, matrix of pair comparisons, the generalized vector of priorities

В настоящее время продолжает быть актуальной проблема решения многокритериальных оптимизационных задач. В таких задачах необходимо учесть достаточно большое количество критериев или параметров, причем не просто учесть, а выстроить их в каком-либо порядке – ранжировать или определить приоритетность. Как правило, такого рода задачи встречаются при аналитическом планировании, построении систем принятия решения, оценке инновационных проектов, предварительном проектировании систем различного назначения [7, 9].

При решении вышеуказанных задач хорошо зарекомендовал себя метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским математиком Томасом Саати [3, 13]. Данный метод основан на парном сравнении критериев или параметров на каждом уровне иерархии и, соответственно, выстраивании локальных векторов приоритетов, а затем формировании на их основе глобального или обобщенного вектора приоритетов.

Достоинством МАИ является высокая универсальность, наглядность, способность учитывать любое количество критериев или параметров, а также возможность

безболезненно для общего решения рассматриваемой задачи добавлять и убирать факторы либо критерии. МАИ достаточно популярен. На его основе пишутся различные программные продукты, к примеру «MPRIORITY 1.0» [12].

Однако наличие в МАИ элементов, зависящих от субъективного мнения экспертов, в конечном итоге вносит некоторую неточность. Также могут возникнуть трудности с согласованностью выдаваемых экспертами оценок, коэффициентом конкордации и, наконец, с тем, как множество оценок экспертов «привести к общему знаменателю». Если рассматривать согласованность и коэффициент конкордации, то здесь все зависит от того, насколько качественно подобрана группа экспертов, а также насколько они компетентны в рассматриваемом вопросе. Что касается «приведения к общему знаменателю», то обычно эта проблема решается усреднением значений, другими словами, складываются все оценки и делятся на количество экспертов, участвующих в опросе.

Авторами статьи предлагается модификация известного метода анализа иерархий, которая будет заключаться во введении индекса достоверности (ИД) и дифференцированной шкалы относительной важности. Всем известно, что на мыслительную деятельность человека и возможность принятия им адекватных решений влияют различные факторы. Эксперт не является исключением. В связи с этим, для повышения точности получаемых результатов, предлагается ввести индекс достоверности. Он будет формироваться на основе индекса согласованности, отвечающего за числовую и транзитивную согласованность. Также предлагается заменить шкалу относительной важности, разработанную Т. Саати, на дифференцированную шкалу, оценки в которой будут получаться из прямых или обратных соотношений характеристик или параметров, посчитанных для той или иной альтернативы.

Так как в целом МАИ предназначен для поиска глобального приоритета, то в общем виде его можно представить как решение задачи максимизации. Другими словами, глобальный вектор приоритетов определяет максимально выгодное значение среди возможных альтернатив. В таком случае, если брать прямые отношения характеристик или параметров альтернатив, то в результате всех операций в приоритете будут те альтернативы, которые обладают наибольшими показателями характеристик или параметров. Как же быть, если необходимо выделить в приоритет альтернативы с меньшими показателями, т.е. решить задачу минимизации. В таком случае, когда применяется дифференцированная шкала относительной важности, авторами статьи предлагается производить транспонирование матрицы оценок, для того чтобы альтернативы с минимальными показателями характеристик или параметров оказывались в приоритете.

Предложенную модификацию метода анализа иерархий предлагается рассмотреть на примере решения многокритериальной задачи по поиску оптимальной структуры энергетической системы перспективной гидравлической установки для наземного технического обслуживания летательных аппаратов различного типа. В данном случае под энергетической системой будут подразумеваться все элементы, участвующие в преобразовании энергии от источника до потребителя. К примеру, в качестве источника может выступать двигатель внутреннего сгорания, а конечным потребителем будет гидравлический насос. Условия задачи требуют выбрать структуру энергетической системы перспективной гидравлической установки с минимальной потребляемой мощностью, минимальной стоимостью и массой, а также с максимальной удельной мощностью и коэффициентом полезного действия (КПД).



