
Миронов А.Н., Лисицкий В.В., Сизяков Н.П. Оценивание моделей и методов задания весовых коэффициентов при оценке качества системы технического обеспечения // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования, 2017. № 6(40).

УДК 519.8

ОЦЕНИВАНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ЗАДАНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Миронов А.Н., доктор технических наук, профессор Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского

Лисицкий В.В., кандидат технических наук, докторант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского

Сизяков Н.П., доктор технических наук, заместитель генерального директора АО «ЦНИИРТИ имени академика А.И. Берга»

В статье проанализированы и оценены модели и методы задания весовых коэффициентов при оценке качества функционирования системы технического обеспечения. Рассчитаны оценки весовых коэффициентов меры их точности, проведено сравнение оценок весовых коэффициентов, найденных различными методами. Полученные оценки получены в предположении полного отсутствия информации о сравнительной значимости отдельных показателей качества системы технического обеспечения.

Ключевые слова: качество, эффективность, весовые коэффициенты, эксперты, система технического обеспечения.

UDC 519.8

EVALUATION OF MODELS AND METHODS OF TASK WEIGHTING FACTORS WHEN EVALUATING THE QUALITY OF TECHNICAL SUPPORT

Mironov A.N., Dr.Sci.Tech., the professor, Mozhaisky Military Space Academy

Lisitskiy V.V., PhD, doctoral candidate, Mozhaisky Military Space Academy

Siziakov N.P. Dr.Sci.Tech., Deputy General Director of JSC "CNIRTI named after academician A.I.Berg"

The article analyzed and evaluated models and methods for setting weighting factors in assessing the quality of functioning of system of technical support. based on the model of uncertainty of the task weighting factors are

regarded evaluation of the weighting factors measures their accuracy a comparison of the estimates of the weighting factors found by various methods.

Keywords: Quality, efficiency, weights, experts, system technical support.

В настоящий момент качество функционирования системы технического обеспечения оценивают по эффективности её целевого применения. Эффективность невозможно «измерить» непосредственно, ее можно лишь определить косвенными методами. Оценивают эффективность с помощью «критерия эффективности», под которым понимается условие, на основе которого определяется показатель эффективности [1], выражающий «меру соответствия достигнутых результатов требуемым значениям в отношении принятого критерия» [1]. Показатель (показатели) эффективности, критерии эффективности, могут выступать в виде вектор-функции, если результаты функционирования системы определяются совокупностью показателей, и принимать скалярные значения, если оценивание осуществляется по разнородным требованиям. Для оценки критериев и показателей разработано много методик, методов, моделей [2, 16, 17, 18]. В большинстве своем в них используются вероятностные модели или модели с заданием весовых коэффициентов. Известно множество моделей и методов задания весовых коэффициентов. Как правило, при оценке возникает трудности выбора моделей и методов задания весовых коэффициентов.

Цель работы – проанализировать модели и методы задания весовых коэффициентов при оценке качества функционирования системы технического обеспечения, и дать сравнительную оценку весовых коэффициентов, найденных различными моделями, методами.

Исходя из практики процессов функционирования системы технического обеспечения, установлено, что качество и эффективность функционирования системы зависит от ряда факторов. Вследствие этого для создания модели оценки и прогноза эффективности функционирования системы технического обеспечения разработан обобщенный критерий эффективности, как функции системы показателей качества функционирования системы, представленный в виде:

$$\dot{Y}_{\bar{n}} = f(T_{\bar{a}}, \tilde{N}_{\bar{y}}, K_{\bar{m}}, \lambda, K_{\bar{a}}, T_{\bar{y}}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где: $K_{\bar{a}}$ – коэффициент технической готовности,

$T_{\bar{a}}$ – среднее время восстановления,

$T_{\bar{y}}$ – время эксплуатации,

$\tilde{N}_{\bar{y}}$ – среднегодовые затраты на эксплуатацию,

$K_{\bar{m}}$ – количество обслуживающего персонала,

λ – интенсивность отказов.

