

УДК 621.771: 519.28: 658.56

Кривцова О. Н.
Лутченко Н. А.
Кузьминов И. И.
Плужников В. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ КАЧЕСТВА МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ

Исследование причин снижения качества и образования брака [1] начинается с анализа фактов невыполнения требований многомерного качества, выявления наиболее важных, критичных в смысле качества показателей, на улучшении которых следует сосредоточить усилия, а также с выявления зависимостей, существующих между отдельными показателями. Далее требуется обнаружить факторы, отклонение которых могло быть причиной ухудшения качества. Обзор методов решения задачи по выявлению причин недостижения качества представлен в работах [2, 3].

Использование приведенных там методик не позволяет получить представления целостной картины многомерного качества и технологии. Примером сложных технологий является производство проволоочной продукции, где количество технологических факторов и показателей качества исчисляется десятками. Авторы работ [4, 5] предложили инструменты для решения задач такого класса, на основе которых может быть реализована система, позволяющая выполнять анализ качества продукции и выявлять причины образования брака.

С помощью предложенной системы обработан массив данных, полученный при производстве проволоки типа 2,30-П1-Ц1 по ГОСТ 3282-74 из катанки 4 мм на двенадцатиклетьевом стане 12 × 600 №1 в условиях ТОО «Kaz-Metiz». Данные представлены в виде выборки механических свойств за дневные и ночные смены за один месяц 2017 года. За контрольные значения рассматриваемых характеристик взяты значения, предусмотренные ГОСТ 3282-74. В табл. 1 приведен фрагмент выборки механических свойств.

Таблица 1

Фрагмент выборка механических свойств оцинкованной проволоки типа 2,30-П1-Ц1

№	Смена	Плотность цинкового покрытия, г/м ²	Количество гибов	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²
1	Ночь	74	4,0	949
5	День	94	5,7	931
.....
14	Ночь	82	1,9	883
15	Ночь	80	5,5	968
16	Ночь	73	3,1	879
.....
30	Ночь	78	3,80	908
.....
33	День	89	2,15	929
34	День	108	2,10	862
35	День	53	2,65	897
36	День	86	2,05	859
37	День	84	2,00	887
38	День	91	3,46	887
39	Ночь	59	5,9	714
41	Ночь	97	6,3	893

Современный подход к управлению качеством в сложном производстве может базироваться на автоматизированном контроле выполнения требований качества продукции. Решение такой задачи может быть реализовано следующим образом [4]. Пусть имеется Q показателей качества. При этом качество конкретной единицы продукции может быть полностью представлено вектором:

$$\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_Q).$$

Для метрических величин могут быть заданы верхние и нижние границы диапазона допустимого изменения по данному показателю:

$$y_i \leq \sigma \leq y_i''.$$

Решение данной задачи базируется на подходе, предложенном в работе [4]. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма многомерного качества

Для анализа многомерного качества необходимы следующие действия: определить показатели, требующие наибольшего внимания; упорядочить показатели по сложности удовлетворения; обеспечить оценку динамики состояния качества. В рассматриваемом далее примере под качеством понимается множество $Y = \{\text{относительное удлинение, предел прочности, предел текучести}\}$, т. е. $Q = 3$ и вектор показателей качества имеет вид: $a = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$. Для классификации продукции по качеству каждой единице продукции может быть поставлен в соответствие идентификатор качества $g = (g_1, g_2, g_3)$, компоненты которого определяются так:

$$g_i = \begin{cases} 0, & i - \text{й показатель соответствует требованиям,} \\ 1, & i - \text{й показатель не соответствует требованиям.} \end{cases}$$

Вся продукция, удовлетворяющая требованиям стандартов, будет иметь идентификатор $g = (0, 0, 0)$. Вся продукция, для которой $g \neq 0$, может быть разбита на группы с одинаковыми значениями идентификатора. Такая классификация разбивает все пространство качества (множество реализаций) на непересекающиеся области (на непересекающиеся подмножества реализаций). Все, не соответствующие ГОСТ 3282-74 значения из табл. 1, выделены жирным шрифтом. Для выявления показателей, несоответствующих качеству, необходимо подсчитать число единиц в соответствующей показателю позиции идентификатора $g = (g_1, g_2, g_3)$ по всей анализируемой продукции:

$$n_j = \sum_{i=1}^N g_j^{(i)}, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, N$;

N – число единиц продукции в исследуемой выборке (табл. 3).

