

Литература. 1. Почтенный Е.К. К теории усталости металлов.- Прочность металлов при циклических нагрузках.- М.: Наука,1967,С.14 – 20. 2. Почтенный Е.К. Оценка циклической прочности деталей машин.- Вестник машиностроения, 1969, №9, С.11 – 15. 3. Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей машин.- Мн.: Наука и техника,1983, 246 с., ил. 4. Почтенный Е.К. Анализ экспериментально-аналитического метода усталостных испытаний. – Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2000,№9, С.53 – 56. 5. Журавель А.И., Почтенный Е.К., Щурин К.В., Матусевич В.И. Оценка долговечности рам тракторных прицепов.- Вести АН БССР, серия физ.- техн. наук, 1987, №3, С.6 – 12. 6. Гольд В.В., Оболенский Е.П., Стефанович Ю.Г., Трофимов О.Ф. Основы прочности и долговечности автомобиля.- М.: Машиностроение,1967, 212 с.,ил.

УДК 621.001.2:621.833

К.И. Заблонский, С.С. Гутыря

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СИСТЕМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ МАШИН

*Одесский национальный политехнический университет
Одесса, Украина*

Квалиметрия - быстро развивающаяся область науки, предметом которой являются количественные методы оценки и управления качеством разнообразной продукции общественного производства. Актуальность соответствующих научных исследований обусловлена прежде всего негативными последствиями одностороннего подхода к проектированию и производству промышленной продукции на основе критерия минимальных затрат при фиксировании достигнутых уровней других, не менее важных для потребителя, признаков качества изделия [1, 2].

За последние 15 лет в промышленно-развитых странах ассортимент продукции машиностроения увеличился более чем в 4 раза, ее сложность по числу составляющих деталей и узлов - удвоилась, период освоения производства новых моделей равен 2...3 года, а цикл обновления сократился до 7...10 лет. В современных экономических условиях только предложение изделий лучшего качества при одинаковых с конкурентами либо даже повышенных ценах обеспечивает устойчивый сбыт и расширенное производство. Следствием отмеченных процессов является:

- смещение приоритетов при управлении качеством изделия на протяжении жизненного цикла ЖЦ с этапа изготовления И на этап проектирования Пр, что существенно повышает его значимость и удлиняет период L' (рис. 1);

- интенсивная разработка компьютерных технологий CAD/CAM, включающих модули имитационного моделирования и оптимального проектирования.

Эффективность отмеченных процессов непосредственно определяется обоснованностью и состоятельностью базовых квалиметрических положений:

- критериями качества, т. е. “что оценивать?”;
- соответствующими технологиями - “как оценивать?”.

Для научного обеспечения технологий изделий системной сложности необходимо формализовать решение следующих задач: 1 - сформировать исходное множество признаков качества изделия $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, все элементы которого зависят от управляемых параметров проектирования и доступны для метрологического контроля на последующих этапах

ЖЦ (см. рис. 1); 2 - установить значимые взаимосвязи признаков $x_i \leftrightarrow x_j, \forall i, j = \overline{1, n}$ для уменьшения размерности $n \rightarrow \min$, сгруппировать и упорядочить признаки по служебным свойствам изделия и степени информативности; 3 - пронормировать разнородные признаки качества, т.е. привести их к единой безразмерной шкале измерений для формирования однородного множества квалиметрических показателей $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_l\}, l \leq n$; 4 - разработать математическую модель множества $\{Q\}$ с целью минимизации числа критериев квалиметрического анализа проектных вариантов, адекватную широкому классу технических систем и их типовых компонентов; 5 - выделить подструктуру $\{Q\}$ из общей структуры показателей $\{Q\}$ с учетом конкретных целей анализа либо синтеза проекта, т.е. сформировать необходимое и достаточное подмножество квалиметрических показателей, обеспечивающих измеримость всех поставленных целей.

Решение задачи 1 для сложных технических объектов невозможно в принципе, т.к. требует систематизации обширной базы данных о качестве изделий-аналогов, при подготовке которой необходимо задать определенный перечень признаков. Для относительно медленно, эволюционно развивающихся технических систем накопленный опыт и нормативы их проектирования, производства и эксплуатации, а также экспертный анализ наиболее совершенных аналогов, требований потребителя и условий маркетинга, позволяют сформировать исходные множества $\{X\}$ путем дедуктивного анализа соответствующей документации.

