

С.В.КОЛЕСНИЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент, *serjkop@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

S.V.KOLESNICHENKO, PhD in eng. sc., associate professor, *serjkop@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ РАЗРАБОТКИ

Исследована задача обоснования методов и алгоритмов экспресс-оценки качества сложных технических систем на различных этапах жизненного цикла. Обобщены известные методы оценки качества (технического уровня) образцов техники. Проведена адаптация предложенного научно-методического аппарата с применением различных (измеримых и неизмеримых) технических характеристик образцов техники.

Ключевые слова: сложная техническая система, жизненный цикл, качество, технический уровень, эффективность.

RESEARCH APPROACHES FOR ASSESSING THE QUALITY OF COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS AT VARIOUS STAGES OF DEVELOPMENT

The problem of justification of methods and algorithms for rapid assessment of the quality of complex engineering systems at various stages of the life cycle. The problems generalize several well-known methods to assess the quality (technical level) and economic analysis models of equipment. Adapt the proposed scientific and methodological apparatus using real samples of engineering specifications.

Key words: complex technical system, the life cycle, quality, efficiency.

В настоящее время имеется определенный набор методов сравнения вариантов образцов сложных технических систем (СТС) и оценки их качества. Однако трудности, встречающиеся при их использовании, заставляют искать новые подходы, учитывающие особенности постановки задач сравнения различных вариантов образцов техники [3, 6, 7]:

- по совокупности качественных показателей (признаков) на стадии НИОКР;
- по совокупности количественных признаков на стадии НИОКР, т.е. по совокупности тактико-технических характеристик;
- по совокупности количественных признаков с учетом затрат на их достижение на стадии НИОКР;
- однотипных существующих образцов техники (отечественных и зарубежных).

Особенности постановки задач обуславливают необходимость рассмотрения ряда методов, обеспечивающих интересы практики. Создать единый (универсальный) метод, удовлетворяющий все нужды разработчика и заказчика, пока не удастся.

При сравнении вариантов сложной технической системы (образца техники) на самой ранней стадии проектирования часто требуется принимать решение о том, какой из вариантов более предпочтителен по совокупности качественных показателей. В этом случае для получения объективных результатов целесообразно использовать методы теории статистических выводов, основанные на непараметрической статистике, для чего варианты образцов техники необходимо проранжировать

по условным критериям предпочтения, т.е. каждому варианту приписать порядковый номер, соответствующий итогам сравнения по определенному качественному показателю.

Результаты такого ранжирования удобно представлять в виде матрицы вида

$$A = \|r_{ij}\| (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}),$$

где r_{ij} – ранг (порядковый номер) j -го варианта образца, сравниваемого по i -му показателю; n – число альтернативных вариантов образца (системы); m – число рассматриваемых качественных показателей.

В качестве интегральной меры предпочтения одного варианта перед другим могут быть использованы известные коэффициенты ранговой корреляции. Для данной задачи коэффициент ранговой корреляции будет иметь вид

$$\rho_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - 1)}{m(n-1)}.$$

где $\rho_j = 1$ соответствует наилучшему варианту образца, $\rho_j = 0$ – наихудшему.

Для определения критического значения коэффициента ранговой корреляции x_p по заданному уровню значимости (вероятности ошибки первого рода) $\gamma = 1 - \rho$, где ρ – доверительная вероятность, используют широко распространенное соотношение

$$x_p = \frac{1}{2} \left[1 + \psi(1 - \gamma) \left(\frac{4R - m^2 n(n-1)^2}{2m^2 n(n-1)^2 - 4R} \right)^{\frac{1}{2}} \right].$$

В тех случаях, когда каждый вариант проектируемого образца СТС характеризуется набором технических характеристик (ТХ), прибегают к оценке (сравнению) вариантов по их совокупности в следующем порядке.

1. Определяют перечень вариантов образца и эталон (базовый вариант). Считают, что для эталона свойство оптимальности единичных показателей (ТХ) в наибольшей

мере может быть выражено в перспективных моделях определенного вида, например

$$\tilde{P}_i = P_{0i}^i + k_i t, \quad (1)$$

где \tilde{P}_i – значение i -го единичного показателя эталона; P_{0i}^i – значение i -го единичного показателя на начальный момент времени; k_i – значение коэффициента, отражающего скорость изменения i -го показателя по времени t .

Выбор зависимости (1) правомерен, так как на практике обычно имеют дело с небольшими отрезками времени, охватывающими две-три смены поколений образцов конкретного вида техники.

2. Формируют представительную совокупность ТХ (единичных показателей), характеризующих технический уровень образца.

3. Рассчитывают относительные (нормированные) единичные показатели по формуле $\hat{q} = P_i / \tilde{P}_i$, где $i = \overline{1, n}$; n – количество выбранных единичных показателей.

4. Определяют «вес» каждой характеристики. Учитывая зависимость (1), можно записать

$$\alpha_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i}, \quad (2)$$

где $r_i = k_i / P_{0i}^i$.