Особого внимания требует показатель k , при котором:

$$n_k = \sum_{i=1}^N \max_j g_j^{(i)}. \quad (2)$$

Для каждого показателя необходимо оценить эмпирическую вероятность невыполнения по нему требований к качеству продукции $p_j = n_j/N$.

Например, при определении качества проволоки по показателю «плотность цинкового покрытия»:

$$p_j = n_j/N = 3/42 = 0,07142.$$

Эмпирические оценки вероятности недостижения качества продукции, полученные по механическим свойствам, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оценки вероятности невыполнения требований показателей	
Показатель качества	Вероятность невыполнения
Плотность цинкового покрытия	0,07142
Количество гибов	0,19047
Временное сопротивление разрыв	0,00000

Эмпирическая вероятность возникновения брака по любому показателю может быть оценена в виде:

$$P_n \frac{N_1}{N} = \frac{N \max_{j=1}^N g_j^{(i)}}{N}, \quad (3)$$

где N – общее число единиц анализируемой продукции;

N_1 – количество бракованной продукции, для которой $g \neq 0$.

В данном случае наибольшая величина $P_n = 0,19047$. Наибольшая часть отклонений связана с показателем механического свойства – «количество гибов» – 0,19047 (табл. 2). Идентификатор g позволяет сформировать основное поле событий (вариантов) недостижения качества продукции, которые идентифицируются шаблонами – вариантами значений идентификатора g , соответствующих событиям с ненулевой вероятностью [1].

Шаблоны идентификаторов показателей качества оцениваемой проволоки представим в табл. 3.

Таблица 3

Шаблоны идентификаторов показателей качества			
Число факторов	Плотность цинкового покрытия	Количество гибов	Временное сопротивление разрыв
1	(1,0,0)	(0,1,0)	(0,0,1)
2	-	(1,1,0)	(1,0,1)
3	-	-	(1,1,1)

Строки и столбцы данной таблицы соответствуют показателям качества проволоки, отсортированным в порядке убывания сложности выполнения. В первой строке находятся шаблоны кластеров, отражающие отклонение только по одному показателю в порядке убывания сложности. Во второй — по наиболее сложному. В последней строке находится один идентификатор, показывающий невыполнение требований по всем показателям.

Таким образом, табл. 3 отражает все возможные варианты комбинаций несоответствия механических свойств требованиям производимой проволоки по ГОСТ 3282-74. Эмпирические вероятности событий, варианты которых отражаются идентификаторами табл. 3, получают в виде оценок:

$$P(g') = n(g')/N, \quad (4)$$

где $n(g')$ – число единиц, прошедших фильтрацию по фильтру g' .

Кроме того, может быть оценена доля продукции с дефектами типа g' в общем объеме некондиционной продукции N_1 :

$$P(g') = n(g')/N_1. \quad (5)$$

Показатели качества обычно считаются независимыми друг от друга. В таком случае вероятности событий в табл. 4, начиная со второй строки, определим по формуле:

$$P'(g') = \prod_{i=1}^Q p_i^{g_i'} \quad (6)$$

где g_i – компоненты идентификатора (принимают значения 0 или 1);

p_i – эмпирическая вероятность невыполнения требований по одному показателю.

Проверка наличия взаимосвязи между показателями осуществляется путем сопоставления значений вероятности $P(g')$ и $P'(g')$. Факт отсутствия взаимосвязи соответствует $P(g) = P'(g')$. Система анализа причин недостижения качества, предложенная авторами [1], рассчитывает все три вероятности $P(g)$, $P'(g')$ и $P_I(g)$ и выполняет сопоставление $P(g)$ и $P'(g')$ для всех вариантов, идентифицируемых табл. 3, в то же время анализируется наличие взаимосвязи между невыполненными требованиями по ГОСТ. Результаты анализа вероятностей отклонения по отдельным факторам и их сочетаниям массива базы данных оцениваемой проволоки (табл. 3) представлены в табл. 4.