Рис. 1. Декомпозиция решаемой задачи на уровни и представление в виде доминантной иерархии

		K1	K2	K3	K4	K5
Эксперт №1	K1	1	7	3	2	3
	K2	1/7	1	1/2	1/3	1/4
	K3	1/3	2	1	1/2	3
	K4	1/2	3	2	1	1/3
Эксперт №2	K1	1	8	4	3	2
	K2	1/8	1	1/3	1/4	1/3
	K3	1/4	3	1	1/3	3
	K4	1/3	4	3	1	1/3
Эксперт №3	K1	1	6	2	5	3
	K2	1/6	1	1/4	1/3	1/2
	K3	1/2	4	1	1/2	4
	K4	1/5	3	2	1	1/5
Эксперт №4	K1	1	8	2	3	2
	K2	1/8	1	1/4	1/2	1/4
	K3	1/2	4	1	2	1
	K4	1/3	2	1/2	1	1/2
Эксперт №5	K1	1	6	1	2	2
	K2	1/6	1	1/6	1/3	1/3
	K3	1	6	1	2	2
	K4	1/2	3	1/2	1	1

Рис. 2. Матрицы 2-го уровня оценок экспертов. Примечание. K1 – мощность, K2 – масса, K3 – удельная мощность, K4 – КПД, K5 – стоимость

Проведем декомпозицию задачи и представим её в виде иерархии, где на первом (высшем) уровне находится цель – структура энергетической системы перспективной гидравлической установки. На втором уровне пять критериев, уточняющих цель, и на третьем уровне располагаются альтернативные варианты структур, которые будут оценены по отношению к критериям второго уровня (рис. 1) [6].

Составляем матрицу парных сравнений 2-го уровня по пяти критериям. Так как в нашем примере на данном уровне иерархии невозможно определить степень важности одного критерия над другим, например стоимости над мощностью, то необходимо прибегнуть к опросу группы экспертов с целью получения оценок по шкале относительной важности, разработанной Т. Саати [8, 10, 11]. Коллективом экспертов из пяти человек, были выставлены следующие оценки относительной важности критериев (рис. 2).

Каждая из полученных матриц обладает индексом согласованности (ИС), который дает информацию о степени нарушения кардинальной (численной) и транзитивной (порядковой) согласованности [5]. ИС вычисляется по следующей формуле:

$$ИС = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)}, \quad (1)$$

где $\lambda_{\max}$ – максимальное собственное значение матрицы, n – размерность матрицы.

Как известно, измерения подвержены как объективным, так и субъективным погрешностям. В целом наличие такого рода погрешностей может привести к несогласованным (противоречивым) выводам. К примеру, при взвешивании предметов измерения могут показать, что А тяжелее, чем Б, Б тяжелее В, однако В тяжелее А. Такое может произойти, когда веса предметов близки, а измерительный прибор

недостаточно точен. Или другой случай, когда эксперт, отвечая на вопрос: «Какова приоритетность критерия мощности над критерием массы?», присваивает ему значение 6/1. Затем отвечая на вопрос: «Какова приоритетность критерия мощности над критерием КПД?», присваивает ему значение 2/1. Далее, ответив еще на десяток подобных вопросов, скорее всего, не учтет соотношений 6/1, 2/1 и на вопрос «Какова приоритетность критерия КПД над критерием массы?» ответит, исходя из каких-то внутренних (подсознательных) соображений, например, 2/1. Однако, если к данному вопросу подойти строго математически, то необходимо было ответить 3/1, так как

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\text{Мощность}}{\text{Масса}} := \frac{6}{1} \\ \frac{\text{Мощность}}{\text{КПД}} := \frac{2}{1} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{\text{КПД}}{\text{Масса}} = \frac{3}{1}. \quad (2)$$

Таким образом, чем большее факторов, мешающих эксперту ответить максимально точно и сосредоточенно, а также, чем меньше он компетентен в конкретном вопросе, тем больше у него будет величина ИС. Поэтому ИС логичнее было назвать индекс рассогласованности, но это прерогатива автора МАИ – Т. Саати. Так же необходимо упомянуть об индексе отношения согласованности (ОС) – это тот же ИС, но отнесенный к индексу случайной согласованности матрицы (СС). Индекс СС представляется табличными значениями и посчитан для матриц различной размерности, заполненных случайными числами. К примеру, если ОС составляет более 20%, с учетом необходимой точности решения поставленной задачи, рекомендуется пересмотреть ответы данные экспертом и скорректировать их в сторону уменьшения ОС до значений хотя бы меньших 20%.