Формализованное решение задачи 2 выполняется методами кластерного и многомерного статистического анализа при условии наличия представительной базы данных для *квалиметрически подобных* изделий. Необходимым и достаточным условием подобия является постоянство числовых значений безразмерных комплексов, образованных из множества параметров проектирования, формирующих основные служебные свойства изделий идентичного назначения [3].

Нормирование разнородных признаков качества (задача 3) базируется на теории квалиметрических шкал, выбор которых обосновывают физическими, экономическими, психологическими и др. условиями. Исходя из практически подтверждаемой *функции полезности*, отражающей тот факт, что и для заказчика и для производителя технически сложной продукции значимость любого служебного свойства убывает по мере его совершенствования и увеличения производственных затрат, в качестве единого оператора шкалирования элементов множества $\{X\}$ принята функция гиперболического тангенса с диапазоном определения $[0; 1]$.

Построение квалиметрической модели (задача 4), адекватной многоуровневой физической структуре изделий машиностроения, базируется на содержательном анализе взаимообусловленных понятий *качество* и *свойство*, которые могут быть правильно раскрыты только системными методами. При этом комплексная оценка проекта - показатель технического уровня U отображает одновременно как множество отдельных свойств изделия, так и сложное системное свойство технического совершенства конструкции в целом. На примере механизмов передач зацеплением, для которых характерна устойчивость технического развития, обоснована структура отношений между служебными свойствами в виде много-уровневой оболочки (рис. 2, а), отличающейся тем, что на каждом ее уровне могут учитываться новые квалиметрические показатели, адекватные моделируемому внешним либо внутренним (межкомпонентным) свойствам механизмов [4].

Предложенная структура позволяет согласовать требуемое число m учитываемых служебных свойств, адекватную альтитуду l_m модели и достаточную мощность n множества $\{Q\}$. Наиболее простая каноническая форма соответствует условиям

$$l_m = m; \quad n = \sum_{k=0}^m (m - k), \quad (1)$$

при этом развертка структуры на плоскость “свойства-альтитуда” в любом направлении имеет вид треугольной $(m \times m)$ - матрицы $\{Q\}$ (рис. 2, б).

Отличительной особенностью любых квалиметрических моделей является отсутствие измеряемых критериев оценки объективности конечного результата. Поэтому, принципиально важным является обеспечение:

- минимального влияния субъективных факторов (включая экспертные оценки);
- стабильной технологической точности получаемых решений.

Аксиоматически обосновано, что единая информационная характеристика качества проекта - показатель U , должна быть инвариантна методу ее получения. Следовательно, оценки U' и U'' сравниваемых вариантов можно считать *истинными*, если

$$U'_k / U''_k = \text{const} \quad \forall k = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где m - число используемых альтернативных моделей, с увеличением которого повышается информативность и точность оценок.

Поскольку каждый уровень предложенной структуры (см. рис. 2) можно рассматривать как альтернативную модель квалиметрической базы данных одного и того же объекта, то для доказательства истинности решения достаточно обеспечить его *единственность*. Применяв линейную нормированную аддитивную форму оператора свертывания

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i q_i = U; \quad \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1, 0, \quad (3)$$

($\lambda_i > 0 \quad \forall i = \overline{1, m}$ - коэффициенты весомости свертываемых показателей) для каждой строки матрицы $[Q]$ (см. рис. 2, б) получена неоднородная система линейных уравнений, обеспечивающая единственность решения для вектора $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, U)^T$ при условии *строгого упорядочения* показателей $q_{mm} > q_{m-1, m}$, а также относительную погрешность решений по алгоритму Гаусса $|\delta_0| \leq 0,5\%$ при обоснованном статистическими испытаниями ограничении $q_{kj} \geq 0,1 \quad \forall k = \overline{1, j} \wedge i = \overline{1, m}$ [4].

Выделение подструктур $\{Q\}$ (задача 5) адекватно процедуре квантификации служебных свойств изделия в соответствии с графом целей управления его качеством на определенном этапе ЖЦ.