Таблица 4

Анализ распределения случаев невыполнения требованиям качества оцениваемой проволоки типа 2,30-П1-Ц1 по ГОСТ 3282-74

Число факторов	Условные вероятности		
	Плотность цинкового покрытия	Количество гибов	Временное сопротивление разрыв
1	$P = 0,07142$ $P_I = 0,27272$ $P' = 0,071242$	$P = 0,19047$ $P_I = 0,81818$ $P' = 0,19047$	$P = 0$ $P_I = 0$ $P' = 0$
2	–	$P = 0,02380$ $P_I = 0,09090$ $P' = 0,01356$	$P = 0$ $P_I = 0$ $P' = 0$
3	–	–	$P = 0$ $P_I = 0$ $P' = 0$

В качестве примера сочетания наиболее важных показателей механических свойств оцениваемой проволоки представим в виде гистограммы (рис. 2). Структуризация вариантов нарушения качества предложенным методом позволяет исследовать наличие зависимости между отдельными показателями качества, опираясь на условные вероятности дефектов при производстве исследуемой проволоки. Каждую следующую строку в табл. 4 получаем из предыдущей строки путем добавления одного невыполненного требования. Поэтому, в итоговой табл. 5, начиная со второй строки, представим совместные вероятности, делением которых на элементы предшествующих строк получим условные вероятности, например:

$$P[(0,0,1)/(1,0,0)] = P[(1,0,1)/(1,0,0)] = 0,02380/0,07142 = 0,33323. \quad (7)$$

Результаты расчета условных вероятностей оцениваемой проволоки сведем в табл. 5 по формату, совпадающей с табл. 4.

Таблица 5

Условные вероятности событий, связанных с невыполнением требований качества проволоки типа 2,30-П1-Ц1 по ГОСТ 3282-74

Условные вероятности	Плотность цинкового покрытия $g(1,0,0)$	Количество гибов $g(0,1,0)$	Временное сопротивление разрыв $g(0,0,1)$
$P(g)$	0,07142	0,19047	0
$P[g (1,0,0)]$	-	0,33323	0
$P[g (1,0,0),(1,1,0)]$	-	-	0

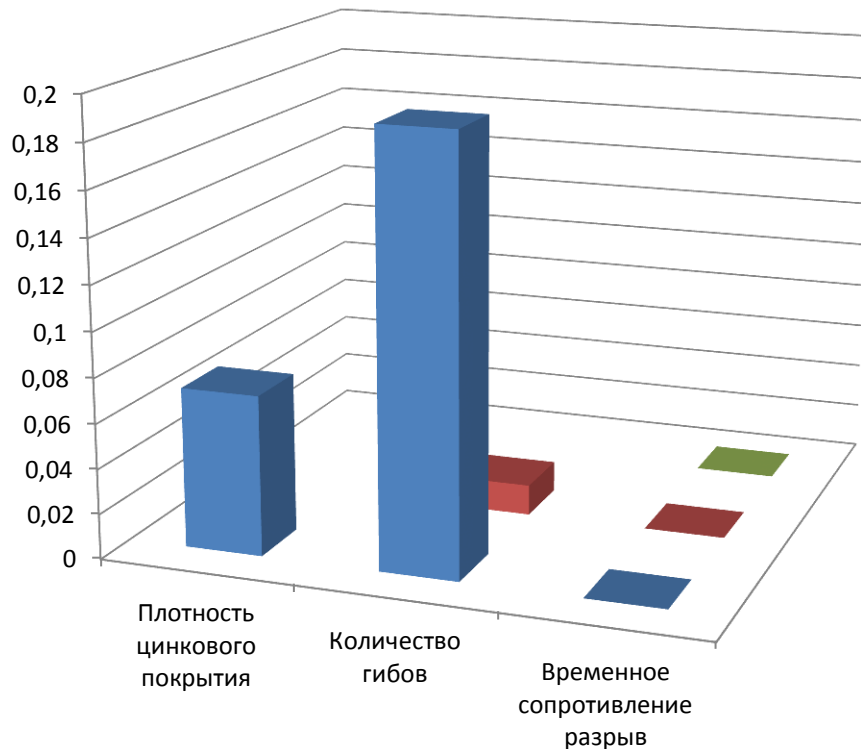


Рис. 2. Гистограмма распределения брака по кластерам

Но в табл. 5, начиная со второй строки, представим условные вероятности при условиях предыдущих строк. В первой строке табл. 5 расположим безусловные вероятности возникновения отклонений по каждому из показателей качества. Во второй строке – условные вероятности брака по определенному показателю качества при условии, что не выполнены требования по наиболее сложному и т. д. В данной работе результаты табл. 5 отразили взаимосвязь между показателями качества проволоки «плотность цинкового покрытия» и «количество гибов». Данная методика опирается исключительно на фактические измеренные данные по механическим свойствам оцениваемой проволоки.