Предлагаемая авторами статьи модификация направлена на снижение влияния ответов экспертов с большим индексом согласованности на конечный результат

многокритериальной оптимизационной задачи. Уменьшение указанного влияния предлагается осуществлять через введение индекса достоверности. Получать данный индекс предлагается следующим образом:

$$\text{ИД} = \frac{\left(1 - \frac{\text{ИС}}{\text{СС}}\right)}{N}, \quad (3)$$

где ИД – индекс доверия, ИС – индекс согласованности, СС – индекс случайной согласованности, N – количество экспертов, участвовавших в опросе.

Теперь рассмотрим, как же встраивается предложенный индекс достоверности (ИД) в общий алгоритм МАИ. Из группы матриц 2-го уровня, полученных в результате опроса экспертов, сформируем набор локальных приоритетов оценок экспертов, которые выражают относительное превосходство одних критериев над другими в соответствии с мнением конкретного эксперта. Получаем следующие векторы локальных приоритетов оценок экспертов:

Эксперт № 1	Эксперт № 2	Эксперт № 3	Эксперт № 4	Эксперт № 5
$\begin{bmatrix} 2,20 \\ 0,30 \\ 1,04 \\ 0,95 \\ 1,11 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2,32 \\ 0,26 \\ 0,99 \\ 1,04 \\ 1,11 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2,30 \\ 0,31 \\ 1,36 \\ 0,84 \\ 1,08 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2,03 \\ 0,27 \\ 1,07 \\ 0,57 \\ 1,07 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1,58 \\ 0,26 \\ 1,58 \\ 0,79 \\ 0,79 \end{bmatrix}$

Мы не будем вдаваться в подробности, как из матрицы оценок получить вектор приоритетов, так как это достаточно хорошо описано в работах [1–4], поэтому продолжим рассмотрение задачи далее. В классическом варианте МАИ из пяти полученных векторов локальных приоритетов оценок экспертов необходимо получить один обобщенный вектор путем усреднения:

$$\begin{bmatrix} (2,20 + 2,32 + 2,30 + 2,03 + 1,58)/5 \\ (0,30 + 0,26 + 0,31 + 0,27 + 0,26)/5 \\ (1,04 + 0,99 + 1,36 + 1,07 + 1,58)/5 \\ (0,95 + 1,04 + 0,84 + 0,57 + 0,79)/5 \\ (1,11 + 1,11 + 1,08 + 1,07 + 0,79)/5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,09 \\ 0,28 \\ 1,21 \\ 0,84 \\ 1,03 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
		162882,2	248376,2	454009,7	646586,6	646586,6	1029323,5	1221900,4	1221900,4	594824	787400,4	787400,4
B1	162882,2	1,00	0,66	0,36	0,25	0,25	0,16	0,13	0,13	0,27	0,21	0,21
B2	248376,2	1,52	1,00	0,55	0,38	0,38	0,24	0,20	0,20	0,42	0,32	0,32
B3	454009,7	2,79	1,83	1,00	0,70	0,70	0,44	0,37	0,37	0,76	0,58	0,58
B4	646586,6	3,97	2,60	1,42	1,00	1,00	0,63	0,53	0,53	1,09	0,82	0,82
B5	646586,6	3,97	2,60	1,42	1,00	1,00	0,63	0,53	0,53	1,09	0,82	0,82
B6	1029323,5	6,32	4,14	2,27	1,59	1,59	1,00	0,84	0,84	1,73	1,31	1,31
B7	1221900,4	7,50	4,92	2,69	1,89	1,89	1,19	1,00	1,00	2,05	1,55	1,55
B8	1221900,4	7,50	4,92	2,69	1,89	1,89	1,19	1,00	1,00	2,05	1,55	1,55
B9	594823,5	3,65	2,39	1,31	0,92	0,92	0,58	0,49	0,49	1,00	0,76	0,76
B10	787400,4	4,83	3,17	1,73	1,22	1,22	0,76	0,64	0,64	1,32	1,00	1,00
B11	787400,4	4,83	3,17	1,73	1,22	1,22	0,76	0,64	0,64	1,32	1,00	1,00

