ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 202 1973

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

О. П. МУРАВЛЕВ, А. Д. НЕМЦЕВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Одним из условий совершенствования асинхронных двигателей является отработанная технология их производства. Однако объективного количественного метода оценки технологии при производстве асинхронных двигателей нет.

В данной статье предлагается метод количественной оценки качества технологии производства асинхронных электродвигателей, который позволяет сравнить технологические процессы различных электромашиностроительных заводов, оценить эффективность изменения технологии и применения новых материалов.

Рассмотрим возможность получения количественного критерия оценки технологии изготовления асинхронных двигателей. Каждый узел или деталь электродвигателя можно представить вектором с определенным количеством элементов:

$$X^{(1)} = (x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \ldots, x_i^{(1)}, \ldots, x_{n1}^{(1)});$$
$$X^{(2)} = (x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \ldots, x_i^{(2)}, \ldots, x_{n2}^{(2)});$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$X^{(j)} = (x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, \ldots, x_i^{(j)}, \ldots, x_{nj}^{(j)});$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$X^{(m)} = (x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, \ldots, x_i^{(m)}, \ldots, x_{nm}^{(m)});$$

где $j = 1, 2, \ldots, m$ — число рассматриваемых узлов и деталей,
$i = 1, 2, \ldots, n_j$ — число рассматриваемых параметров для каждого узла или детали.

В этой системе обозначений каждый элемент вектора характеризует какой-то параметр. В качестве параметра могут быть выбраны размеры, взаимное расположение поверхностей и т. п., которые существенно влияют на работу машины.

Учитывая, что при производстве асинхронных двигателей действует большое количество случайных факторов, за количественный критерий оценки технологии целесообразно принять вероятность того, что в собранном двигателе все узлы и детали удовлетворяют требованиям технических условий

$$P_T = P[X^{(1)}] \times P[X^{(2)}] \times \cdots \times P[X^{(j)}] \times \cdots \times P[X^{(m)}] = \prod_{j=1}^{m} P[X^{(j)}], \quad (1)$$

где $P[X^{(j)}]$ — вероятность того, что все параметры j-го узла или детали удовлетворяют требованиям технических условий.

$$P[X^{(j)}] = P(x_1^{(j)}) \times P(x_2^{(j)}) \times \cdots \times P(x_i^{(j)}) \times \cdots \times P(x_{nj}^{(j)}), \qquad (2)$$

где $P(x_i^{(j)})$ — вероятность того, что i-й параметр j-го узла удовлетворяет техническим условиям.

В качестве основных параметров были выбраны следующие.

1. Щит подшипниковый:
   $x_1^{(1)}$ — диаметр замка, $x_2^{(1)}$ — бой замка.
2. Ротор в сборе:
   $x_1^{(2)}$ — диаметр бочки ротора, $x_2^{(2)}$ — бой ротора относительно шеек под подшипники.
3. Статор:
   $x_1^{(3)}$ — бой замка корпуса относительно расточки статора.
4. Обмотка статора:
   $x_1^{(4)}$ — дефекты изготовления обмотки (витковое, корпусное и фазное замыкания).

Способ определения вероятности $P(x_i^{(j)})$ зависит от признаков, по которым контролируется данный параметр.

При контроле по качественным признакам

$$P(x_i^{(j)}) = 1 - \frac{n_g}{n} = 1 - \bar{p}, \qquad (3)$$

где n — общее количество измерений,
n_g — количество измерений, при которых значения параметров не соответствуют техническим условиям.

Учитывая, что доля дефектных изделий в выборке имеет биномиальный закон распределения [1], можно определить верхнее $P_в(x_i^{(j)})$ и нижнее $P_н(x_i^{(j)})$ значения вероятности, используя следующие формулы:

$$P_в(x_i^{(j)}) = 1 - (\bar{p} - 3\sigma_p), \qquad (4)$$

где

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}. \qquad (5)$$

При $\bar{p} - 3\sigma_p < 0$ следует принять $P(x_i^{(j)}) = 1$,

$$P_н(x_i^{(j)}) = 1 - (\bar{p} + 3\sigma_p). \qquad (6)$$

При контроле по количественным признакам

$$P(x_i^{(j)}) = \int_{x_н}^{x_в} f(x)\,dx, \qquad (7)$$

где $x_в$ и $x_н$ — верхнее и нижнее значения контролируемого параметра;
$f(x)$ — плотность распределения контролируемого параметра, которая характеризует закон распределения значений.

Для наиболее часто встречающегося в практике нормального закона распределения плотность распределения имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \qquad (8)$$

где $\bar{x}$ — среднее значение параметра,
σ — среднее квадратическое отклонение.

