

В.А. Турченков¹, Д.Е. Баранов¹, М.В. Гагарин¹, М.Д. Шишкин¹

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПЕРТИЗЫ МАТЕРИАЛОВ

Разработан методический подход к проведению экспертизы материалов. Определены критерии для оценки качества авиационных материалов и содержание экспертизы совокупности материалов в рамках классификационных групп.

Определен порядок обработки результатов экспертных оценок и оценки их согласованности.

Ключевые слова: материал, критерий, значимость, экспертиза.

V.A. Turchenkov¹, D.E. Baranov¹, M.V. Gagarin¹, M.D. Shishkin¹

METHODICAL APPROACH TO THE PURSUANCE OF MATERIAL EXPERTIZING

The methodical approach was developed with the goal of expertizing the materials. The criteria for evaluating the aircraft materials quality; the formalized evaluation of the material characteristics by the experts within the range of classification groups were determined.

The results processing order of expert evaluations and their coordination were also considered.

Keywords: material, criterion, significance, examination.

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

В настоящее время метод экспертных оценок является сформировавшимся научным методом анализа сложных неформализуемых проблем [1–3] и достаточно широко применяется для решения «многокритериальных» задач. Метод предполагает ряд процедур для получения набора суждений специалистов, их интеграции в общий вывод [4].

Использование экспертного опроса для решения частных задач материаловедческого характера обуславливает разработку соответствующего комплексного методического подхода и математического аппарата. Одна из задач разработки методического подхода к проведению экспертизы материалов – формирование перечней материалов различной направленности (например, перспективных материалов). Решение задачи по комплексной оценке перспективности материалов, их ранжированию по предпочтительности формулируется в терминах типовой задачи «многокритериального» упорядочения.

Система критериев для оценки качества материалов

Перспективность материалов обуславливается, в первую очередь, возможностью их использования для изготовления элементов перспективных образцов техники, обладающих характеристиками, соответствующими передовому мировому уровню.

Выбор материалов основывается на понятии интегрированного качества [5, 6]. Необходимо учитывать, что система критериев выбора должна характеризовать рациональный уровень качества, обеспечивающий максимально возможное удовлетворение потребностей в материале при приемлемых затратах на его создание [7, 8]. Поэтому для комплексной оценки качества материалов предлагается использовать следующие критерии: уровень свойств материала, технологичность, доступность, ресурсоемкость.

Критерий *уровень свойств* является основным критерием для оценки качества материалов и определяется совокупностью служебных и функциональных свойств материала при производстве элементов техники. Для более точного ранжирования материалов по данному критерию используется широкодиапазонная шкала от 1 до 5. Материалу с наилучшим уровнем свойств соответствует максимальная оценка: 5, с наихудшим, соответственно, 1.

Технологичность – совокупность служебных и функциональных свойств материала как объекта производства, определяющих оптимальные затраты ресурсов (труда, сырья, компонентов, энергии и т. п.) при его производстве и обеспечении установленных значений показателей качества и принятых условий изготовления.

Доступность определяется уровнем развития материально-сырьевой базы и возможностью обеспечения требуемых объемов поставки сырья и компонентов, используемых при производстве материалов.

Ресурсоемкость рассматривается как совокупность структурно-технических свойств, определяющих возможность изготовления продукции, ремонта и утилизации, а также выполнения работ и оказания услуг с установленными затратами и потерями ресурсов в технологических циклах (ГОСТ 30166–95).

Для упорядочения материалов по последним трем критериям используется шкала от 1 до 3; «высокий» уровень критерия имеет оценку 3, «низкий»: 1.

Оценка экспертами совокупности материалов

Для определения важности («веса») критериев наиболее целесообразно использовать статистический вес критерия. Его расчет предлагается проводить по методу попарного последовательного сравнения [9], исходя из мнений всех экспертов, участвующих в оценке групп материалов.

Если конечная цель предполагает, например, формирование перечня перспективных материалов, то ранжировка материалов должна иметь однозначную трактовку, исключая возможность компромиссного решения. Для этого используем вербально-числовую шкалу для сравнительной оценки степени значимости показателей без промежуточных значений оценок степени важности между соседними значениями шкалы (табл. 1).

