

## АТТЕСТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Савин К. Н.<sup>1</sup>, Хамханова Д. Н.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>ФГОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологии и управления», Улан-Удэ, Россия (670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40 «в»), e-mail: [office@esstu.ru](mailto:office@esstu.ru)

---

Проведено исследование наиболее широко применяемых при экспертных методах измерения алгоритмов определения весовых коэффициентов: метод ранжирования, метод попарного сопоставления и метод двойного попарного сопоставления. Для исследования алгоритмов предложены следующие показатели качества (характеристики) алгоритмов: устойчивости при изменении мнений экспертов на противоположное; чувствительности к приращениям мнений экспертов; чувствительности к качеству исходных данных; эффективности алгоритма, характеризующей качество результатов измерений; сложности. Установлены меры показателей качества алгоритмов. Получены аналитические выражения, характеризующие показатели качества алгоритмов. На основе сравнения алгоритмов по показателям качества получено, что при высокой точности измерения целесообразнее использовать двойное попарное сопоставление, а при невысокой точности измерения и низкой согласованности мнений экспертов – способ ранжирования. По сложности наиболее сложным является двойное попарное сопоставление, а наименее сложным – метод ранжирования.

---

Ключевые слова: алгоритм, показатели качества, экспертные измерения.

## ALGORITHM CERTIFICATION OF DEFINITION OF QUALITY INDICATORS WEIGHT COEFFICIENT

Savin K. N.<sup>1</sup>, Khamkhanova D. N.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>FSBEO HPE «East Siberian State budget university of technology and management», Ulan-De, Russia (410012, Ulan-Ude, Kluchevskaya st. 40 «v»), e-mail: [office@esstu.ru](mailto:office@esstu.ru)

---

Research is carried out upon most widely applied in expert methods measurement of algorithm of definition of weight factors: ranging method, method of paired comparison and method of double paired comparison. For research of algorithms the following indicators of quality (characteristic) of algorithms are offered: stability in case of opinion change of experts on the opposite; sensitivity to increments of experts' opinions; sensitivity to basic data quality; efficiency of the algorithm, characterizing quality of measurement results; difficulties. Measures of indicators of algorithm quality are established. The analytical expressions characterizing indicators of algorithm quality are received. On the basis of comparison of algorithms on quality indicators it is received that at high precision of measurement it is more expedient to use double paired comparison method, and at low accuracy of measurement and low coherence of expert opinions – a ranging method. On complexity the most difficult method is double paired comparison, and the least difficult – a ranging method.

---

Keywords: algorithm, quality indicators, expert measurements.

**Введение.** Многообразие измерительных задач, решаемых с помощью экспертных методов измерений, обуславливает необходимость использовать разнообразные алгоритмы определения весовых коэффициентов [1, 2, 7, 10, 14]. Разнообразие алгоритмов вызывает существенные затруднения для пользователей при выборе конкретного алгоритма для решаемой измерительной задачи. Следовательно, возникает задача аттестации алгоритмов определения весовых коэффициентов с целью разработки рекомендации по их выбору.

Под аттестацией алгоритмов понимают исследование алгоритмов обработки на типовых моделях исходных данных с целью определения их основных характеристик (показателей качества) [4–6, 8, 9, 11].

В целом задачу аттестации алгоритмов определения весовых коэффициентов целесообразно решать, используя опыт аттестации алгоритмов обработки экспериментальных данных [6], алгоритмов построения функциональных зависимостей [11], а также алгоритмов определения экстремумов сигналов в измерительной технике [13].

Общая схема аттестации алгоритмов состоит из следующих действий:

– выбрать показатели качества (характеристики)  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ , которые следует применять при аттестации алгоритмов в данной группе и обоснованного выбора алгоритмов;

– выбрать типовые модели исходных данных, поступающих на вход алгоритма:  $\mu_1, \mu_2 \dots \mu_n$ , при которых вычисляют его показатели;

– вычислить значения показателей качества на типовых моделях исходных данных:  $\pi_{ij}(\alpha) = \Pi_i(\alpha, \mu_j)$  или найти выражения для показателей через исходные параметры [8–9].

**Целью данного исследования** является исследование алгоритмов определения весовых коэффициентов показателей качества для разработки рекомендации по выбору алгоритмов.

**Метод исследования** – аналитический.

**Результаты исследования.** Наибольшее распространение получили следующие алгоритмы определения весовых коэффициентов: метод ранжирования, метод попарного и двойного попарного сопоставления [1, 2, 7, 10, 14].

Основные типы алгоритмов определения весовых коэффициентов:

А: весовой коэффициент  $g_j$  определяется как отношение суммы мнений экспертов по  $j$ -му показателю к сумме мнений экспертов по всем показателям (метод ранжирования). Аналитически алгоритм записывается следующим образом:

$$g_j = \frac{\sum_{i=1}^n G_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}}, \quad (1)$$

где  $g_j$  – весовой коэффициент  $j$ -го показателя;

$G_{ij}$  – ранг, поставленный  $j$ -му показателю  $i$ -м экспертом.