При этом эффективность функционирования системы технического обеспечения на основе DEA-АСФ технологий с учетом системы показателей оценки качества и эффективности системы предлагается находить следующим образом [16]:

$$\mathcal{E}_c = \max_{u_{in}, v_{out} \in G} \frac{w_1 K_c + w_2 T_c}{v_1 T_o + v_2 C_o + v_3 K_{on} + v_4 \lambda}, \quad (2)$$

В выражении (2) w_i ($i=1,2,\dots,k$) – весовые коэффициенты, которые характеризуют вклад входных показателей качества (K_c, T_c) в скалярный коэффициент эффективности $\dot{Y}_{\bar{n}}$. Соответственно, v_j ($j=1,2,\dots,m$) – весовые коэффициенты входных показателей качества ($T_o, C_o, K_{on}, \lambda$). Весовые коэффициенты входных и выходных показателей качества являются неизвестными и могут принимать произвольное значение больше 0.

Преодолеть это ограничение возможно как с использованием экспертных оценок, так и другими методами. Кроме этого существует еще одна проблема: полное отсутствие информации о сравнительной значимости отдельных показателей эффективности. Экспертная оценка, как известно, обладает большой долей субъективизма в полученных значениях. Отсюда для уменьшения уровня субъективности, необходимо формализация этапов проведения экспертных оценок и учет проблем при нахождении весовых коэффициентов описанных выше. Рассмотрим различные модели и методы задания весовых коэффициентов.

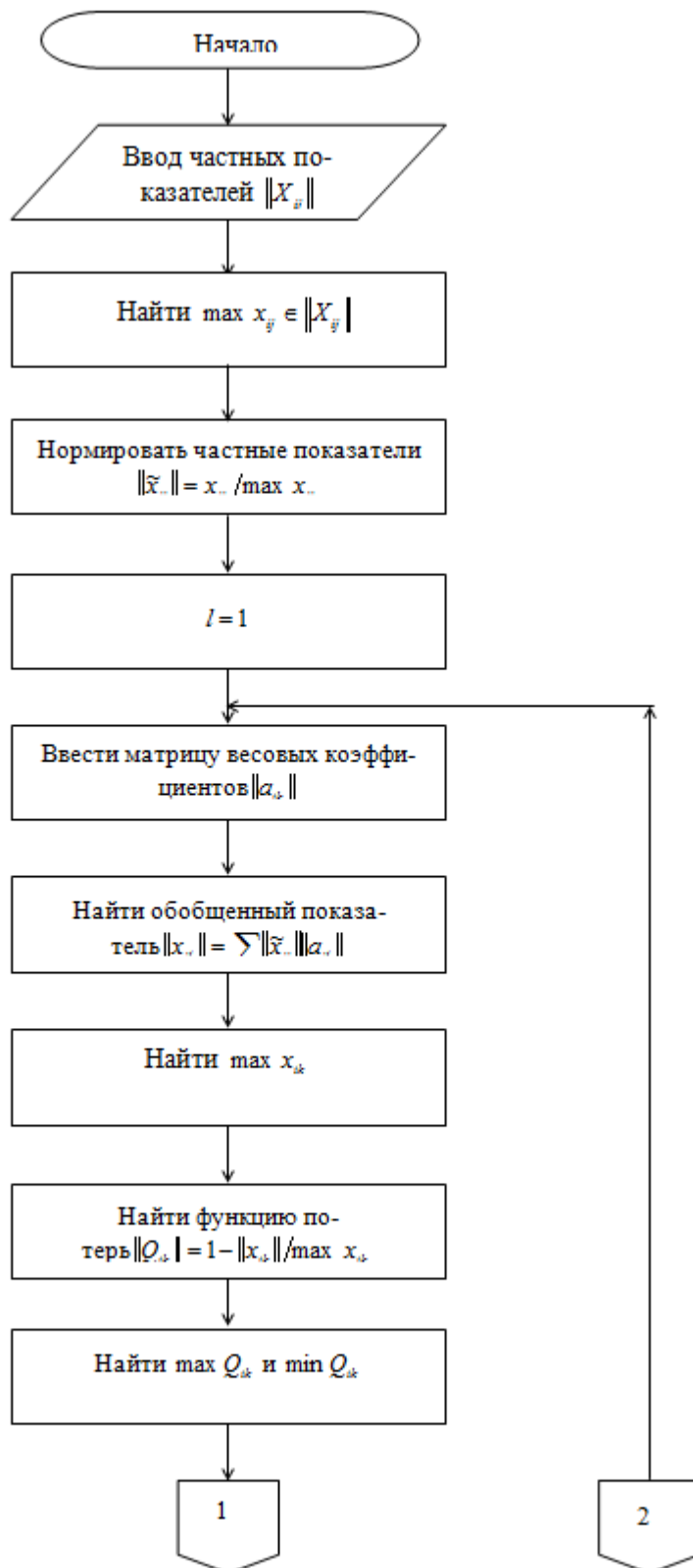
В таблице 1 приведены модель и метод задания весовых коэффициентов без привлечения экспертов.

