

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПО МЕТОДИКЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Для обеспечения высокого качества продукции необходимо отчетливо понимать цели управления качеством, знать структуру критериев и параметров, его определяющих. В процессе решения таких задач за рубежом широко применяются предложенные японским профессором Каору Исикава причинно-следственные диаграммы, называемые благодаря своему виду «рыбий скелет».

На рисунке 1 представлена причинно-следственная диаграмма формирования качества сварного шва в трубосварочном цехе Могилевского металлургического завода. В результате проведения «мозговой атаки» были выделены следующие факторы, определяющие качество труб: материал; оснастка; процесс сварки; оборудование; персонал. Каждый из этих факторов в свою очередь определяется совокупностью измеряемых (разнотолщинность) или качественно (опыт) задаваемых параметров. Построение диаграммы позволяет структурировать проблему, выделить первостепенные и вспомогательные задачи, разработать план конкретных мероприятий по повышению качества.

Однако при этом остается незадействованным большой объем информации, явно и неявно связанной с диаграммой. Не учитываются количественные и качественные значения факторов, степень желательности этих значений с точки зрения обеспечения высокого качества, не учитывается неравнозначность частных критериев качества, зависящая от их вклада в формирование обобщенного показателя качества. Наконец, для оценки эффективности мероприятий по повышению качества продукции желательно получать количественные и хорошо интерпретируемые значения обобщенного показателя качества.

В настоящей работе предложена методика, позволяющая количественно учитывать и агрегировать связанную с причинно-следственными диаграммами информацию, что повышает их эффективность при управлении качеством.

Оперирование с количественной и качественной информацией обусловлено использованием в методике элементов теории нечетких множеств.

Рассмотрим для примера количественный показатель разнотолщинность ( $P$ ). Пусть  $P_2$  – наихудшее значение показателя  $P$ , а  $P_1$  – наилучшее значение (минимальная достижимая на практике разнотолщинность). Будем полагать значения  $P$  выше  $P_2$  недопустимыми, а значения  $P$  ниже  $P_1$  максимально желательными.

Для формализации подобных описаний в теории нечетких множеств используется аппарат функций принадлежности (желательности), изменяющихся от 0 в области недопустимых значений до максимального значения, равно 1, в области наилучших значений анализируемого показателя качества.

Общий вид функции желательности, соответствующей рассмотренному примеру, представлен на рисунке 2а. Следует отметить, что линейный характер изменения функций желательности не является догмой и употребляется обычно в тех случаях, когда о различных значениях показателей качества можно лишь сказать, что одно из них предпочтительнее другого.

Аналогично строятся функции желательности и для других количественных показателей. Наиболее часто функции желательности строятся в виде нечетких (рисунок 2б, 2в) или четких (рисунок 2г) интервалов.

Формализация показателей качества, задаваемых на качественном уровне, также проведена с помощью функций желательности. При этом используются лингвистические оценки степени выраженности (желательности) показателя. Предположим, что степень выраженности показателя «Опыт» оценивается по вербальной шкале: «низкий», «удовлетворительный», «хороший» и т.д. Способ построения функции желательности представлен на рисунке 2д.

В итоге все качественные и количественные показатели представляются в единой безразмерной шкале функций желательности.

Следующим этапом является определение коэффициентов относительной важности (рангов) частных критериев с точки зрения их вклада в показатель качества, который они определяют на более высоком уровне причинно-следственной диаграммы. Например, показатель качества второго уровня «материал» определяется частными критериями третьего уровня «исходные пластические свойства», «разнотолщинность», «привнесенные пластические свойства», которые вносят разный вклад в формирование показателя качества «материал».

При ранжировке большого числа критериев качества возникают существенные методические проблемы. Это связано с ограниченными возможностями человека при оценке многокритериальной ситуации. Человек во многих случаях не способен непосредственно оценить численное значение того или иного параметра или признака (в нашем случае – коэффициента относительной важности, ранга критерия) с удовлетворительной, стабильно малой погрешностью. Вместе с тем,

при сравнении двух альтернатив он обычно способен адекватно определить, у какой из них рассматриваемый признак (важность) выражен сильнее, а в ряде случаев – и грубо оценить (вербально), насколько велика разница между наблюдаемыми у двух альтернатив значениями.

Таким образом, методика ранжировки критериев должна обеспечивать получение количественных значений коэффициентов относительной значимости на основе их попарного сравнения, выраженного в вербальной форме. Для оценки коэффициентов относительной важности предложено использовать известную методику Т. Саати.

