



ВЫБОР МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Академик НАН Украины **Л. М. ЛОБАНОВ**, **А. Е. КОРОТЫНСКИЙ**, **В. И. ЮМАТОВА**, кандидаты техн. наук,
М. И. СКОПЮК, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены модели определения показателей качества сварного оборудования. Приведен оценочный расчет средневзвешенных показателей качества сварных трансформаторов, которые изготавливаются по единой технологической схеме в условиях серийного производства.

Ключевые слова: сварочное оборудование, технический уровень, квалиметрия, обобщенный коэффициент показателя качества, экспертная оценка, матрица, вектор, целевая функция

Задача повышения качества сварочного оборудования (СО) и его конкурентоспособности является одной из главных для фирм-производителей. В этой связи важное значение приобретает проблема разработки методов оценки технического уровня серийного СО. К сожалению, этому вопросу последние годы должного внимания не уделяется. Между тем, известен ряд работ [1–3] из области машиностроения, идеи которых можно адаптировать к оценке качества СО, но с учетом специфических особенностей его производства.

Для решения задачи оценки качества в квалиметрии [4] разработаны различные подходы, основанные на обобщенных показателях качества $Q_{об}$ СО, которые могут рассматриваться в двух аспектах: первый — сравнение $Q_{об}$ с такими же показателями, полученными для соответствующих изделий других фирм, т. е. определение технического уровня СО [5] среди аналогов и прототипов; второй — определение показателя качества по результатам измерений технических параметров образцов продукции серийного производства. Решение второй задачи актуально для производителей СО, работающих в соответствии с нормами ISO 9001, где регламентом предусмотрен непрерывный мониторинг качества выпускаемой продукции.

Анализ методов оценки обобщенного показателя качества изделий. Первые модели комплексной оценки качества строились как простое объединение оценок отдельных свойств изделия, без учета их весомости [6]. Это так называемое оценивание по среднему. Естественно, что эффективность таких средних оценок может удовлетворить пользователей в незначительной степени. Введение в модели [7] коэффициентов весомости, основанных на оценках по среднеарифметическому значению, существенно повышает их эффективность и расширяет круг пользователей. Аналитически эта оценка может быть представлена в виде

$$Q_{об} = \sum_{j=1}^n Q_j g_j, \quad (1)$$

где n — общее количество учитываемых параметров сварочного аппарата; Q_j — показатель качества; g_j — коэффициент весомости j -го параметра.

Показатели качества, основанные на среднегеометрическом подходе, находятся путем простого перемножения дифференциальных показателей, характеризующих отдельные параметры. Обычно для расчета $Q_{об}$ без учета весовых факторов пользуются формулой из работы [8]:

$$Q_{об} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n Q_j^{g_j}}. \quad (2)$$

Если же модель (2) уточнить путем введения коэффициентов весомости, то получим [9]

$$Q_{об} = \sqrt{\prod_{j=1}^{\sum g_j - n} Q_j^{g_j}}. \quad (3)$$

Модель в форме (3) не получила достаточно широкого распространения. Характерные особенности этого подхода описаны в работах [9, 10].

Поиск новых путей обоснования обобщенной оценки качества промышленной продукции привел некоторых авторов к созданию моделей, основанных на среднегармоническом значении $Q_{об}$ [6, 11]. Такой подход необходим при анализе дифференциальных параметров с большими флуктуациями — частных показателей (ЧП) качества. Обычно данная модель задается в виде выражения

$$Q_{об} = \left(\sum_{j=1}^n g_j \right) / \left[\sum_{j=1}^n (g_j / Q_j) \right]. \quad (4)$$

Эта оценка является промежуточной между среднеарифметической и среднегеометрической оценками и для анализа ЧП качества используется достаточно редко.

Выбор модели оценивания $Q_{об}$ применительно к сварочному оборудованию. Как известно [12], расхождение в оценках качества, вычисленных по формулам (1)...(4) достаточно велико. Следовательно, ответ на вопрос, какой сварочный аппарат



лучше, будет зависеть от способа усреднения, а также от правильного задания коэффициентов весомости. Поскольку технические характеристики СО (или его ЧП) при серийном производстве изменяются в небольших пределах (до 20 %), то можно остановиться на средневзвешенных оценках.

Таким образом, для решения задачи определения технического уровня образцов серийного СО необходимы, во-первых, эталонный источник, описываемый вектором эталонных параметров $[P_{1(a)}, \dots, P_{n(a)}]$, и, во-вторых, задание границ областей, характеризующих параметры качества. Решение этих вопросов может основываться на ГОСТ 23554.2–81 «Экспертные методы оценки качества промышленной продукции».

