

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Ирзаев Г.Х.*

*Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала*

**Ключевые слова:** комплексная оценка, критерии, технический уровень, техническое совершенство изделия, экспертная оценка.

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы комплексной оценки технического совершенства изделия машиностроения. Предложен экспертный метод выделения комплексных критериев технического совершенства конструкции изделия, соответствующих среднему и оптимальному значениям аналогов. Метод помогает разработчику принять решение о целесообразности продолжения процессов проектирования и подготовки производства нового изделия.

## COMPREHENSIVE ANALYSIS OF TECHNICAL PERFECTION OF A PRODUCT OF MECHANICAL ENGINEERING AT EARLY STAGES OF DESIGN

*Irzaev G.Kh.*

*Dagestan state technical university, Makhachkala*

**Keywords:** integrated assessment, criteria, technical level, product technical excellence, expert assessment.

**Abstract.** The article addresses the issues of a comprehensive assessment of the technical excellence of a mechanical engineering product. An expert method is proposed for identifying complex criteria for the technical perfection of the product design, corresponding to the average and optimal values of analogues. The method helps the developer decide on the feasibility of continuing the design processes and preparing the production of a new product.

Конкурентоспособность изделий машиностроения закладывается в ходе этапов конструкторско-технологической подготовки его производства. При этом разработчики и изготовители отработывают совокупность свойств и характеристик, влияющих на технический уровень изделия, еще на ранних стадиях проектирования. В условиях реализации требований стандартов качества серии ISO 9000-14000 предприятия уделяют внимание повышению технического совершенства выпускаемых изделий по сравнению с аналогами и перспективными разработками [1, 2]. Объективная оценка технического совершенства влияет на эффективность выполняемой разработки и способы управления качеством продукции [3].

Предлагаемый метод оценки технического совершенства реализуется на ранних этапах проектирования и поддерживает сбалансированный подход к конструкторским, технологическим, экономическим и экологическим аспектам, позволяет отказаться от проектирования конструкций, которые не отвечают критерию минимизации затрат на этапах их производства и эксплуатации.

Оценка выполняется по следующим группам укрупненных критериев:

- функционально-конструкторские, включающие в себя технические характеристики изделия машиностроения: функциональную отдачу, КПД, условия эксплуатации, унифицированность частей, контролепригодность и др.;
- технологические, затрагивающие техническую эффективность, трудоемкость изготовления, материалоемкость и технологические процессы производства, затраты на обеспечение качества в изготовлении;
- критерии надежности, состоящие из показателей срока службы, вероятности безотказной работы, средней наработки на отказ, стоимости отказа, ремонтпригодности, параметра потока отказов;
- эргономические и экологические, характеризующие соответствие изделия экологическим требованиям ISO 14000;
- экономические, включающие в себя затраты на материалы, энергию, информационное обеспечение, трудоемкость изделия, затраты на обслуживание и поддержку эксплуатации, себестоимость и средняя приведенная цена.

Предварительно отобранные эксперты [4, 5] выбирают наиболее значимые информационно емкие критерии для оценки технического совершенства изделия из полного множества  $\Omega = \bigcup_{i=1}^c X_i$ . Строится матрица  $R = (r_{ij})$ ,  $j = \overline{1, c}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , элементы которой могут принимать значение  $r_{ij} = 1$ , если  $i$ -й критерий принадлежит  $X_i$ , иначе  $r_{ij} = 0$ .

Вычисляется вероятность  $P_j = \sum_{i=1}^c r_{ij} / c$  и формируется конечное множество  $\Omega^*$ , состоящее только из тех критериев, для которых  $P_i > P_0$ , где  $P_0$  – некоторая заранее определённая величина вероятности, близкая к единице.

После стандартных процедур определения степени согласованности экспертов (коэффициент конкордации  $W$ ) им предъявляют конечное множество  $\Omega^*$  для классификации по 5 вышеприведённым группам критериев  $\Omega_t^*$  ( $t = 1, \dots, 5$ ). Определяют поправочный коэффициент  $B_t$ , учитывающий разницу между группами  $\Omega_t^*$  по количеству включённых в них критериев

$$B_t = f_t / l_{\min},$$

где  $f_t$  – количество критериев в  $t$ -й группе;  $l_{\min}$  – количество критериев в минимальной по размерам группе  $\Omega_t^*$ .

Проводят экспертные парные сравнения критериев для каждой группы  $\Omega_t^*$  отдельно, используя вербальную шкалу их относительной важности по признаку информативности об этом показателе. В матрице на пересечении строк и столбцов проставляется соответствующее количественное значение сравнительной оценки двух критериев. Например, при равной важности показателей присваивается 1, а при очень большом превосходстве одного показателя над другим – значение 9.

При обработке матрицы сравнения рассчитывают собственные векторы критериев внутри каждой группы по формуле

$$A_i = B_t \cdot \sqrt[n]{a_{i1}a_{i2}\dots a_{in}}$$

где  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  – количественные значения сравнения  $i$ -го критерия с остальными;  $n$  – количество критериев в группе.