Рис. 3. Матрица парных сравнений альтернатив по критерию стоимости

		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
		162882,2	248376,2	454009,7	646586,6	646586,6	1029323,5	1221900,4	1221900,4	594823,5	787400,4	787400,4
B1	162882,2	1,00	1,52	2,79	3,97	3,97	6,32	7,50	7,50	3,65	4,83	4,83
B2	248376,2	0,66	1,00	1,83	2,60	2,60	4,14	4,92	4,92	2,39	3,17	3,17
B3	454009,7	0,36	0,55	1,00	1,42	1,42	2,27	2,69	2,69	1,31	1,73	1,73
B4	646586,6	0,25	0,38	0,70	1,00	1,00	1,59	1,89	1,89	0,92	1,22	1,22
B5	646586,6	0,25	0,38	0,70	1,00	1,00	1,59	1,89	1,89	0,92	1,22	1,22
B6	1029323,5	0,16	0,24	0,44	0,63	0,63	1,00	1,19	1,19	0,58	0,76	0,76
B7	1221900,4	0,13	0,20	0,37	0,53	0,53	0,84	1,00	1,00	0,49	0,64	0,64
B8	1221900,4	0,13	0,20	0,37	0,53	0,53	0,84	1,00	1,00	0,49	0,64	0,64
B9	594823,5	0,27	0,42	0,76	1,09	1,09	1,73	2,05	2,05	1,00	1,32	1,32
B10	787400,4	0,21	0,32	0,58	0,82	0,82	1,31	1,55	1,55	0,76	1,00	1,00
B11	787400,4	0,21	0,32	0,58	0,82	0,82	1,31	1,55	1,55	0,76	1,00	1,00

Рис. 4. Транспонированная матрица оценок альтернатив по критерию стоимости

Однако авторами статьи предлагается следующая модификация МАИ. Сначала необходимо подсчитать ИС для каждой матрицы оценок соответствующего эксперта. Вычисление ИС достаточно трудоемкий итерационный процесс, в первую очередь связанный с необходимостью вычисления максимального собственного числа матрицы. В связи с этим в рамках данной статьи подсчет ИС нецелесообразен, поэтому мы его пропустим и представим готовые значения для каждой матрицы оценок экспертов соответственно: ИС № 1 = 0,19; ИС № 2 = 0,23; ИС № 3 = 0,31; ИС № 4 = 0,005; ИС № 5 = 0. Далее используя (3) и табличное значение индекса случайной согласованности (для матриц размерностью 5×5 $CC = 1,12$), получим индексы достоверности, из которых сформируем вектор доверия:

$$\begin{cases} (1 - 0,19/1,12)/5 = 0,17; \\ (1 - 0,23/1,12)/5 = 0,16; \\ (1 - 0,31/1,12)/5 = 0,14; \\ (1 - 0,005/1,12)/5 = 0,199; \\ (1 - 0/1,12)/5 = 0,2. \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0,17 \\ 0,16 \\ 0,14 \\ 0,199 \\ 0,20 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Затем из векторов локальных приоритетов оценок экспертов формируем матрицу $m \times n$, где m – число строк равное числу строк в векторе локального приоритета оценок соответствующего эксперта, а n – число столбцов равное числу экспертов, участвовавших в опросе. После чего умножаем получившуюся матрицу на вектор доверия и получаем общий локальный вектор приоритетов оценок экспертов

скорректированный с учетом индекса достоверности:

$$\begin{bmatrix} 2,20 & 2,32 & 2,30 & 2,03 & 1,58 \\ 0,30 & 0,26 & 0,31 & 0,27 & 0,26 \\ 1,04 & 0,99 & 1,36 & 1,07 & 1,58 \\ 0,95 & 1,04 & 0,84 & 0,57 & 0,79 \\ 1,11 & 1,11 & 1,08 & 1,07 & 0,79 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,17 \\ 0,16 \\ 0,14 \\ 0,199 \\ 0,20 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,79 \\ 0,24 \\ 1,06 \\ 0,72 \\ 0,89 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Вектор локальных приоритетов оценок экспертов (4) и вектор (6), уточненный индексом достоверности, приблизительно равны. Однако вектор (6) представлен значениями со сниженным уровнем влияния оценок экспертов, у которых относительно большой индекс согласованности. Тем самым повышается точность обобщенного локального вектора приоритетов оценок экспертов в десяти- или двадцатипроцентном «коридоре» в зависимости от условий решаемой задачи.