Пусть  $a_i > 0, i = 1, \dots, n$  – абсолютные ранги критериев. Рассмотрим квадратную матрицу относительных рангов  $A = \{a_i/a_j\}$ . Очевидно, умножив  $A$  справа на вектор искомых рангов  $W = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ , получим  $AW = NW$ , где  $N$  – собственное значение матрицы  $A$ . Таким образом, если известна матрица  $A$ , то нахождение  $W$  сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. Однако, на практике элементы матрицы, представляя собой попарные значения относительной важности критериев, задаются на основе субъективных предпочтений, т.е. весьма неточны. Поэтому Т.Саати предлагает получить решение из уравнения вида  $AW = \lambda W$ , где  $\lambda$  – максимальное собственное значение матрицы  $A$ . Известно, что задачу определения вектора  $W$  можно свести к проблеме минимизации функционала:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (A_{ij} a_j - a_i)^2, \text{ при ограничении } \sum_{i=1}^n a_i = n.$$

Для задания элементов матрицы парных сравнений предложено связать лингвистические оценки попарной важности критериев с натуральным числовым рядом. Приведем набор таких лингвистических оценок в русском языке, полученный обобщением опыта решения задач принятия решений (см. табл. 1).

Таблица 1

**Лингвистические оценки относительной важности**

Строго эквивалентны	1	Почти эквивалентны	3
Несколько предпочтительнее	5	Значительно предпочтительнее	7
Строго предпочтительнее	9	Промежуточные значения	2,4,6,8

Число градаций не превышает 9. В силу особенностей человеческого мышления, аналогичная картина наблюдается и в языках других народов, поскольку психофизические данные свидетельствуют о том, что человек уверенно различает не более  $7 \pm 2$  градаций на шкале некоторого признака (параметра). Если же шкала содержит большее число градаций, то соседние градации начинают сливаться и не могут быть с уверенностью разграничены.

Пример формирования матрицы парных сравнений представлен в табл. 2.

Таблица 2

**Матрица парных сравнений критериев, характеризующих «оснастку»**

	Индуктор	Валки	Ферриты
Индуктор	1	1/5	2
Валки	5	1	4
Ферриты	1/2	1/4	1

В таблице 3 представлена матрица парных сравнений критериев, непосредственно определяющих обобщенный показатель качества.

Следующим этапом является адекватное агрегирование частных критериев, формализованных с помощью функций желательности в некоторые обобщенные критерии с учетом рангов.

Пусть  $m_1(x_1), m_2(x_2), \dots, m_n(x_n)$  – функции желательности частных критериев;  $\{x_i\}$ ,  $i=1, \dots, n$  – количественные и качественные показатели качества;  $a_1, \dots, a_n$  – коэффициенты относительной важности критериев (ранги).

Таблица 3

Матрица парных сравнений критериев второго уровня

	Материал	Оснастка	Сварка	Оборудование	Персонал
Материал	1	3	2	1/5	7
Оснастка	1/3	1	1/3	1/5	2
Сварка	1/2	3	1	2	8
Оборудование	5	5	1/2	1	3
Персонал	1/7	1/2	1/8	1/3	1

В литературе наиболее часто встречаются следующие варианты построения свертки неравнозначимых частных критериев в обобщенный показатель:

$$DD_1 = \min(m_1(x_1)^{a_1}, m_2(x_2)^{a_2}, \dots, m_n(x_n)^{a_n});$$

$$DD_2 = \sum_{i=1}^n a_i m_i(x_i);$$

$$DD_3 = \prod_{i=1}^n m_i(x_i)^{a_i};$$

Существуют различные мнения о сравнительной эффективности приведенных способов формирования обобщенного показателя. Варианты  $DD_2$  и  $DD_3$  обладают свойством компенсации малых значений одних критериев за счет других, что не всегда желательно. Вариант  $DD_1$  от этого недостатка свободен, но приводит к очень жесткой оценке ситуации, в связи с чем его иногда называют критерием максимального пессимизма. Более строгая оценка относительной предпочтительности вариантов  $DD_1 - DD_3$  проведена в [1], где показано, что при решении оптимизационных задач целесообразно использовать только вариант  $DD_1$ . В тех же случаях, когда оптимизационная задача не ставится, для повышения доверия к итоговым оценкам есть смысл использовать одновременно все три варианта.

В таблице 4 представлены результаты расчетов по разработанной методике значений обобщенных критериев второго уровня. Полученные численные оценки характеризуют степень желательности значений факторов второго уровня с точки зрения обеспечения обобщенного показателя качества.

Следует подчеркнуть, что несмотря на весьма абстрактную качественную формулировку факторов второго уровня, использование разработанной методики позволяет получить для них количественные оценки.

Таблица 4

**Количественные оценки критериев второго уровня**

Факторы второго уровня	DD <sub>1</sub>	DD <sub>2</sub>	DD <sub>3</sub>
Материал	0,85	0,96	0,85
Оснастка	1	1	1
Сварка	1	1	1
Оборудование	1	1	1
Персонал	0,36	0,63	0,36

Каждый из критериев DD<sub>1</sub>-DD<sub>3</sub> в силу построения нормирован на единицу и может рассматриваться в свою очередь как функция желательности соответствующего фактора второго уровня с точки зрения повышения обобщенного показателя качества. Последнее позволяет получить количественную оценку обобщенного показателя качества путем свертки значений DD<sub>1</sub>-DD<sub>3</sub> для критериев второго уровня с учетом их рангов. В результате были получены результаты, представленные в табл. 5.