Таблица 1

Модель и метод задания весовых коэффициентов без привлечения экспертов

Название модели (метода)	Суть модели (метода). Последовательность определения весовых коэффициентов.	Основные выражения применяемые в модели (методе)
Дискретная модель задания неопределенности весовых коэффициентов	<p>Рассматривается аддитивная свертка отдельных показателей функционирования системы технического обеспечения. Вектор показателей весовых коэффициентов задается с точностью до некоторого множества. Определение коэффициентов происходит в условиях неопределенности.</p> <p>Последовательность определения</p> <p>Шаг 1. Вычислить точность определения весовых коэффициентов (3).</p> <p>Шаг 2. Определить все возможные дискретные значения весовых коэффициентов (4), (5), (6).</p> <p>Шаг 3. Рандомизируем неопределенность выбора конкретного вектора весовых коэффициентов при помощи индекса \tilde{t}, равномерно распределенного на множестве возможных значений индекса t. Получаем рандомизированный вектор весовых коэффициентов (7).</p> <p>Шаг 4. Вычисляем математическое ожидание (8) и</p>	$h = \frac{1}{n} \quad (3)$ $v_i \in v(n) = \left\{ 0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, \frac{l}{n}, \dots, \frac{n-2}{n}, \frac{n-1}{n}, 1 \right\} \quad (4)$ $W(m, n) = \left\{ \begin{array}{l} v^{(t)} = (v_1^{(t)}, \dots, v_m^{(t)}), v_i^{(t)} \in v(n), \\ v_1^{(t)} + \dots + v_m^{(t)} = 1, t \in T(m, n) \end{array} \right\} \quad (5)$ $N(m, n) = \binom{n+m-1}{n} = \binom{n+m-1}{m-1} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!} \quad (6)$ $\tilde{v} = (\tilde{v}_1, \dots, \tilde{v}_m) = v^{(\tilde{t})} = (v_1^{(\tilde{t})}, \dots, v_m^{(\tilde{t})}) \quad (7)$ $\bar{v}_i = M \tilde{v}_i = \frac{1}{N(m, n)} \sum_{i=1}^{N(m, n)} v_i^{(t)} = \frac{1}{m} \quad (8)$ $s_i = \sqrt{D \tilde{v}_i} = \sqrt{\frac{1}{N(m, n)} \sum_{i=1}^{N(m, n)} [v_i^{(t)} - \bar{v}_i]^2} = \sqrt{\frac{m-1}{m^2(m+1)} + \frac{1}{n} \frac{m-1}{m(m+1)}} \quad (9)$

	<p>среднеквадратическое отклонение (9). В случае неудовлетворительной точности повторяем последовательность с шага 1.</p>	
<p>Метод расчета весовых коэффициентов путем объективного сравнения вариантов системы</p>	<p>В основу метода положен принцип объективного сравнения вариантов системы технического обеспечения. Если выбранная совокупность весовых коэффициентов доставляет максимум \max_{y_i} обобщенным критериям всех вариантов системы, то нет каких-либо оснований считать, что варианты системы сравниваются не объективно (10). Отсюда максимальная степень объективности сравнения достигается при $Q_i = 0$. При рассмотрении всех вариантов образуется система неоднородных уравнений (11) и условие $Q_i = 0$ оказывается недостижимым потери в виде функции определяются выражением (12). Рассмотренная методика поддается алгоритмизации и реализации на ПЭВМ. Блок схема алгоритма расчета представлена на рис 1</p>	$Q = 1 - y_i / \max_{y_i} \quad (10)$ $\frac{w_1 K_{c1} + w_2 T_{c1}}{v_1 T_{c1} + v_2 C_{c1} + v_3 K_{on1} + v_4 \lambda_1} \leq 1$ $\frac{w_2 K_{c2} + w_2 T_{c2}}{v_1 T_{c2} + v_2 C_{c2} + v_3 K_{on2} + v_4 \lambda_2} \leq 1 \quad (11)$ <p>.....</p> $\frac{w_2 K_{cn} + w_2 T_{cn}}{v_1 T_{cn} + v_2 C_{cn} + v_3 K_{onn} + v_4 \lambda_n} \leq 1$ $p = \max Q_i - \min Q_i \quad (12)$