Используя энтропию (8), выполним оценку состояния качества. Обобщенным показателем качества является идентификатор g , а состояние характеризуется плотностью его распределения. Энтропия невыполнения требований регламента качества будет равна:

$$H_{\text{кач}} = -\sum_g P(g) \ln P(g). \quad (8)$$

$$H_{\text{кач}} = -((0,07142 \cdot \ln(0,07142)) + (0,19047 \cdot \ln(0,19047)) + (0,33323 \cdot \ln(0,33323))) = 0,87053.$$

В формуле (8) суммирование выполнили по значениям многомерного идентификатора качества g , т. е. по системе событий, отражаемой в табл. 3.

$P(g)$ – эмпирическая вероятность соответствующего события. Энтропия (8) является мерой неопределенности состояния качества [6].

Мера неопределенности состояния качества производимой проволоки типа 2,30-П1-Ц1 по ГОСТ 3282-74 оценена показателем меры неопределенности состояния качества $H_{\text{кач}} = 0,87053$. Значение энтропии является относительным показателем. Максимального значения энтропия достигает при равной вероятности всех событий g .

Для сравнения качества производимой проволоки необходимы значения энтропии, учитывающие определенные условия производства конкретной продукции. Для анализа и оценки всего производства ТОО «Kaz-Metiz» необходимы значения энтропии для большего количества выпускаемой ими продукции.

ВЫВОДЫ

Использование метода оценки невыполнения требованиям качества позволило получить представление целостной картины многомерного качества и технологии получения проволоки типа 2,30-П1-Ц1 ГОСТ 3282-74, произведенной в ТОО «Kaz-Metiz» в сентябре месяце 2017 года.

Состояние качества производимой проволоки типа 2,30-П1-Ц1 по ГОСТ 3282-74 оценено относительным показателем $H_{КАЧ} = 0,87053$, что соответствует хорошей оценке.

Для полной оценки производства ТОО «Kaz-Metiz» необходимы значения энтропии большего количества выпускаемой продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Л. А. Автоматизация методики анализа причин брака / Л. А. Кузнецов, Н. П. Дорин // *Методы менеджмента качества*. – 2011. – № 2. – С. 47–53.
2. Егоров А. М. Аналитические методы анализа влияния факторов на качество продукции / А. М. Егоров // *Методы менеджмента качества*. – 2008. – № 10. – С. 40–45.
3. Егоров А. М. Графические методы анализа влияния факторов на качество продукции / А. М. Егоров // *Методы менеджмента качества*. – 2008. – № 11. – С. 42–43.
4. Кузнецов Л. А. Анализ невыполнения требований многомерного качества / Л. А. Кузнецов // *Методы менеджмента качества*. – 2008. – № 6. – С. 41–48.
5. Кузнецов Л. А. Анализ качества по совместному эмпирическому распределению множества его показателей / Л. А. Кузнецов // *Методы менеджмента качества*. – 2008. – № 9. – С. 38–44.
6. Кузнецов Л. А. Введение в САПР производства проката / Л. А. Кузнецов. – М. : *Металлургия*, 1991. – 112 с.

REFERENCES

1. Kuznecov L. A. Avtomatizacija metodiki analiza pricin braka / L. A. Kuznecov, N. P. Dorin // *Metody menedzhmenta kachestva*. – 2011. – № 2. – S. 47–53.
2. Egorov A. M. Analiticheskie metody analiza vlijaniya faktorov na kachestvo produkcii / A. M. Egorov // *Metody menedzhmenta kachestva*. – 2008. – № 10. – S. 40–45.
3. Egorov A. M. Graficheskie metody analiza vlijaniya faktorov na kachestvo produkcii / A. M. Egorov // *Metody menedzhmenta kachestva*. – 2008. – № 11. – S. 42–43.
4. Kuznecov L. A. Analiz nevypolnenija trebovanij mnogomernogo kachestva / L. A. Kuznecov // *Metody menedzhmenta kachestva*. – 2008. – № 6. – S. 41–48.
5. Kuznecov L. A. Analiz kachestva po sovmestnomu jempiricheskomu raspredeleniju mnozhestva ego pokazatelej / L. A. Kuznecov // *Metody menedzhmenta kachestva*. – 2008. – № 9. – S. 38–44.
6. Kuznecov L. A. Vvedenie v SAPR proizvodstva prokata / L. A. Kuznecov. – M. : *Metallurgija*, 1991. – 112 s.

Кривцова О. Н. – канд. техн. наук, зав. каф. ОМД КГИУ;

Лутченко Н. А. – студент каф. ОМД КГИУ;

Кузьминов И. И. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОМД КГИУ.

Плужников В. А. – дир. по кач. и техн. ТОО «Kaz-Metiz».

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан.

E-mail: krivcova60@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.02.2018 г.