Определяют средний вектор критерия по экспертам, используя формулу

$$\bar{A} = \left( \sum_{j=1}^c A_{ij} \right) / c.$$

Коэффициент весомости  $i$ -го критерия определяют как нормированную величину

$$b_i = \bar{A}_i / \sum_{i=1}^n \bar{A}_i.$$

Из групп  $\Omega_t^*$  выбирают те критерии технического совершенства изделий, у которых коэффициент весомости превышает пороговое значение ( $b_i \geq b_i^{\text{lim}}$ ). Формируется список наиболее весомых по информативности критериев  $\Omega^*$ . Используя данные конструкторско-технологической документации на изделие и аналоги, проводят расчеты по каждой группе критериев (табл. 1).

Табл. 1. Оценка оптимальности по одной группе критериев

| Наименование критерия                | Значение критерия для проектируемого изделия | Значение критерия для аналогов |          |     |          | Среднее значение критерия   | Соответствие среднему значению          | Оптимальное значение критерия, назначенное экспертом | Соответствие критерия оптимальному значению |
|--------------------------------------|--|--------------------------------|----------|-----|----------|-----------------------------|---|--|---|
|                                      |  | 2                              | 3        | ... | k        |                             |   |  |   |
| Критерий 1                           | $q_{11}$                                     | $q_{12}$                       | $q_{13}$ | ... | $q_{1k}$ | $\frac{\sum_1^k q_{1k}}{k}$ | $V_1 = \frac{q_{11}k}{\sum_1^k q_{1k}}$ | $q_1^y$  | $D_1 = \frac{q_{11}}{q_1^y}$                |
| Критерий 2                           | $q_{21}$                                     | $q_{22}$                       | $q_{23}$ | ... | $q_{2k}$ | $\frac{\sum_1^k q_{2k}}{k}$ | $V_1 = \frac{q_{21}k}{\sum_1^k q_{2k}}$ | $q_2^y$  | $D_2 = \frac{q_{21}}{q_2^y}$                |
| ...                                  | ...  | ...                            | ...      | ... | ...      | ...                         | ...                                     | ...  | ...   |
| Критерий n                           | $q_{n1}$                                     | $q_{n2}$                       | $q_{n3}$ | ... | $q_{nk}$ | $\frac{\sum_1^k q_{nk}}{k}$ | $V_1 = \frac{q_{nk}k}{\sum_1^k q_{nk}}$ | $q_n^y$  | $D_3 = \frac{q_{31}}{q_3^y}$                |
| Комплексный критерий (по t-й группе) |  |                                |          |     |          |                             | $Y_V = \frac{\sum_1^n b_{Vi}V_s}{n}$    |  | $Y_D = \frac{\sum_1^n b_{Di}D_s}{n}$        |

При расчетах придерживаются правила: если критерий должен быть максимальным, то его значения в строке  $n$  рассматриваются без изменений; если – минимальным, то расчет проводится по обратным величинам, т.е.  $1/q_{i1}, \dots, 1/q_{in}$ , где  $i = \overline{1, n}$ . Вычисленные средние значения величин  $Y_V$  и  $Y_D$  для всех групп критериев суммируют и находят комплексную оценку технического

совершенства изделия как среднюю по всем группам  $Y_V = \left( \sum_{t=1}^5 Y_{Vt} \right) / 5$  и комплексную оценку технического совершенства как оптимальную по группам  $Y_D = \left( \sum_{t=1}^5 Y_{Dt} \right) / 5$ .

Полученные значения показателей  $Y_V$  и  $Y_D$  позволяют сделать выводы об уровне технического совершенства изделия, целесообразности его внедрения в промышленность и наличии возможностей усовершенствования конструкции или технологии изготовления с целью снижения затрат.

Если  $Y_V < 1$  и  $Y_D < 1$ , то конструкция изделия уступает по техническому совершенству среднему уровню, дальнейшее внедрение нецелесообразно. Если  $Y_V \approx 1$  и  $Y_D < 1$ , то конструкция изделия соответствует среднему уровню, возможно дальнейшее развитие и внедрение в промышленность. Если  $Y_V > 1$  и  $Y_D < 1$ , то конструкция изделия превосходит по техническому совершенству средний уровень, рекомендуется внедрение. Если  $Y_V > 1$  и  $Y_D \geq 1$ , то конструкция изделия близка к наиболее оптимальному уровню, представляет собой высокоэффективную конструкцию, рекомендуемую к внедрению.

Метод позволяет оценить техническое совершенство любого сложного изделия машиностроения на этапах проектирования, избежать дорогостоящих инженерных изменений в конструкции на этапах эксплуатации. Объединение нескольких критериев, реализованное через их весовые коэффициенты, устраняет многокритериальность задачи и обеспечивает принятие обоснованного решения о разработке и изготовлении конструкции изделия.

#### Список литературы

1. Остапенко С.Н., Филатов А.А. Сравнительная оценка изделий с учетом рисков, связанных с их созданием // Вестник воздушно-космической обороны. 2016. № 1 (9). С. 86-92.
2. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Гуреев В.М., Мисбахов Р.Ш. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки // Вестник машиностроения. 2015. № 6. С. 35-39.
3. Ирзаев Г.Х. Система экспертного анализа технологичности электронных приборов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2008. Т. 51. № 3. С. 66-71.
4. Ирзаев Г.Х. Выбор количественного состава экспертной группы при оценке свойств промышленных изделий // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 4. С. 44-46.
5. Ирзаев Г.Х. Система отбора компетентных экспертов для решения проектно-производственных задач // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 1. С. 40-46.

#### Сведения об авторе:

*Ирзаев Гамид Хайбулаевич* – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», ДГТУ, г.Махачкала.