Выбор формулы (2) для расчета коэффициентов «веса» осуществлен, исходя из анализа изменения показателей образцов-аналогов. Опыт создания образцов, например вооружения, показывает, что самыми быстрыми темпами совершенствуется те единичные показатели, которые важны для удовлетворения потребностей заказчика на данный период.

5. Рассчитывают коэффициенты близости вариантов системы эталону. Математической моделью получения оценок рассматриваемых вариантов является конечномерное действительное унитарное векторное пространство. Значение единичных показателей каждого оцениваемого варианта и эталонного определяют два n -мерных вектора $\|P\|$ и $\|\tilde{P}\|$. Мерой отклонения (степенью близости

к эталону) вектора $\|P\|$ от требуемого результата $\|\tilde{P}\|$ будет метрика Евклида

$$\rho = (\tilde{P}, P) = \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i (\tilde{P} - P_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Поскольку оптимальным значениям показателей соответствует лучшее качество, то все $\tilde{P}_i / P_i = 1$. Тогда в том же пространстве расстояние между n -мерным $\|\tilde{q}\|$ и единичным векторами будет представлено зависимостью

$$\rho = (1, \tilde{q}) = \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i (1 - \tilde{q}_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Величина $\rho(1, \tilde{q})$ имеет смысл средневзвешенной геометрической погрешности, которая определяет степень близости оцениваемого варианта к эталону.

6. Вычисляют коэффициенты соизмерения

$$b = 1 - \rho(1, \tilde{q})$$

и формируют кортеж предпочтительности вариантов образца.

Кроме того, на начальных стадиях жизненного цикла СТС вполне применимы различные методы прогнозирования качества технических систем [3, 6]:

- метод многомерного параметрического прогнозирования;
- метод экспоненциального сглаживания;
- вероятностные методы прогнозирования;
- экспертные методы прогнозирования.

Анализ большого количества источников по теории эффективности указывает на целесообразность использования при оценке качества перспективных образцов техники интегральных показателей качества, связывающих основные технические характеристики образцов и средства, затраченные для их достижения.

В общем случае интегральный показатель качества сложной технической системы [2, 4, 5]

$$I(t) = \frac{\Pi_c}{3_c + 3_s}, \quad (3)$$

где Π_c – суммарный полезный эффект от эксплуатации за весь срок службы в нату-

ральных единицах; 3_c – суммарные капитальные (единовременные) затраты на создание продукции в условных единицах стоимости; 3_s – суммарные эксплуатационные (текущие) затраты за весь срок службы; t – срок службы продукции, годы.

Суммарный полезный эффект от эксплуатации продукции за весь срок службы t в случае, когда ежегодный эффект Π_1 одинаков,

$$\Pi_c = \sum_{i=1}^t \Pi_i = \Pi_1 t.$$

В том случае, если ежегодный эффект снижается за счет физического износа, суммарный полезный эффект

$$\Pi_c = \Pi_1 \frac{1 - e^{-kt}}{1 - e^{-k}},$$

где k – положительное число, характеризующее интенсивность физического износа продукции.

Очень важным обстоятельством при определении интегрального показателя качества является учет влияния фактора времени на затраты, обязательный, если период разработки, внедрения и использования новой продукции превышает один год.

Период, для которого следует учитывать фактор времени, должен включать время на подготовку (время на выполнение НИР, проектирование, изготовление, освоение) и эксплуатацию продукции. За расчетный год, применительно к условиям которого должны приводиться затраты (цены, тарифы, ставки и др.) всех других лет за рассматриваемый период сравнения продукции, целесообразно принимать год вложения капитальных затрат оцениваемого образца.

Уменьшение стоимости ранее введенной в эксплуатацию продукции вследствие роста производительности труда в целом сказывается как на величине капитальных вложений и эксплуатационных затрат. В связи с этим при определении интегрального показателя качества продукции со сроком службы более одного года, вводятся соответствующие коррективы. Это достигается тем, что в формулу (3) при определении приведенных затрат вводится норматив

приведения E устанавливаемый компетентными органами. При отсутствии утвержденного норматива приведения в наиболее распространенном диапазоне разновременности вложения затрат (до 10 лет) для оценки качества продукции рекомендуется принимать $E = 0,15 \div 0,33$ [1, 4].

В этих случаях суммарные капитальные, эксплуатационные и приведенные затраты

$$Z_c = Z_c(1 - E)^{-h};$$

$$Z_o = \sum_{i=1}^t Z_{oi}(1 + E)^{i-1-l};$$

$$Z_{np} = Z_c(1 - E)^{-h} + \sum_{i=1}^t Z_{oi}(1 + E)^{i-1-l},$$

где Z_c – суммарные капитальные затраты на создание продукции в момент их вложения (без приведения к расчетному году); Z_{oi} – эксплуатационные затраты, осуществленные в i -м году; h – время от момента вложения капитальных затрат до расчетного года; l – время от начала эксплуатации до расчетного года.