Основная ошибка среднего квадратического отклонения [1, 2]

$$\sigma_з = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}, \tag{9}$$

где n — общее количество измерений.

Тогда нижняя $\sigma_н$ и верхняя $\sigma_в$—оценки среднего квадратического отклонения будут равны

$$\sigma_н = \sigma - 3\sigma_з, \tag{10}$$

$$\sigma_в = \sigma + 3\sigma_з. \tag{11}$$

На основании выражений (7), (8), (10), (11) получаем верхнее $P_в(x_i^{(j)})$ и нижнее $P_н(x_i^{(j)})$ значения вероятности бездефектного изготовления детали по рассматриваемому параметру

$$P_в(x_i^{(j)}) = \frac{1}{\sigma_н\sqrt{2\pi}} \int_{x_н}^{x_в} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_н^2}} dx, \tag{12}$$

$$P_н(x_i^{(j)}) = \frac{1}{\sigma_в\sqrt{2\pi}} \int_{x_н}^{x_в} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_в^2}} dx. \tag{13}$$

Выражения (4), (6), (12), (13) позволяют получить верхнее $P_{т,в}$ и нижнее $P_{т.н}$ значения критерия оценки качества технологии.

$$P_{т,в} = \prod_{j=1}^{m} P_в[X^{(j)}]. \tag{14}$$

$$P_{т.н} = \prod_{j=1}^{m} P_н[X^{(j)}]. \tag{15}$$

Пример расчета

Рассмотрим расчет вероятности бездефектного изготовления асинхронных двигателей четвертого габарита при существующей технологии изготовления и системе контроля. Исходные данные и результаты расчета представлены в табл. 1.

При расчете вероятности бездефектного изготовления обмотки статора за n принято число собранных машин, поступивших на контрольные испытания, а за n_g — число машин, которые были забракованы после контрольных испытаний по витковому, корпусному или фазному замыканиям.

По результатам табл. 1 вычислены нижнее $P_{т.н}$, верхнее $P_{т.в}$ и среднее $P_т$ значения вероятностей бездефектного изготовления машины.

$$P_т = \prod_{j=1}^{m} P[X^{(j)}] = 0{,}5679 \cdot 0{,}875 \cdot 0{,}9828 = 0{,}487;$$

$$P_{т.н} = \prod_{j=1}^{m} P_н[X^{(j)}] = 0{,}55 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}973 \cdot 0{,}742 \cdot 0{,}874 \cdot 0{,}9826 = 0{,}276;$$

$$P_{т.в} = \prod_{j=1}^{m} P_в[X^{(j)}] = 0{,}7289 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}998 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}983 = 0{,}7084.$$

Таблица 1

	n	n_g	$x_н$	$x_в$	$\bar{x}$	σ	σ_p	σ_σ	$P_н(x_i^{(j)})$	$P_в(x_i^{(j)})$	$P(x_i^{(j)})$	$P_т[x^{(j)}]$
$x_1^{(1)}$	100	36	−0,023	0,024	0,0093	0,0246		0,00174	0,55	0,7289	0,631	0,5679
$x_2^{(1)}$	100	10		0,04			0,03		0,81	0,99	0,9	
$x_1^{(2)}$	50	14	−0,04	0,04	0,0086	0,0121		0,00124	0,09730	0,998	0,994	0,875
$x_2^{(2)}$	50	6		0,04			0,046		0,742	1	0,88	
$x_1^{(3)}$	49	49		0,05			0,0284		0,874	1	1,0	0,9828
$x_1^{(4)}$	150994	2592							0,9826	0,983	0,9828	

Из расчета видно, что уровень технологии производства двигателей четвертого габарита довольно низок.

Выводы

1. Предложенная количественная оценка качества технологии имеет физический смысл и позволяет сравнить технологические процессы различных предприятий, выпускающих одинаковую продукцию, оценить эффективность изменения технологии и применение новых материалов.

2. Рассчитывая отдельные вероятности $P[X(j)]$ для узлов и деталей, можно определить наиболее «слабое» место в технологии производства асинхронных двигателей.

3. При определении $P_т$ оценивается эффективность системы контроля, которая существует на предприятии: если значение $P_т$ близко к единице, то все хорошо, если нет — предприятие или выпускает двигатели с дефектами, или приходится браковать готовые машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Хэнсен. Контроль качества. М., «Прогресс», 1968.

2. А. К. Митропольский. Техника статистических вычислений. М., Физматгиз, 1961.

3. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., «Наука», 1970.