В: весовой коэффициент  $g_j$  определяется как отношение частоты предпочтений всеми экспертами  $j$ -го объекта экспертизы  $F_j$  к общему числу суждений одного эксперта  $C$  (метод попарного сопоставления). Аналитически алгоритм записывается следующим образом:

$$g_j = \frac{F_j}{C}, \quad (2)$$

где  $F_j$  – частота предпочтения всеми экспертами  $j$ -го объекта экспертизы определяется по формуле:

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ij}}{n},$$

где  $K_{ij}$  – число предпочтений  $i$ -м экспертом  $j$ -го объекта экспертизы;

$n$  – количество экспертов;

$C$  – общее число суждений одного эксперта, определяемое по формуле:

$$C = \frac{m(m-1)}{2},$$

где  $m$  – число показателей качества.

$C$ : весовой коэффициент  $g_j$  определяется так же как по алгоритму В, за исключением числа суждений мнений экспертов  $C = m(m-1)$  (метод двойного попарного сопоставления).

Аналитически алгоритм записывается аналогично алгоритму В.

Для характеристики алгоритмов установлены следующие группы показателей качества алгоритмов определения весовых коэффициентов:

- показатель устойчивости при изменении мнений экспертов на противоположное  $\Pi_{11}(a)$ ;
- показатель чувствительности к приращениям мнений экспертов  $\Pi_{12}(a)$ ;
- показатель чувствительности к качеству исходных данных  $\Pi_2(a)$ ;
- показатель эффективности алгоритма, характеризующий качество результатов измерений  $\Pi_3(a)$ ;
- показатель сложности  $\Pi_4(a)$ .

Показатель устойчивости при изменении мнений экспертов на противоположное  $\Pi_{11}(a)$  в общем случае является функцией влияния от параметра  $\xi$ :

$$\Pi_{11}(a) = f(\xi), \tag{3}$$

где  $\xi$  – количество измененных мнений.

В качестве меры устойчивости было принято изменение весового коэффициента при изменении мнений экспертов:

$$\Delta g_\xi = g_{jn} - g_{jn}, \tag{4}$$

где  $g_{jn}$  и  $g_{jn}$  – весовой коэффициент  $j$ -го показателя после первоначального проведения экспертизы и после изменения мнений экспертов соответственно.

В простейшем случае показатель устойчивости может быть определен при изменении мнений одного эксперта.

Показатель чувствительности к приращениям мнений экспертов  $\Pi_{12}(a)$  характеризует степень влияния приращения мнений экспертов на результат вычислений.

В качестве меры чувствительности к приращениям мнений экспертов был принят дифференциал:

$$\Delta g_{\delta} = \frac{\partial g_j}{\partial G_{ij}}. \quad (5)$$

Показатель чувствительности к качеству исходных данных  $\Pi_2(a)$  также является функцией влияния от параметра  $W$ :

$$\Pi_2(a) = f(w), \quad (6)$$

где  $W$  – степень согласованности мнений экспертов.

Основным показателем чувствительности к качеству исходных данных принят показатель чувствительности к приращениям согласованности мнений экспертов –  $\Pi_{21}(\alpha)$ .

В качестве меры чувствительности к приращениям согласованности мнений экспертов был принят дифференциал:

$$\Delta g_w = \frac{\partial g_j}{\partial W}. \quad (7)$$

Показатель эффективности алгоритма, характеризующий качество результатов измерений  $\Pi_3(a)$ , зависит от количества экспертов и является функцией от параметра  $n$ :

$$\Pi_3(a) = f(n). \quad (8)$$

В качестве меры показателя эффективности было принято изменение весового коэффициента от изменений количества экспертов:

$$\Delta g_n = g_{jn} - g_{j(n-1)}, \quad (9)$$

где  $g_{jn}$  и  $g_{j(n-1)}$  – весовой коэффициент  $j$ -го показателя, полученный при количестве экспертов  $n$  и  $(n-1)$  соответственно.

Основным показателем сложности является показатель вычислительной сложности. Мера показателя вычислительной сложности есть число типовых операций: арифметических

(сложение и умножение) и логических (сравнение и др.), необходимых для однократного вычисления по данному алгоритму.

В результате аттестации алгоритмов определения весовых коэффициентов получены аналитические выражения, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Показатели алгоритмов определения весовых коэффициентов

Алгоритм	Показатели алгоритмов определения весовых коэффициентов		
	$\Pi_{11}(\alpha)$	$\Pi_{12}(\alpha)$	$\Pi_{21}(\alpha)$
1	2	3	4
A	$\frac{\zeta}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}}$	$\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij} - \sum_{i=1}^n G_{ij}}{\left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}\right)^2}$	$K \cdot \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij} - \sum_{i=1}^n G_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^n G_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}\right)}$ , где $K = \frac{24}{n^2 \cdot m^2 \cdot (m+1)}$
B	$\frac{2\zeta}{n \cdot (m-1) \cdot m}$	$\frac{2}{m \cdot (m-1) \cdot n}$	$\frac{n \cdot m \cdot (m+1)}{3 \cdot (m-1) \left(\sum_{i=1}^n K_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n K_{ij}\right)}$
C	$\frac{\zeta}{n \cdot (m-1) \cdot m}$	$\frac{1}{m \cdot (m-1) \cdot n}$	$\frac{n \cdot m \cdot (m+1)}{6 \cdot (m-1) \left(\sum_{i=1}^n K_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n K_{ij}\right)}$