Далее рассмотрим применение дифференцированной шкалы относительной важности при сравнении альтернатив в матрице 3-го уровня по пяти критериям. Как отмечалось выше, в МАИ на всех уровнях иерархии применяется шкала относительной важности, разработанная Т. Саати. В таких случаях распределение приоритетности альтернатив зависит лишь от мнения эксперта. С целью снижения влияния субъективности мнений экспертов авторами статьи предлагается вместо оценок экспертов использовать оценки, получаемые посредством взятия прямых и обратных отношений характеристик или параметров сравниваемых альтернатив. Такой подход позволяет управлять степенью влияния ЛПР на конечный результат. Здесь под степенью влияния подразумевается, какие данные в таблице парных сравнений будет использовать ЛПР. Возможно, оно будет в большей степени опираться на данные, полученные от субъективных высказываний приглашенных экспертов, и в меньшей – на статистические данные, параметры и характеристики. Также возможна обратная ситуация, когда ЛПР попытается максимально снизить влияние субъективных мнений экспертов и по возможности работать с сухими статистическими данными. Шкалу относительной важности в таком случае целесообразно

назвать дифференцированной, так как она формируется по каждому критерию отдельно, исходя из минимального и максимального значения параметра или характеристики соответствующей альтернативы. Построим матрицу 3-го уровня, в которой сравниваются альтернативы по критерию стоимости, применяя дифференцированную шкалу относительной важности (рис. 3).

Исходя из представленной на рис. 3 матрицы получаем следующий вектор локального приоритета по критерию стоимости:

$$\begin{bmatrix} 0,02 \\ 0,03 \\ 0,06 \\ 0,08 \\ 0,08 \\ 0,13 \\ 0,16 \\ 0,16 \\ 0,08 \\ 0,10 \\ 0,10 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Как видно из рис. 3 и вектора (7), в приоритет выдвигается альтернатива с максимальной стоимостью, что является в общем виде следствием реализации классического подхода МАИ к решению задачи максимизации. Для того, чтобы выдвинуть в приоритет альтернативу с меньшей стоимостью, при решении задачи с использованием дифференцированной шкалы относительной важности необходимо провести транспонирование полученной матрицы оценок альтернатив (рис. 4).

После транспонирования вектор локального приоритета по критерию стоимости примет вид

$$\begin{bmatrix} 0,28 \\ 0,18 \\ 0,10 \\ 0,07 \\ 0,07 \\ 0,04 \\ 0,04 \\ 0,04 \\ 0,08 \\ 0,06 \\ 0,06 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Как видно из вектора (8), приоритеты перераспределились и максимальное значение стало принадлежать альтернативе с минимальной стоимостью, что и требовалось по условию задачи. В остальном решение задачи принимает классический вид МАИ и поэтому в рамках данной статьи не требует дальнейшего рассмотрения.

Таким образом, предложенная модификация известного метода анализа иерархий в части введения индекса достоверности позволяет скорректировать оценки экспертов и тем самым повысить точность получаемых результатов при формировании обобщенного локального приоритета экспертов. В свою очередь использование дифференциальной шкалы относительной важности с операцией транспонирования дает возможность решить в комплексе задачу максимизации и минимизации, что отсутствовало в классическом варианте МАИ. При этом на третьем уровне иерархии при сравнении альтернатив исключаются элементы субъективности, возникавшие из оценок экспертов.