Таблица 1

Шкала сравнительной оценки степени значимости показателей

Степень значимости	Определение (понятийный смысл)	Пояснение (содержательный смысл)
1	Одинаковая значимость	Два показателя одинаково важны
2	Некоторое преобладание значимости одного показателя перед другим	Опыт и суждение дают небольшое предпочтение одного показателя перед другим
3	Существенная значимость	Опыт и суждение дают существенное предпочтение одного показателя перед другим
4	Очевидная значимость	Предпочтение одного показателя перед другим очевидно, его превосходство практически явно
5	Абсолютная значимость (преимущественная важность)	Свидетельство в пользу предпочтения одного показателя перед другим в высшей степени убедительно

Примечание. Если i -му показателю при сравнении с j -м приписывается одно из приведенных выше чисел, то j -му показателю при сравнении с i -м приписывают обратно пропорциональное значение.

Эксперт при проведении попарного последовательного сравнения критериев выставляет оценки степени значимости критерия, результаты сравнительной оценки заносятся в матрицу сравнений критериев (табл. 2).

Матрица попарных сравнений критериев

Показатель	Уровень свойств	Технологичность	Доступность	Ресурсоемкость
Уровень свойств	-	+	+	+
Технологичность	-	-	+	+
Доступность	-	-	-	+
Ресурсоемкость	-	-	-	-

В табл. 2 строки имеют приоритет перед столбцами. Например, если на пересечении строки «Уровень свойств» и столбца «Технологичность» эксперт выставляет значение 5, это означает, что уровень свойств имеет критическую (абсолютную) важность по сравнению с технологичностью материала. Связь между критериями взаимно однозначная, следовательно, для заполнения эксперту предлагаются только шесть ячеек (затененные поля в табл. 2). Затененные ячейки заполняются величинами, обратными оценкам, проставленным экспертами (для оценки 5 – это 1/5, для оценки 4 – 1/4), автоматически. Диагональ таблицы заполняется оценками 1.

После заполнения всеми экспертами табл. 2 получаем трехмерный массив данных $\{Y_{ipk}\}$. Далее вычисляется выборка по измерению i и определяется статистический вес каждого i -го критерия Y'_i с учетом мнений всех экспертов:

$$Y'_i = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^4 \left(\frac{Y_{ipk}}{\sum_{p=1}^4 Y_{ipk}} \right)}{4K}, \quad (1)$$

где i – порядковый номер критерия из строки табл. 2, $i = \overline{1,4}$; p – порядковый номер критерия из столбца табл. 2, $p = \overline{1,4}$; k – порядковый номер эксперта от 1 до K , $k = \overline{1 \dots K}$; K – общее количество экспертов.

Проведение экспертизы групп однотипных материалов проводится с помощью индивидуального анкетирования. В каждой анкете экспертам предлагается оценить группу однородных материалов с помощью системы критериев, т. е. выставить i -й марке материала оценку по соответствующему j -му критерию качества.

Форма анкеты, заполняемая каждым экспертом для оценки качества группы однородных материалов, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Раздел анкеты для оценки качества материалов

Материалы	Критерии оценки качества материала				
	критерий 1	...	критерий i	...	критерий n
Материал 1	X_{11}	...	X_{1i}	...	X_{1n}
Материал 2	X_{21}	...	X_{2i}	...	X_{2n}
...
Материал j	X_{j1}	...	X_{ji}	...	X_{jn}
...
Материал J	X_{J1}	...	X_{Ji}	...	X_{Jn}

Примечание. X_{ji} – экспертная оценка j -й марки материала по i -му критерию качества.

После получения аналогичных оценок по соответствующим подгруппам материалов от всех экспертов формируется трехмерный (критерий–марка материала–эксперт) массив данных $\{X_{ijk}\}$:

$$\{X_{ijk}\} = \{X_{ijk} \mid i = \overline{1, 4}; j = \overline{1 \dots J}; k = \overline{1 \dots K}\}, \quad (2)$$

где X_{ijk} – оценка k -го эксперта для j -й марки материала по i -му критерию; J – количество материалов.