Таблица 5

**Значения обобщенного показателя качества**

Тип сверки частных критериев	Значения обобщенного критерия
DD <sub>1</sub>	0,948
DD <sub>2</sub>	0,978
DD <sub>3</sub>	0,948

Разработанная методика реализована в виде пакета прикладных программ и может быть с успехом применена при любом числе промежуточных уровней причинно-следственной диаграммы. Применение методики позволяет существенно расширить возможности причинно-следственных диаграмм для управления качеством за счет формирования многокритериальных количественных оценок качества как на всех промежуточных уровнях, так и в обобщенном смысле.



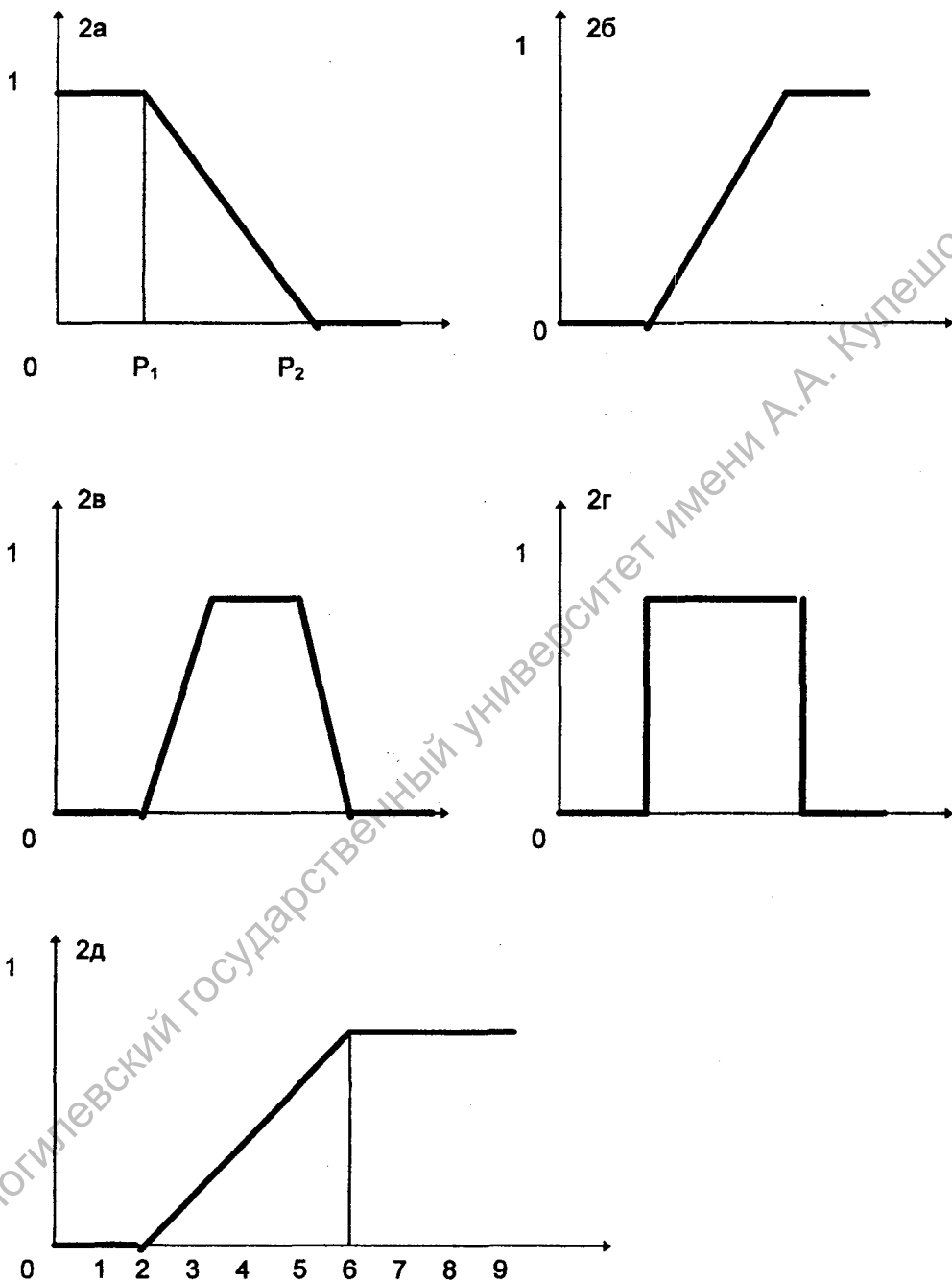


Рис.2. Функции желательности

## ЛИТЕРАТУРА

1. Севастьянов П.В., Туманов Н.В. Многокритериальная идентификация и оптимизация технологических процессов. – Мн.: Навука і тэхніка, 1990. – 224 с.