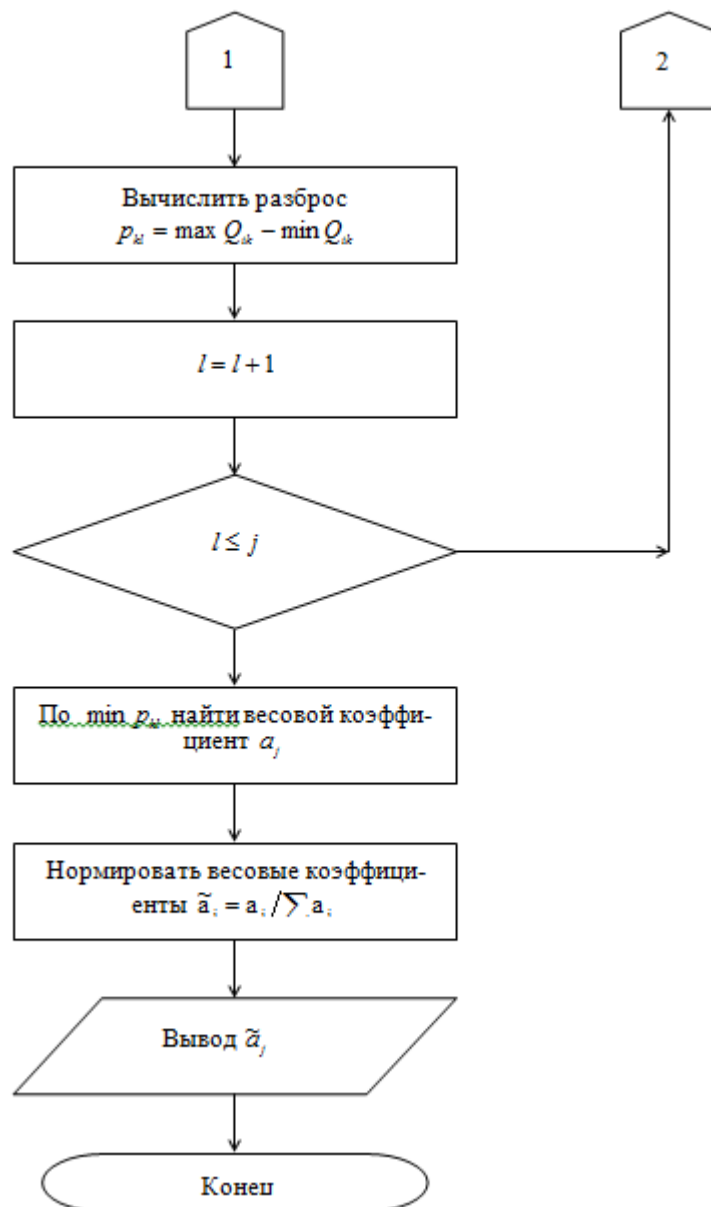


Рисунок 1. Алгоритм расчета весовых коэффициентов путем объективного сравнения вариантов системы.

В таблице 2 приведены самые известные экспертные методы задания весовых коэффициентов [2, 8, 10, 13]

Таблица 2

Экспертные методы задания весовых коэффициентов

Название метода	Суть метода	Основные выражения, применяемые в методе
Прямая расстановка (ПР).	Эксперты расставляют весовые коэффициенты исходя из условия (13) или для каждого весового коэффициента определяется предел	$\sum_{i=1}^n u_i = 1 \quad (13)$