Обработка результатов экспертных оценок

Для удобства обработки, данные общих групповых анкет переводятся в таблицы оценок всех экспертов по определенной марке материалов. Такая группировка проводится выборкой по измерению j из трехмерного массива $\{X_{kij}\}$. Для каждого конкретного материала рассматриваемой группы формируется сводная таблица распределения экспертных оценок в соответствии с выбранной системой критериев (табл. 4 – двухмерный массив значений $\{X_{ki}\}$).

Используемая система критериев качества достаточна для полноценной оценки материала, соответственно, весь математический аппарат сводится к подсчету средних баллов по каждому критерию качества и по каждому эксперту с последующим подсчетом интегральной оценки.

Таблица 4

Сводная оценка материала всеми экспертами

Марка материала		Критерии			
		$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$
Эксперты	$k=1$	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
	$k=2$	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}
	$k=3$	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}

	$k=K$	X_{K1}	X_{K2}	X_{K3}	X_{K4}

Для нормирования матрицы экспертных оценок ищем в каждом столбце табл. 4 максимальный элемент:

$$X_{i\max} = \max_{k=1 \dots K} \{X_{ki}\}, \quad (3)$$

где i (k) – номера столбцов (строк) в табл. 4.

Элементы $X_{i\max}$ являются эталонными значениями i -го показателя. Процедура нормирования заключается в проведении операции

$$X'_{ki} = \frac{X_{ki}}{X_{i\max}}. \quad (4)$$

После выполнения процедуры нормирования получаем матрицу показателей $\{X'_{ki}\}$, состоящую из чисел от 0 до 1, причем чем больше число, тем ближе значение показателя к эталонному. Средний показатель i -го критерия в пределах выбранной j -й марки вычисляется по формуле:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K X'_{ki}}{K}. \quad (5)$$

Далее определяется общая оценка материала k -м экспертом R_{jk} :

$$R_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^K X'_{ki} Y'_i}{4}. \quad (6)$$

По каждой j -й марке рассчитывается интегральная нормированная оценка качества с учетом статистического веса каждого из критериев в линейной евклидовой метрике:

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^4 Y'_i R_{ij}}{4}, \quad (7)$$

где i, j, k – в соответствии с формулой (2).

В результате получаем таблицу экспертных оценок (табл. 5), содержащую нормированные оценки j -й марки материала всеми экспертами.

Таблица 5

Нормированная матрица оценок материала всеми экспертами

Марка материала (j)	Критерии качества				
	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	Общее по показателям
Эксперт 1			X'_{k1}		R_{j1}
...	X'_{ki}	...	
Эксперт k	X'_{k1}	X'_{k2}	X'_{ki}	X'_{k4}	R_{jk}
...	
Эксперт N			X'_{ki}		R_{jN}
Общее по экспертам	R_{1j}	R_{2j}	R_{ij}	R_{4j}	R_j

Оценка степени согласованности мнений экспертов

Дальнейшая обработка полученного массива оценок материала $\{X'_{ki}\}$ проводится в соответствии со стандартной процедурой статистической обработки данных. Помимо получения интегральной оценки качества материала, обработка массива дает возможность оценить степень согласованности экспертов. Под этим термином понимается величина отклонения оценки рассматриваемой марки материала конкретным экспертом от интегральной оценки материала. (Оценку степени согласованности мнений экспертов необходимо проводить для достижения требуемой достоверности результатов опроса экспертов.)

Существует ряд методов определения коэффициентов согласованности мнений экспертов: стандартный статистический (с использованием среднего квадратического отклонения – СКО), статистический модульный с линейной метрикой, тестовый, документальный, эвристический и др. Каждый из них реализует некоторую последовательность или схему действий [10–13].

В наиболее простом стандартном статистическом методе величина отклонения оценки данной марки материала конкретным экспертом от средней оценки материала сравнивается со средним квадратическим отклонением (СКО).