Задача оптимального проектирования на основе системной квалиметрической модели сводится к поиску решения целевой функции $(1 - U_{\text{extr}}) \rightarrow \min$ методами математического программирования при параметрических ограничениях, устанавливаемых по каждому из используемых показателей q_{kj} . Используя особенности разработанной системной квалиметрической модели удалось автоматизировать процедуру начала решения симплекс-методом и обеспечить устойчивость и сходимость соответствующего итерационного алгоритма [5]. При этом оптимальное проектирование предполагает последовательный отбор допустимого множества решений D , затем подмножества Парето-оптимальных решений P и выделение из последнего близких по критерию технического уровня U вариантов. Для предотвращения получения неконструктивных решений все отобранные признаки качества x_1, x_2, \dots, x_n вычисляются только для таких значений управляющих параметров проектирования, которые удовлетворяют заданным параметрическим, функциональным и др. ограничениям. Выбор пробных точек в гиперпространстве параметров проектирования производят с применением равномерно распределенных ЛП,

- последовательностей, обладающих тем свойством, что координаты точек по всем осям одновременно различны и образуют квази-равномерные числовые последовательности.

Практическое применение разработанных моделей и соответствующих программных комплексов при проектировании и производстве гаммы зубчатых и червячных механизмов транспортных машин подтвердило высокую эффективность многопараметрической оптимизации конструкций на основе единого системного критерия технического уровня [6].

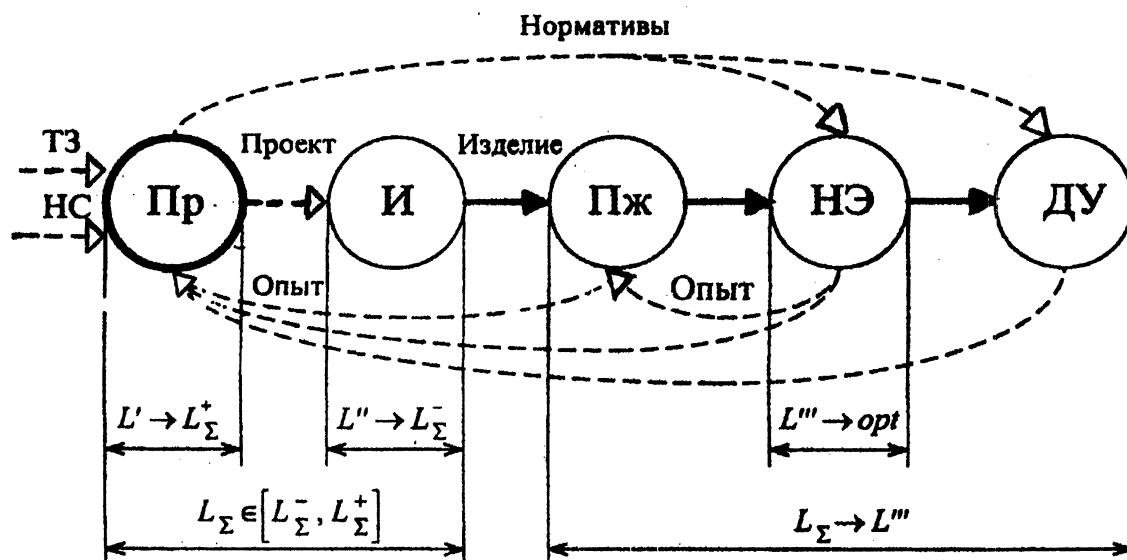


Рис. 1. Схема ЖЦ изделий машиностроения: ТЗ - техническое задание; НС - нормативная стоимость; Пж, НЭ и ДУ - этапы продажи, нормативной эксплуатации, деструкции и утилизации; L_{Σ} , L' , L'' и L''' - длительность соответствующих этапов; штриховые линии - информационные потоки; сплошные - материальные потоки

Литература. 1. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения. - М.: Машиностроение, 1984. - 224 с. 2. Андрианов Ю.М., Субетто А.И. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении. - Л.: Машиностроение, 1990. - 216 с. 3. Гутиря С.С., Попель О.Е. Квалиметрическое подобие и диагностика технического уровня передач зацеплением // Вісник Інженерної академії України. - К. - 2000. - Спеціальний випуск. - С. 506 - 509. 4. Гутиря С.С., Кобозева А.А. Системная квалиметрическая модель передач зацеплением // Труды Одес. политехн. ун-та. - Одесса, 2000. - Вып. 1(10). - С. 45-50. 5. Гутиря С.С. Управление техническим уровнем передач зацеплением на основе системной квалиметрической модели // Труды Одес. политехн. ун-та. - Одесса, 2001. - Вып. 2(14). - С. 28 - 31. 6. Гутиря С.С., Попель О.Е. Кваліметричний синтез і дослідження глобального редуктора високого технічного рівня // Тези доповідей 5-го міжнар. симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові. - Львів: КІНПАТРИ ЛТД. - 2001. - С. 74.