Название метода	Суть метода	Основные выражения, применяемые в методе
	изменений при этом условии (13) может не выполняться.	
Ранжирование факторов (РФ)	Эксперты ранжируют показатели качества системы технического обеспечения по степени влияния на критерий эффективности функционирования. В результате ранжирования весовые коэффициенты представляются в виде матрицы (14). Сводные оценки получаются путем усреднения частных рангов.	$\begin{pmatrix} W_{11} & W_{21} & \dots & W_{n1} \\ W_{12} & W_{22} & \dots & W_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{1m} & W_{2m} & \dots & W_{nm} \end{pmatrix} \quad (14)$
Парное сравнение (ПС).	Последовательно попарно сравниваются факторы. Каждый эксперт формирует булеву матрицу парных сравнений (15). При этом результат парных сравнений $\gamma_{ik,j}$ определяется выражением (16). Далее результаты обрабатываются соответствующими методами.	$\gamma_j = (\gamma_{ik,j}) \quad (15)$ $\gamma_{ik,j} = \begin{cases} 1, & \text{если по мнению } j\text{-го эксперта фактор } X_k, \\ & \text{влияет сильнее } X_k, \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases} \quad (16)$
Метод анализа иерархий (МАИ).	Последовательно попарно сравниваются факторы, по специальной шкале табл. 3. Результаты сравнений представляются в виде матрицы (17), при выполнении условия «антисимметричности» (18). Оценка качества работы эксперта происходит по величине общей согласованности (ОС) (19). Где индекс согласованности (ИС) определяется по выражению (20), а индекс средней согласованности (СС) по рекомендации разработчика принимает значение согласно табл. 4. В выражении (20) λ – собственное число, n – число сравниваемых факторов. Величина ОС должна лежать в пределах от 10% до 20%. При выходе величины ОС за пределы результаты работы эксперта в обработку не берутся.	$X = (x_{ij}) \quad (17)$ $x_{ji} = \frac{1}{x_{ij}} \quad (18)$ $\hat{I}\tilde{N} = \frac{\hat{E}\tilde{N}}{\tilde{N}\tilde{N}} \cdot 100\% \quad (19)$ $ИС = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (20)$

Таблица 3

Шкала сравнений соотношения факторов в методе анализа иерархий [2]

Интенсивность относительной важности	Суждение	Пояснение
1	Равная важность	Равный вклад факторов в цель
3	Умеренное превосходство	Опыт и суждение дают легкое превосходство одного фактора над другим
5	Существенное превосходство	Опыт и суждение дают сильное превосходство одного фактора над другим

Интенсивность относительной важности	Суждение	Пояснение
7	Значительное превосходство	Одному фактору дается настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одного фактора над другим подтверждается наиболее сильно
2,4,6,8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае

Таблица 4

Индекс средней согласованности (СС) для 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

Сравнение оценок весовых коэффициентов, найденных различными моделями (методами)

Для выражения (2) определим значение весовых коэффициентов и дадим сравнительную оценку с помощью дискретной модели задания весовых коэффициентов и экспертных методов.

С помощью дискретной модели задания получены весовые коэффициенты характеризующие вклад выходных показателей качества (табл. 5) и входных показателей качества (табл.6)

Таблица 5

Список всех возможных весовых коэффициентов выходных показателей качества

t	w_1	w_2
1	0,0	1,0
2	0,2	0,8
3	0,4	0,6
4	0,6	0,4
5	0,8	0,2
6	1	0,0

Список всех возможных весовые коэффициенты входных показателей
качества

n	v_1	v_2	v_3	v_4
1	0,0	0,0	0,0	1
2	0,0	0,0	0,2	0,8
3	0,0	0,0	0,4	0,6
4	0,0	0,0	0,6	0,4
5	0,0	0,0	0,8	0,2
6	0,0	0,0	1,0	0,0
7	0,0	0,2	0,0	0,8
8	0,0	0,2	0,2	0,6
9	0,0	0,2	0,4	0,4
10	0,0	0,2	0,6	0,2
11	0,0	0,2	0,8	0,0
12	0,0	0,4	0,0	0,6
13	0,0	0,4	0,2	0,4
14	0,0	0,4	0,4	0,2
15	0,0	0,4	0,6	0,0
16	0,0	0,6	0,0	0,4
17	0,0	0,6	0,2	0,2
18	0,0	0,6	0,4	0,0
19	0,0	0,8	0,0	0,2
20	0,0	0,8	0,2	0,0
21	0,0	1,0	0,0	0,0
22	0,2	0,0	0,0	0,8
23	0,2	0,0	0,2	0,6
24	0,2	0,0	0,4	0,4
25	0,2	0,0	0,6	0,2
26	0,2	0,0	0,8	0,0
27	0,2	0,2	0,0	0,6
28	0,2	0,2	0,2	0,4
29	0,2	0,2	0,4	0,2
30	0,2	0,2	0,6	0,0
31	0,2	0,4	0,2	0,2
32	0,2	0,4	0,4	0,0
33	0,2	0,4	0,0	0,4
34	0,2	0,6	0,0	0,2
35	0,2	0,6	0,2	0,0
36	0,2	0,8	0,0	0,0
37	0,4	0,0	0,6	0,0
38	0,4	0,0	0,4	0,2
39	0,4	0,0	0,2	0,4
40	0,4	0,0	0,0	0,6
41	0,4	0,2	0,0	0,4
42	0,4	0,2	0,2	0,2
43	0,4	0,2	0,4	0,0
44	0,4	0,4	0,0	0,2
45	0,4	0,4	0,2	0,0
46	0,4	0,6	0,0	0,0