В случае отличия экспертной оценки от средней более чем на два СКО должно быть принято решение об исключении оценок данного эксперта из общей массы оценок.

Используем статистический модульный метод с линейной метрикой. В нем оценка согласованности k -го эксперта γ_k определяется соотношением:

$$\delta_k = 10(1 - \gamma_k), \quad (8)$$

где δ_k – оценка согласованности k -го эксперта ($k=1, 2, \dots, K$); γ_k – модульная мера относительного отклонения мнения k -го эксперта от среднего значения i -й оценки ($i=1, 2, \dots, n$, так как каждый эксперт дает n оценок); в линейной метрике:

$$\gamma_k = \frac{\sum_{i=1}^n |\mu_i - \mu_{ik}|}{\sum_{i=1}^n \mu_i}, \quad (9)$$

где $\mu_i = \frac{\sum_{k=1}^K \mu_{ik}}{K}$ – среднее значение i -й оценки; μ_{ik} – значение i -й оценки, назначенной k -м экспертом; n – количество оценок.

Для «идеального» эксперта оценка согласованности δ_k принимается равной 10. О степени согласованности эксперта судят по отклонению индивидуальных оценок эксперта от средних значений оценок остальных экспертов. Также производится проверка принадлежности эксперта к согласованной («нормальной» группе) по критерию аномальности оценок, т. е. по модулю их отклонения от средней оценки экспертной группы.

Для оценки степени согласованности по этому методу можно использовать не специальные анкеты, а результаты опроса экспертов в части определения степени значимости критериев.

Применение результатов экспертизы

В качестве решающего критерия для отбора материала используем сопоставление интегральной оценки качества j -го материала R_j с оценкой качества материала, имеющего наибольшую частоту использования в рассматриваемой группе однотипных материалов – $R_{j\text{гран}}$.

Частота использования материала v_j данной j -й марки определяется количеством деталей (элементов конструкции), выполненных из данного материала, отнесенным к общему количеству деталей (элементов конструкции), выполненных из материалов данной подгруппы, в составе изделия:

$$v_j = \frac{n_j}{N_\Sigma}, \quad (10)$$

где n_j – количество деталей, выполненных из материала j -й марки; N_Σ – общее количество деталей, выполненных из материалов данной группы, в составе изделия.

После определения материала с наибольшей частотой использования (наиболее широко используемого в настоящее время материала из данной группы) интегральная оценка качества R_j данного j -го материала принимается за нижнюю границу оценок качества $R_{j\text{гран}}$ при отборе материалов по какому-либо признаку.

Сформулируем условие отбора материалов:

$$\begin{cases} R_j \geq R_{j\text{гран}} \\ j_{\text{гран}} : v_{j\text{гран}} = \max_{j=1 \dots J} (v_j) \end{cases}, \quad (11)$$

где R_j – интегральная оценка качества j -й марки материала; $R_{j\text{гран}}$ – граничное значение интегральной оценки качества для рассматриваемой группы материалов; $j_{\text{гран}}$ – номер марки наиболее широко используемого материала данной группы; v_j – частота использования j -го материала в группе однотипных материалов.

Таким образом, все материалы из данной группы с интегральной оценкой качества, равной или превышающей указанную оценку $R_{\text{гран}}$, являются лучшими (обладают квотами превосходства) в соответствии с выбранной системой критериев качества.