Продолжение таблицы 1

Алгоритмы	Показатели алгоритмов определения весовых коэффициентов	
	$\Pi_{31}(\alpha)$	$\Pi_{32}(\alpha)$
1	5	6
A	$\left(\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n-1} G_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}} - 1\right) \cdot g_{j(n-1)} + \frac{G_{nj}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}}$	$\left(1 - \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n-1} G_{ij}}\right) \cdot g_{jn} - \frac{G_{nj}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{ij}}$
B	$\frac{1}{(1+n)} \cdot g_j - g_{n,j}$	$g_{n,j} - \frac{1}{n-1} \cdot g_j$
C	$\frac{1}{(1+n)} \cdot g_j - g_{n,j}$	$g_{n,j} - \frac{1}{n-1} \cdot g_j$

Показатель сложности алгоритмов, характеризуемый числом выполняемых операций, равен для алгоритма: А – (n+m+1) операций; В – (n+m+4) операций; С – (n+m+3) операций.

**Выводы.** Анализ результатов метрологической аттестации алгоритмов определения весовых коэффициентов позволяет сделать следующие выводы:

1) наиболее устойчивым к изменениям мнений экспертов на противоположное является алгоритм (С), который в два раза устойчивее к изменениям мнений экспертов на противоположное, чем алгоритм (В);

- 2) наиболее устойчивым к приращениям мнений экспертов является также двойное попарное сопоставление (С) и наименее устойчивым – попарное сопоставление (В);
- 3) наиболее чувствительным к приращениям согласованности мнений экспертов является попарное сопоставление (В), а наименее чувствительным – способ ранжирования (А);
- 4) по показателю эффективности алгоритмы А, В и С равнозначны;
- 5) наиболее сложным является способ попарного сопоставления (В), а наименее сложным – способ ранжирования (А);
- б) сравнение алгоритмов по показателям качества показывает, что при высокой точности измерения целесообразнее использовать двойное попарное сопоставление (С), а при невысокой точности измерения и низкой согласованности мнений экспертов – способ ранжирования (А).

### Список литературы

1. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 172 с.
2. Дэвид Г. Метод парных сравнений: пер. с англ. Н. Космарской и Д. Шмерлинга / под ред. Ю. Адлера. – М.: Статистика.
3. Левин С. Ф. Метрологическое аттестовывание и сопровождение программных средств статистической обработки результатов измерений // Измерительная техника. – 1991 – № 1.
4. Сирая Т. Н. Методология аттестации алгоритмов обработки данных в сложных измерительных задачах: сб. тез. докл. науч.-техн. конф. «Диагностика, информатика, метрология. – СПб., 1996.
5. Сирая Т. Н. Разработка методологии обработки данных на основе концепции аттестации алгоритмов: дис... д-ра техн. наук. – СПб.: Гос. предприятие «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», 1997.
6. Слаев В. А. Принципы метрологической аттестации информационно-измерительных систем // Измерительная техника. – 1993. – № 11.
7. Субетто А. И. Квалиметрия. – СПб.: Астероин, 2002. – 288 с.
8. Тарбеев Ю. В., Челпанов И. Б., Сирая Т. Н. Аттестация алгоритмов обработки данных при измерениях // Измерения, контроль, автоматизация. – 1991. – № 2 (78). – С. 3-13.
9. Тарбеев Ю. В., Челпанов И. Б., Сирая Т. Н. Разработка методов аттестации алгоритмов обработки результатов наблюдений // Метрология. – 1985. – № 2. – С. 3-7.
10. Хамханова Д. Н. Основы квалиметрии: учеб. пособие. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 144 с.

11. Челпанов И. Б. Задачи выбора и аттестации алгоритмов обработки сигналов средств измерений // Метрология. – 1981. – № 6.
12. Челпанов И. Б. [и др.]. Особенности аттестации алгоритмов обработки данных при совокупных измерениях: сб. тез. докл. XI Всеакадемической междунар. школы по проблемам метрологического обеспечения и стандартизации. – СПб., 1993.
13. Чуновкина А. Г., Чурсин А. В. Метрологическая аттестация алгоритмов определения положения и значения экстремума сигнала при измерениях // Измерительная техника. – 1998. – № 8. – С. 61-64.
14. Шишкин И. Ф., Станякин В. М. Квалиметрия и управление качеством: учебник для вузов. – М.: Изд-во ВЗПИ, 1992.

**Рецензенты:**

Данилов Михаил Борисович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология мясных и консервированных продуктов» Восточно-Сибирского государственного университета технологии и управления, г. Улан-Удэ.

Хамнаева Нина Ивановна, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Социальный и технологический сервис» Восточно-Сибирского государственного университета технологии и управления, г. Улан-Удэ.