n	v_1	v_2	v_3	v_4
47	0,6	0,0	0,0	0,4
48	0,6	0,0	0,2	0,2
49	0,6	0,0	0,4	0,0
50	0,6	0,2	0,0	0,2
51	0,6	0,2	0,2	0,0
52	0,6	0,4	0,0	0,0
53	0,8	0,0	0,0	0,2
54	0,8	0,0	0,2	0,0
55	0,8	0,2	0,0	0,0
56	1,0	0,0	0,0	0,0

По данным таблиц 5, 6 вычислим, математические ожидания (8) и среднеквадратическое отклонение (9) для входных и выходных показателей качества. Для входных показателей качества математическое ожидание $\bar{v}_i = 0,5$ и среднеквадратическое отклонение $s_{\bar{v}_i} = 0,26$. Для выходных показателей качества математическое ожидание $\bar{v}_i = 0,25$ и среднеквадратическое отклонение $s_{\bar{v}_i} = 0,342$. Полученные значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения выступают оценками весовых коэффициентов, когда возможны любые вектора весовых коэффициентов (отсутствует информации о значимости показателей качества). Анализ оценок показывает о значительном разбросе значений весовых коэффициентов вокруг полученных оценок, что может влиять на оценку эффективности функционирования системы технического обеспечения.

Получим весовые коэффициенты с использованием трех методов таблицы 2: метода анализа иерархий (МАИ), ранжирования факторов (Р) и прямой расстановкой (ПР) табл. 7

Весовые коэффициенты, рассчитанные методом анализа иерархий (МАИ),
ранжированием (Р) и прямой расстановкой (ПР)

Оцениваемые параметры	Эксперты														
	1			2			3			4			5		
	МАИ	Р	ПР	МАИ	Р	ПР	МАИ	Р	ПР	МАИ	Р	ПР	МАИ	Р	ПР
Входные переменные															
T_v - среднее время восстановления	0,2	0,22	0,25	0,27	0,27	0,3	0,3	0,33	0,2	0,23	0,18	0,2	0,2	0,27	0,3
C_3 - среднегодовые затраты на эксплуатацию	0,23	0,33	0,25	0,23	0,18	0,2	0,2	0,27	0,3	0,22	0,22	0,3	0,3	0,2	0,2
$K_{оп}$ - количество обслуживающего персонала	0,27	0,17	0,25	0,2	0,22	0,2	0,27	0,22	0,2	0,3	0,33	0,3	0,23	0,13	0,3
λ - интенсивность отказов	0,3	0,28	0,25	0,3	0,33	0,3	0,23	0,18	0,3	0,25	0,27	0,2	0,27	0,4	0,2
Выходные переменные															
K_t - коэффициент технической готовности	0,56	0,35	0,5	0,44	0,42	0,4	0,48	0,65	0,6	0,52	0,58	0,55	0,57	0,35	0,45
T_3 - время эксплуатации.	0,44	0,65	0,5	0,56	0,58	0,6	0,52	0,35	0,4	0,48	0,42	0,45	0,43	0,72	0,55

Оценку весовых коэффициентов найденных различными методами проведем с помощью коэффициента корреляции полученного для каждого эксперта в отдельности.

Результаты расчетов коэффициента корреляции изображены на рис.2, где: ряд 1 – коэффициенты корреляции между МАИ и ранжированием, ряд 2 – между ранжированием и прямой расстановкой и ряд 3 – между МАИ и прямой расстановкой. Поскольку графики весовых коэффициентов частично пересекаются, то степень близости методов определялась по среднему коэффициенту корреляции для каждого сравниваемого случая.