Разработанный методический подход к проведению экспертизы материалов позволяет сформировать перечни материалов по различным признакам на основании обработки результатов экспертных оценок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин А.Н. Методы экспертных оценок. Обнинск. 1996. 66 с.
2. Архангельский Н.Е., Валувев С.А., Половников В.А., Черногорский А.М. Экспертные оценки и методология их использования. М. 1974. 56 с.
3. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М. 1980. 263 с.
4. Добров Г.М., Ершов Ю.В. и др. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. Киев. 1974. 120 с.
5. Колганов И.М., Дубровский П.В., Архипов А.Н. Технологичность авиационных конструкций. Пути повышения. Часть 1. Учеб. пособ. Ульяновск: УГТУ. 2003. 148 с.
6. Амиров Ю.Д., Алферова Т.К., Волков П.Н. и др. Технологичность конструкции изделия: Справочник. М.: Машиностроение. 1990. 768 с.
7. Руководство Р-СЦМ-01 «Сертификация производства авиационных материалов (полуфабрикатов)». Вып. 2. М.: СЦ «Материал». 2006.
8. Руководство Р-СЦМ-04 «Оценка качества серийных авиационных материалов (полуфабрикатов) при сертификации их производства». Вып. 3. М.: СЦ «Материал». 2006.
9. Саати Т. Принятие решения. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь. 1993. 278 с.
10. Голубков Е.П. Основы маркетинга. М.: Дело и Сервис. 2003. 688 с.
11. Кендалл М. Дж. Ранговые корреляции [Rank correlation]: Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит. 1963. 239 с.
12. Степаненко М.В. Определение степени согласованности мнений экспертов при оценке конкурентоспособности: Науч. труды ДонНТУ. Серия экономическая. Вып. 69. 2004. С. 107–114.
13. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений: Учеб. пособ. М.: Экономика. 1984. 176 с.

REFERENCES LIST

1. Anohin A.N. Metody jekspertnyh ocenok [Methods of expert assessments]. Obninsk. 1996. 66 s.
2. Arhangel'skij N.E., Valuev S.A., Polovnikov V.A., Chernogorskiy A.M. Jekspertnye ocenki i metodologija ih ispol'zovaniya [Expert evaluation and the methodology for their use]. M. 1974. 56 s.
3. Beshelev S.D., Gurvich F.G. Matematiko-statisticheskie metody jekspertnyh ocenok [Mathematical and statistical methods of expert assessments]. M. 1980. 263 s.
4. Dobrov G.M., Ershov Ju.V. i dr. Jekspertnye ocenki v nauchno-tehnicheskom prognozirovanii [Expert assessments in science and technology forecasting]. Kiev. 1974. 120 s.
5. Kolganov I.M., Dubrovskij P.V., Arhipov A.N. Tehnologichnost' aviacionnyh kon-strukcij. Puti povysheniya [Manufacturability aerostructures. Ways to improve]. Chast' 1. Ucheb. posob. Ul'janovsk: UGTU. 2003. 148 s.
6. Amirov Ju.D., Alferova T.K., Volkov P.N. i dr. Tehnologichnost' konstrukcii izdelija: Spravochnik [Manufacturability of product design]. M.: Mashinostroenie. 1990. 768 s.
7. Rukovodstvo R-SCM-01 «Sertifikacija proizvodstva aviacionnyh materialov (polufabrikatov)» [Manual R-CMS-01 "Certification of aircraft materials (semi-finished)". Vyp. 2. M.: SC «Material». 2006.
8. Rukovodstvo R-SCM-04 «Ocenka kachestva serijnyh aviacionnyh materialov (polufabrikatov) pri sertifikacii ih proizvodstva» [Manual R-CMS-04 "Evaluation of the quality of serial aircraft

- materials (semi-finished) for the certification of their production"]. Vyp. 3. M.: SC «Material». 2006.
9. Saati T. Prinjatje reshenija. Metod analiza ierarhij [Decision. Analytic hierarchy process]: Per. s angl. M.: Radio i svjaz'. 1993. 278 s.
 10. Golubkov E.P. Osnovy marketinga [Principles of Marketing]. M.: Delo i Servis. 2003. 688 s.
 11. Kendall M. Dzh. Rangovye korreljacii [Rank correlation]: Per. s angl. M.: Izd-vo inostr. lit. 1963. 239 s.
 12. Stepanenko M.V. Opredelenie stepeni soglasovannosti mnenij jekspertov pri ocenke konkurentosposobnosti: Nauch. trudy DonNTU. Serija jekonomicheskaja [Determining the degree of consistency in the evaluation of expert opinions competitiveness]. Vyp. 69. 2004. S. 107–114.
 13. Evlanov L.G. Teorija i praktika prinjatija reshenij [Theory and practice of decision-making]: Ucheb. posob. M.: Jekonomika. 1984. 176 s.