Существуют многочисленные подходы к экспертному опросу. В работе [13] показано, что в квалиметрии наиболее широкое применение получили шесть моделей, отличающихся как постановкой задачи, так и обработкой полученных данных. Одним из наиболее предпочтительных методов экспертного опроса, который рекомендуется применительно к СО, является метод Делфи [14], предложенный Т. Дж. Гордоном и О. Хелмером. Кратко его суть можно изложить следующим образом:

ответы на поставленные вопросы относительно ЧП должны быть даны в количественном виде;

проводится, как правило, несколько циклов опроса, причем, чем больше расхождений в данных, тем больше количество этих циклов;

после каждого цикла опроса все эксперты знакомятся с ответами других участников;

каждый эксперт обязан аргументировать свое мнение об обсуждаемых характеристиках СО со ссылками на литературные источники, нормативные документы и пр., что позволит полнее учесть влияние различных факторов;

статистическую обработку полученных ответов необходимо проводить после каждого цикла опроса и с ее результатами ознакомить всех участников.

Таким образом, суть метода Делфи заключается в выявлении тенденций развития определенного типа СО. При этом прямые дискуссии исключаются, но экспертам предоставляется после каждого цикла опроса возможность оценивать свои суждения с учетом мнений и аргументированных доводов других участников. В настоящее время можно существенно ускорить процесс проведения опроса и повысить его качество благодаря Интернет-конференциям, к участию в которых привлекают высококвалифицированных специалистов.

Предположим, что необходимо определить средневзвешенный коэффициент качества (технический уровень) сварочного трансформатора. В

соответствии с паспортом изделия формируется набор ЧП, которые в зависимости от целевой функции могут либо быть выбраны из технических параметров, либо являться их комбинациями (функционалами). Формируемый набор ЧП должен обладать максимальной полнотой и определяться высококвалифицированными экспертами в области СО. Конкретный набор ЧП составляет базис и может рассматриваться как координаты вектора в базисном пространстве. Если конкретные значения координат взять из технических условий, то полученный вектор является эталоном; если же конкретные значения координат найдены путем измерения изделия, то полученный вектор характеризует это изделие. Набор векторов образует матрицу $[M]$, строки которой составляют ЧП, а количество столбцов равно качеству изделий (включая эталон).

Далее формируется матрица $[V]$ коэффициентов весомости, которая состоит из определенных векторов. Их количество может быть любым, но при этом точно соответствовать количеству ЧП. Физический смысл коэффициентов весомости заключается в том, что каждый из них определяет относительный вклад соответствующего ему ЧП в формирование средневзвешенного коэффициента качества, однозначно связанного с целевой функцией. Определение коэффициентов весомости осуществляется методом Делфи [12].

Дальнейшая процедура заключается в нахождении произведения матрицы $[M]$ на транспонированную матрицу $[V]$ коэффициентов весомости. Результат умножения представлен матрицей, строки которой образуются из средневзвешенных коэффициентов качества определенного изделия (вектор качества) на базисе целевых функций, где количество столбцов равно количеству целевых функций, а количество строк — количеству изделий.

Для примера рассмотрим определение средневзвешенных коэффициентов качества сварочных трансформаторов на массиве однотипных изделий, выполненных по единой технологической схеме. Частными показателями будем считать набор технических параметров, заданных техническими условиями. К ним относятся напряжение холостого хода $U_{x,x}$ (В), ток короткого замыкания $I_{к.з}$ (А), рабочий ток I_p (А), коэффициент полезного действия (КПД, %) и коэффициент мощности $\cos \varphi$ (безразмерный).

Первая строка матрицы $[M]$ состоит из технических параметров, которые записаны в технических условиях (вектор-эталон). Последующие строки состоят из конкретных значений, полученных путем их измерения на изделиях в процессе испытаний. В результате матрица $[M]$ принимает вид, показанный в табл. 1.

Матрица $[V]$ коэффициентов весомости для двух целевых функций (сварочно-технологические свойства F_1 и энергоэкономичность F_2) состоит из элементов, представленных в табл. 2.

Для исключения влияния размерности величин, входящих в матрицу $[M]$, последнюю можно модифицировать путем деления каждого элемента соответствующего столбца на его паспортное зна-

Таблица 1. Частные показатели, полученные путем измерения характеристик сварочных трансформаторов

Образец (изделие)	$U_{x,x}$, В	$I_{к.з}$, А	I_p , А	КПД, %	$\cos \varphi$
Эталон	80	220	150	75	0,60
№ 1	75	215	145	70	0,55
№ 2	78	200	155	65	0,5
№ 3	70	190	140	55	0,4



Таблица 2. Коэффициенты весомости для целевой функции

Целевые функции	$U_{x,x}$, В	$I_{k,z}$, А	$I_{p'}$, А	КПД, %	cos φ
F_1	0,9	0,5	1,0	0,7	0,5
F_2	0,7	0,5	0,9	1,0	1,0

Таблица 3. Относительные частные показатели сварочных трансформаторов

Образец (изделие)	$U_{x,x}$, В	$I_{k,z}$, А	$I_{p'}$, А	КПД, %	cos φ
Эталон	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
№ 1	0,94	0,98	0,97	0,93	0,92
№ 2	0,98	0,91	1,03	0,83	0,83
№ 3	0,86	0,86	0,93	0,73	0,67

чение, т. е. на элемент первой строки. Процедура перенормировки не является обязательной, однако ее отсутствие в ряде случаев затрудняет интерпретацию результатов расчета. После перенормировки матрица $[M]$ принимает вид, показанный в табл. 3.