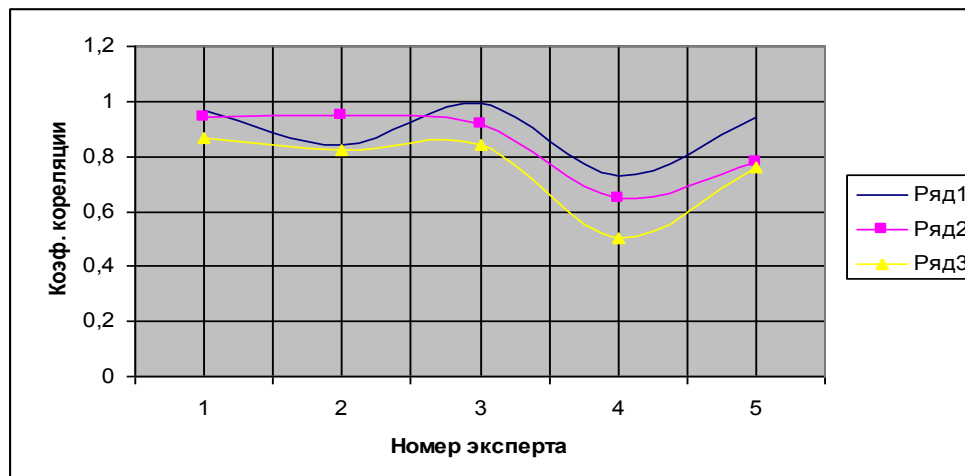


Рисунок 2. Значение коэффициентов корреляции весовых коэффициентов по пяти экспертам.

Анализ рис. 2 показывает, что наименьшие расхождения в оценках получены между методами прямой расстановки и ранжирования факторов (коэффициент корреляции равен 0,88). Средние расхождения в оценках получены между методами МАИ и ранжирования факторов (коэффициент корреляции равен 0,84). И худшие расхождения в оценках получены между методами МАИ и прямой расстановкой (коэффициент корреляции равен 0,78). «Расхождения оценок имеют как определенные закономерности, так и индивидуальные особенности, свойственные отдельным экспертам» [2]. Почти параллельный характер графиков говорит о том, что логика мышления экспертов достаточно устойчива и полученные в ходе этого эксперимента результаты вполне возможно использовать для исследований.

Таким образом, в статье рассмотрены модели и методы задания весовых коэффициентов при оценке качества системы технического обеспечения, проведен их сравнительный анализ, проведено сравнение оценок весовых коэффициентов, найденных различными методами, рассчитаны оценки весовых коэффициентов и меры их точности. Полученные оценки найдены в предположении полного отсутствия информации о сравнительной значимости отдельных показателей качества функционирования системы технического обеспечения.

Список использованных источников и литературы

1. Дедков, В.К., Принципы формирования критериев и показателей эффективности функционирования сложных технических систем [Текст] / В.К. Дедков. // Надежность и качество сложных систем. – 2013. - №4. – С. 3-8.
2. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» / В.Б. Коробов // Социология:4М, 2005 № 20
3. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989 г.

4. Базара М., Шетти К. Нелинейное программирование: Теория и алгоритмы. М.: Мир, 1982. (8)
5. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Статистика, 1980 г.
6. Голуб Дж., Лоун Ч. Ван. Матричные вычисления. М.: Мир, 1999 г.
7. Дыхненко Л.М. и др. Основы моделирования сложных систем, Киев, «Вишашкола», 1981 г.
8. Евланов, Л. Г. Экспертные оценки в управлении [Текст] / Л. Г. Евланов, В. А. Кутузов. - М.: Экономика, 1978 г.
9. Острейковский В.А. Теория систем. М.: Высшая школа, 1997 г.
10. Саати Т., Керне К. Аналитическое планирование. М.: Радио и связь, 1991 г.
11. Сеченов И.М. Элементы мысли. СПб.: Питер, 2001 г.
12. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М., 1973 г.
13. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб., СПбГУ, 1996 г.
14. Хованов Н.В. Математические основы теории шкал измерения качества. Л., ЛГУ, 1982 г.
15. Ютанов Н.А., Переслегин С. Письма Римскому клубу // Форрестер Д. Мировая динамика. М.: ООО «Издательство АСТ»; СПб.: Terra Fantastica, 2003 г.
16. Метод оценки эффективности радиолокационных систем с учетом динамики изменения показателей качества / В.В. Лисицкий // «Информационно-измерительные и управляющие системы» №5, т.7, - М.: Радиотехника, 2009 – с. 75-79.
17. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1 Методология, методы, модели [Текст] / Г.Б. Петухов. – Л.: Министерство обороны СССР, 1989. – 647 с.
18. Петухов Г.Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г.Б. Петухов, В.И. Якунин. – М.: АСТ, 2006. – 502 с.

© Миронов А.Н.
© Лисицкий В.В.
© Сизяков Н.П.