Список литературы

1. Баденко Н.В. и др. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 4(48). – С. 39–48.
2. Бродский Я.С. Статистика. Вероятность. Комбинаторика. – Москва: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2008. – 544 с.
3. Верескун В.Д. Экспертные оценки в производственно-транспортных процессах: вопросы организации, моделирования и управления // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 4–3. – С. 485–489.
4. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления. – М.: Мир, 1999. – 548 с.
5. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2010. – № 122. – С. 108–115.
6. Котлярова Н.А. Экономико-математические методы и модели оценки потребительского качества информационных систем и технологий в образовательном процессе: Автореф. дис. канд. эконом. наук. – Ростов-на Дону, 2009. – 27 с.
7. Лебедева А.В. Разработка методических рекомендаций по оценке стратегических рисков методом анализа иерархий // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 4–3. – С. 613–617.
8. Малин А.С., Мухин В.И. Исследование систем управления // Учебник для вузов. – Москва: ГУ ВШУ, 2002. – 400 с.
9. Попов С.И., Рогозин Е.А., Рослов С.Ю. Анализ современных методов и алгоритмов оптимизации на этапе формирования структуры и состава комплекса технических средств защиты информации на объекте информатизации // Вестник ВГТУ. – 2009. – Т. 5, № 6. – С. 83–85.
10. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем [Перевод с английского Р.Г. Вачнадзе]. – Москва: Издательство «Радио и связь», 1991. – 224 с.
11. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях // Аналитические сети. – Москва: Librokom, 2011. – 357 с.
12. Селюков М.В. Процесс постановки целей в системе менеджмента организации // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 3.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4700>.
13. Таланова М.Е. Будущее транспорта на 2030 г. Планирование от достигнутого // Сборник статей лауреатов XVI Межрегиональной конференции-фестиваля научного творчества учащейся молодежи «Юность Большой Волги». – Чебоксары, 2014. – 578 с.
1. Badenko N.V. i dr. Ocena perspektivnosti hidroenergetickogo stroitelstva v regionah RF na osnove metoda analiza ierarhij // Inzhenerno-stroitelnyj zhurnal. 2014. no. 4(48). pp. 39–48.
2. Brodskij Ja.S. Statistika. Verojatnost. Kombinatorika. Moskva: OOO «Izdatelstvo «Mir i Obrazovanie», 2008. 544 p.
3. Vereskun V.D. Jekspertnye ocenki v proizvodstvenno-transportnyh processah: voprosy organizacii, modelirovanija i upravlenija // Fundamentalnye issledovanija. 2016. no. 4–3. pp. 485–489.
4. Golub Dzh., Van Loun Ch. Matrichnye vychislenija. M.: Mir, 1999. 548 p.
5. Korobov V.B., Tutygin A.G. Preimushhestva i nedostatki metoda analiza ierarhij // Izvestija Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gercena. 2010. no. 122. pp. 108–115.
6. Kotljaroja N.A. Jekonomiko-matematicheskie metody i modeli ocenki potrebitelskogo kachestva informacionnyh sistem i tehnologij v obrazovatelnom processe: Avtoref. dis. kand. jekonom. nauk. Rostov-na Donu, 2009. 27 p.
7. Lebedeva A.V. Razrabotka metodicheskikh rekomendacij po ocenke strategicheskikh riskov metodom analiza ierarhij // Fundamentalnye issledovanija. 2016. no. 4–3. pp. 613–617.
8. Malin A.S., Mulin V.I. Issledovanie sistem upravlenija // Uchebnik dlja vuzov. Moskva: GU VShU, 2002. 400 p.
9. Popov S.I., Rogozin E.A., Roslov S.Ju. Analiz sovremennyh metodov i algoritmov optimizacii na jetape formirovanija struktury i sostava kompleksa tehniceskikh sredstv zashchity informacii na obekte informatizacii // Vestnik VGTU. 2009. T. 5, no. 6. pp. 83–85.
10. Saati T., Kerns K. Analiticheskoe planirovanie. Organizacija sistem [Perevod s anglijskogo R.G. Vachnadze]. Moskva: Izdatelstvo «Radio i svjaz», 1991. 224 p.
11. Saati T.L. Prinjatje reshenij pri zavisimostjah i obratnyh svjazjah // Analiticheskie seti. Moskva: Librokom, 2011. 357 p.
12. Seljukov M.V. Process postanovki celej v sisteme menedzhmenta organizacii // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2011. no. 3.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4700>.
13. Talanova M.E. Budushhee transporta na 2030 g. Planirovanie ot dostignutogo // Sbornik statej laureatov XVI Mezhhregionalnoj konferencii-festivalja nauchnogo tvorcestva uchashhejsja molodezhi «Junost Bolshoj Volgi». Cheboksary, 2014. 578 p.

References