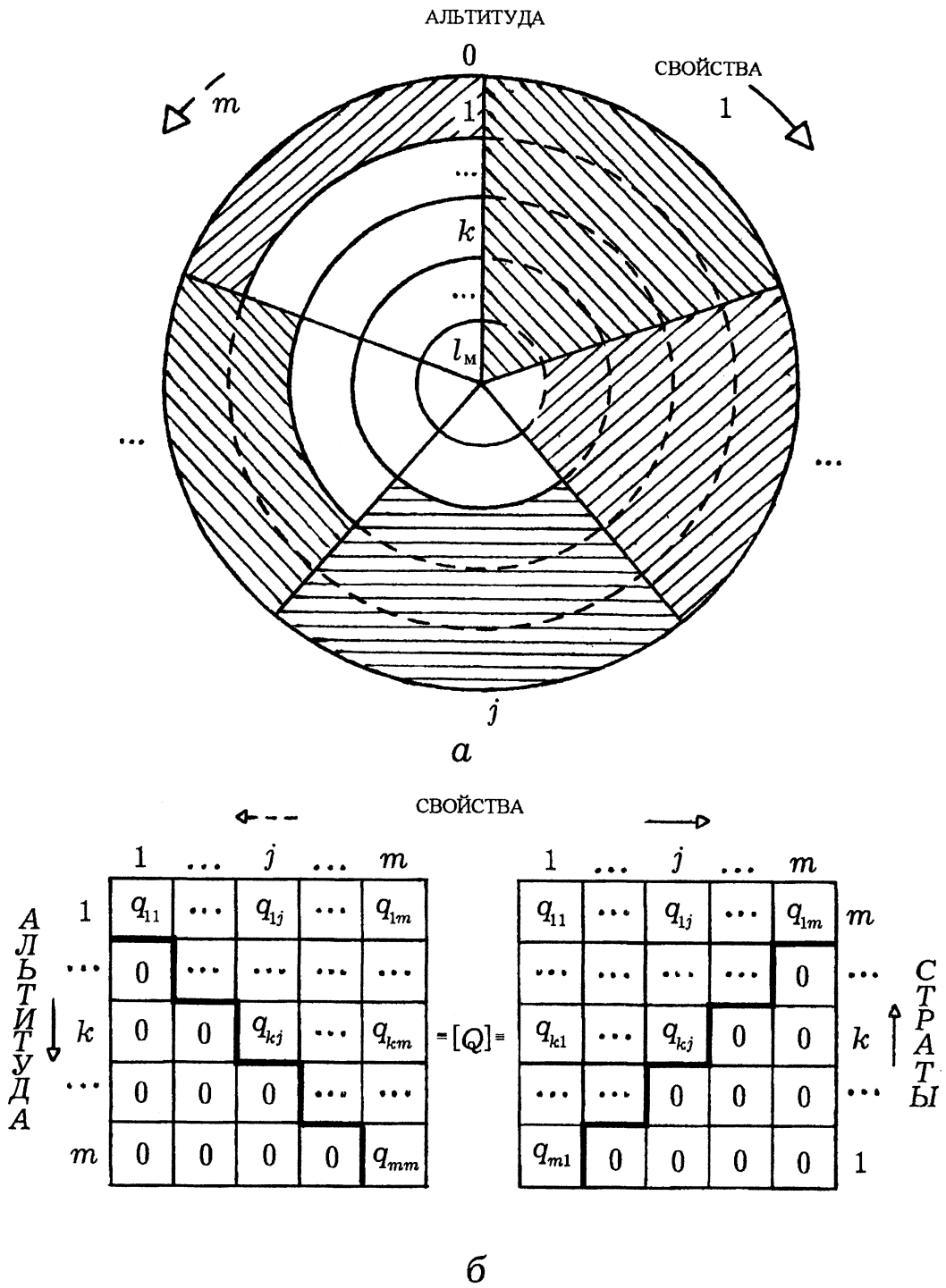


Рис. 2. Структура квалиметрической базы данных (а) и соответствующая матрица (б)