Произведение матриц

$$[M] \cdot [V] = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,94 & 0,98 & 0,97 & 0,93 & 0,92 \\ 0,98 & 0,91 & 1,03 & 0,87 & 0,83 \\ 0,86 & 0,86 & 0,93 & 0,73 & 0,67 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0,9 & 0,7 \\ 0,5 & 0,5 \\ 1,0 & 0,9 \\ 0,7 & 1,0 \\ 0,5 & 1,0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3,60 & 4,10 \\ 3,42 & 3,88 \\ 3,39 & 3,78 \\ 2,98 & 3,27 \end{vmatrix}$$

состоит из абсолютных средневзвешенных оценок изделий, которые прошли испытания. Переход к относительным (в сравнении с эталоном) единицам (табл. 4) дает возможность сравнивать изделия (в пределах целевых функций) и ранжировать их по качеству непосредственно в производственных условиях.

Аналогично можно сформулировать ЧП и значения коэффициентов весомости для других типов СО (выпрямителей, полуавтоматов, инверторов и пр.) и на их основе получить обобщенные оценки качества любого типа СО.

Описанная модель определения обобщенной оценки качества сварочных трансформаторов и алгоритмы, полученные на ее основе, использованы авторами настоящей работы для создания программного обеспечения применительно к специализи-

Таблица 4. Показатели качества сварочных трансформаторов

Образец (изделие)	F_1	F_2
Эталон	1,00	1,00
№ 1	0,95	0,95
№ 2	0,94	0,92
№ 3	0,83	0,80

рованному испытательному стенду [15], разработанному в ИЭС им. Е. О. Патона совместно с фирмой «СЭЛМА». Программные модули, выполненные с использованием интегрированного пакета LabView, могут применяться производителями СО для его непрерывного мониторинга качества.

1. Гафт М. Г., Сергеев В. И. Методы оценки технического уровня изделий машиностроения // *Машиноведение*. — 1986. — № 6. — С. 50–53.
2. Михайлов В. П., Оноприенко В. Д. Корреляционная модель развития вида техники // *Исследования по истории и теории развития авиационной и ракетно-космической науки и техники*. — М.: Наука, 1981. — С. 179–190.
3. Держищев Л. В. Оценка качества продукции при государственной аттестации // *Измерение качества продукции. Вопросы квалиметрии*. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — С. 116–134.
4. Мальцев А. Н., Соломащенко А. Е. Модель комплексной оценки уровня качества продукции // *Электронная техника. Сер. Экономика и системы управления*. — 1979. — Вып. 4(33). — С. 68–74.
5. Куцевич К. Б., Михайлов Ю. В., Савичев В. В. Метод оценки технического уровня разработок новой техники // *Там же*. — 1982. — Вып. 3(44). — С. 12–14.
6. Федоров М. Ф. О комплексной оценке качества промышленных изделий // *Техн. эстетика*. — 1966. — № 3. — С. 13–16.
7. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. Актуальные проблемы квалиметрии // *Стандарты и качество*. — 1970. — № 1. — С. 37–40.
8. Целкова А. Т. Аттестация продукции и рентабельность // *Там же*. — 1969. — № 10. — С. 58–59.
9. Шпекторов Д. М., Фишер А. А. О соотношении показателей качества // *Техн. эстетика*. — 1967. — № 1. — С. 34–36.
10. Райхман Э. П. К вопросу оценки показателей качества // *Стандарты и качество*. — 1969. — № 9. — С. 17–23.
11. Райхман Э. П. Экспертный метод оценки качества приборов // *Измерит. техника*. — 1970. — № 11. — С. 44–47.
12. Азгальдов Г. Г. Проблемы измерения и оценки качества продукции. — М.: Знание, 1969. — 112 с.
13. Eckenrode R. T. Weighting multiple criteria // *Management Science*. — 1965. — 12, № 3. — P. 43–52.
14. Добров Г. М. Типология прогнозов и анализ метода Делфи // *Анализ тенденций и прогнозирование научно-технического прогресса*. — Киев: Наук. думка, 1967. — С. 329–336.
15. Система оперативного контроля качества сварочного оборудования в процессе его промышленного производства // Б. Е. Патон, А. Е. Коротынский, В. И. Юматова и др. // *Автомат. сварка*. — 2002. — № 5. — С. 29–31.

Variants of determination of quality characteristics of welded equipment are considered. Assessment calculation of weighted mean characteristics of quality of welded transformers, which are manufactured by a single technological scheme under the conditions of serial production, is given.

Поступила в редакцию 15.06.2004