В случае, если капитальные затраты вносятся в расчетный год, а эксплуатационные затраты по годам остаются постоянными, приведенные затраты

$$Z_{np} = Z_c + Z_o \frac{(1 + E)^t - 1}{E}.$$

Полезный эффект может быть охарактеризован обобщенным или единичным показателем качества и выражен в измеримых и в неизмеримых единицах. Полезный эффект в измеримых единицах определяется расчетным путем либо путем проведения испытаний или экспериментов. Для большинства образцов техники полезный эффект характеризуется как измеримыми, так и неизмеримыми показателями качества. В случаях, когда оценку полезного эффекта не удастся выразить в измеримых единицах, его следует выражать в неизмеримых единицах (баллах) с использованием методов экспертных опросов [5, 6].

Полезный эффект оцениваемого образца, отличающегося от базового по m изме-

римым показателям и n неизмеримым показателям качества,

$$\Pi_1 = \Pi_6 + \sum_{k=1}^m \Delta\Pi_k + \sum_{j=1}^n \Delta\Pi_j, \quad (4)$$

где Π_6 – полезный эффект базового образца; $\Delta\Pi_k$ – приращение эффекта, вызываемого k -м измеримым показателем качества; $\Delta\Pi_j$ – приращение эффекта, вызываемого j -м неизмеримым показателем качества.

Показатель

$$\Delta\Pi_k = \alpha_k \Pi_{61} \frac{\Delta P_k}{P_{6k}} \quad (k = \overline{1, m}), \quad (5)$$

где α_k – коэффициент, вычисляемый экспертным методом; $\Delta P_k = P_k - P_{6k}$ – приращение k -го показателя качества образца; P_{6k} – k -й измеряемый показатель качества базового образца.

Показатель

$$\Delta\Pi_j = \beta_j \Pi_{61} \frac{\Delta P_j}{P_{6j}} \quad (j = \overline{1, n}), \quad (6)$$

где β_j – коэффициент, вычисляемый экспертным методом; $\Delta P_j = P_j - P_{6j}$ – приращение j -го показателя качества образца; P_{6j} – j -й неизмеряемый показатель качества базового образца.

С учетом (5) и (6) выражение для вычисления полезного эффекта (4) можно записать в виде

$$\Pi_1 = \Pi_{61} \left\{ 1 + \sum_{k=1}^m \alpha_k \frac{\Delta P_k}{\Delta P_{6k}} + \sum_{j=1}^n \beta_j \frac{\Delta P_j}{P_{6j}} \right\}$$

при

$$\sum_{k=1}^m \alpha_k + \sum_{j=1}^n \beta_j = 1,$$

где α_k и β_j – коэффициенты весомости соответствующих единичных показателей качества.

Таким образом, интегральный показатель качества образца может представлять собой сложную функцию

$$I = F(P_{6k}, P_{6j}, Z_c, Z_o, t, E, \alpha_k, \beta_j).$$

В данном виде интегральный показатель, в отличие, например, от описанных выше показателей, позволяет более гибко оценивать

качество существующих и создаваемых сложных технических систем, а также проводить сравнение альтернативных вариантов техники по количественным и качественным показателям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика определения и применения интегральных показателей качества промышленной продукции. М., 1983. 26 с.
2. *Моисеева Н.К.* Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа. М., 1988. 192 с.
3. *Прохоренко В.А.* Прогнозирование качества систем / В.А.Прохоренко, А.Н.Смирнов. Минск, 1976. 200 с.
4. *Романенко И.В.* Экономика предприятия: Учеб. пособие. М., 2011. 252 с.
5. *Трушников В.Е.* Основы эколого-экономического обоснования использования техногенных ресурсов форстерита из отходов обогащения для производства удобрений // Горный инф.-аналит. бюл. 2010. № 10. С. 70-77.
6. *Филюстин А.Е.* Оценка вариантов технических систем на этапах разработки. СПб, 1993. 72 с.

7. *Чумаков Н.М.* Оценка эффективности сложных технических устройств / Н.М.Чумаков, Е.И.Серебряный. М., 1980. 200 с.

REFERENCES

1. Method of determination and application of integrated until indicators of quality of industrial products. Moscow, 1983. 26 p.
2. *Moiseeva N.K.* Fundamentals of the theory and practice of functional no-cost analysis. Moscow, 1988. 192 p.
3. *Prokhorenko V.A., Smirnov A.N.* Prediction quality systems. Minsk, 1976. 200 p.
4. *Romanenko I.V.* Economics of Enterprise: A manual for schools. Moscow, 2011. 252 p.
5. *Trushnikov V.E.* Fundamentals of ecological and economic feasibility of technological resources forsterite of tailings for fertilizer production // Mining informational and analytical bulletin. 2010. N 10. P.70-77.
6. *Filyustin A.E.* Evaluation versions of the technical systems in development. Saint Petersburg, 1993. 72 p.
7. *Chumakov N.M., Serebryaniy E.I.* Evaluating the effectiveness of complex devices. Moscow, 1980. 200 p.