

УДК 519.7671

Л.Я. КОЗАК

*Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, Рыбница, Приднестровье, Молдова*

## ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ПЛАВКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ МАРКИ СТАЛИ

*Изложенные в статье результаты исследования типов кривых, интерпретируемых как распределения показателей технологического процесса, дают возможность рассчитать частные показатели качества. В данной статье с помощью методики Харрингтона-Менчера определяется комплексный показатель качества, включающий значимые выходные параметры. Для этого определяются частные  $d$ -функции и типы кривых для каждого показателя. Полученная обобщенная таблица входных показателей и вектора  $D$ -функций позволяет применить различные методы построения математических моделей технологического процесса.*

**Ключевые слова:** *плавка стали, матрица факторов, типы кривых,  $d$ -функции, частные и обобщенные показатели качества.*

### Введение

Качество стали, как правило, оценивается целым комплексом физико-химических параметров (показатели качества, отклики, целевые функции и т.д.). Очень часто эти отклики находятся в сложной взаимосвязи друг с другом и весьма нередки случаи, когда они предъявляют к объекту (произведенному продукту) прямо противоположные требования. Между тем практически во всех случаях требуется найти некий единственный универсальный показатель качества произведенной продукции, по которому можно было бы сравнивать образцы. Такой показатель может служить еще и показателем, определяющим техническую диагностику – качество выплавляемой стали, а также служить индикатором, позволяющим корректировать состав плавки по ходу технологического процесса. Из многих откликов, определяющих объект, как правило, очень трудно выбрать один, самый важный, да это, наверное, и невозможно в принципе. Наиболее перспективным является путь обобщения всего множества откликов в единый количественный признак, однако здесь нас встречает множество трудностей.

### 1. Исследование типов кривых

Каждый отклик имеет свой физический смысл и свою размерность. Чтобы объединить различные отклики, прежде всего, приходится ввести для каждого из них некоторую безразмерную шкалу. Шкала должна быть однотипной для всех объединяемых откликов – это делает их сравнимыми. Выбор шкалы – не простая задача, зависящая от априорных

сведений об откликах, а также от той точности, с которой мы хотим определить обобщенный признак.

После того как для каждого отклика построена безразмерная шкала, возникает следующая трудность – выбор правила комбинирования исходных частных откликов в обобщенный показатель. Единого правила не существует [1].

Профессором Э.М. Менчером был предложен оригинальный подход, основанный на использовании функции Харрингтона, для получения числовых характеристик процессов, имеющих разнородные числовые показатели качества. Им была разработана теория обобщенной функции полезности, предложенной Харрингтоном, в результате чего была получена функция Харрингтона-Менчера, позволяющая учитывать веса различных составляющих [3].

В основе построения этой обобщенной функции лежит идея преобразования натуральных значений частных откликов в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности. Шкала желательности имеет интервал от нуля до единицы. Значение  $d=0$  соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного свойства, а значение  $d_1 = 1$  – самому лучшему значению свойства. На оси ординат нанесены значения желательности, изменяющиеся от 0 до 1. По оси абсцисс указаны значения отклика, записанные в абсолютных значениях.

На первом этапе определяются единичные значения функций  $d_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) для любого количества откликов, каждый из которых должен представлять непрерывную монотонную функцию.

Для случая возрастания качества с возрастанием числовых значений соответствующего отклика предложены 3 типа зависимостей (типы 1, 2, 3).

Кривая типа 1 является S-образной, возрастающей, симметричной и описывает качество отклика Y, если распределение Y не является резко асимметричным. Кривая типа 2 является S-образной, возрастающей, асимметричной с быстрым начальным возрастанием. Кривая типа 3 является S-образной возрастающей, асимметричной с медленным возрастанием.

Для случая убывания качества с возрастанием числовых значений предложены еще 3 типа (типы 4, 5, 6). Кривая типа 4 является S-образной, убывающей, симметричной. Кривая типа 5 является S-образной, убывающей, асимметричной, с быстрым начальным убыванием. Аналогично, кривая типа 6 является S-образной, убывающей, асимметричной, с медленным начальным убыванием

Для всех трех типов возрастающих кривых определяющим является правильное назначение начала "b" и конца "c" физического значения отклика Y, т.е. должно соблюдаться условие [2]:

$$d = \begin{cases} 0, & \text{если } Y < b; \\ d, & \text{если } b \leq Y \leq c; \\ 1, & \text{если } Y > c. \end{cases} \quad (1)$$

Для всех трех типов убывающих кривых определяющим является правильное назначение начала "e" и конца "f" физического значения отклика Y, т.е. должно соблюдаться условие:

$$d = \begin{cases} 0, & \text{если } Y < e; \\ d, & \text{если } e \leq Y \leq f; \\ 1, & \text{если } Y > f. \end{cases} \quad (2)$$

В нашем случае выходной показатель качества состоит из пятнадцати компонентов: C, Mn, Si, Al, P, S, N, Ca, V, Cr, Cu, Mo, профиль, OT min, которые непосредственно влияют на марку стали. Но, после консультации с экспертами были выделены основные из них (восемь), которые максимально влияют на качество стали: C, Mn, Si, P, S, N, Cr, Cu (табл. 1).

Таблица 1

Типы кривых выходных показателей

Показатели	C	Mn	Si	P	S	Cr	N	Cu
Требования стандарта	0,75-0,79	0,4-0,6	0,15-0,25	0-0,015	0-0,01	0-0,1	0-0,007	0-0,2
Весовые коэф-ты	1	0,8	0,8	1	1	0,7	0,8	1
Средние значения	0,773	0,557	0,186	0,011	0,003	0,043	0,008	0,078
Центр допуска	0,77	0,5	0,2	0,0075	0,005	0,005		0,1
Тип кривой	3	3	2	6	5	2	6	5

Исследования показали, что график распределения углерода, взятого по всем 426 плавкам, носит практически симметричный характер, а качество стали возрастает с ростом углерода в пределах допуска (кривая типа 3) (рис. 1); график распределения марганца носит резко асимметричный характер, качество стали возрастает с ростом марганца пределах допуска (кривая типа 3); график кремния носит асимметричный характер, а качество стали возрастает с ростом кремния в пределах допуска (кривая типа 2); график фосфора носит симметричный характер, а качество стали убывает с ростом фосфора и азота в пределах допуска (кривая типа 6); график серы носит симметричный характер, а качество стали убывает с ростом серы в пределах допуска (кривая типа 5); график хрома носит асимметричный характер, а качество стали возрастает с ростом хрома в пределах допуска (кривая типа 2) и график меди носит симметричный характер, а качество стали убывает с ростом меди в пределах допуска (кривая типа 5).

## 2. Расчет частных показателей

Особенностью расчёта является предварительное нахождение (определение, назначение) для каж-

дого частного показателя  $d_i$ , его веса  $\alpha_i$  (табл. 2). Как правило, веса находятся одним из экспертных методов (в данном исследовании использовался экспертный метод весовых коэффициентов). При этом следует помнить, что наиболее важному отклику (или нескольким откликам) присваивается вес, равный единице, и далее с убыванием.

Практика показала, что хотя теоретически веса могут быть любыми в диапазоне

$$0 < \alpha_i \leq 1,$$

но эффективнее всего метод срабатывает при назначении весов в диапазоне  $0,4 < \alpha_i \leq 1,0$ , при этом градация их должна быть не чаще 0,1.

Определив конкретные значения для каждой плавки, получили для нее обобщенную функцию качества плавки [3]:

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i^{\alpha_i}}, \quad (3)$$

где  $0,4 < \alpha_i < 1$  – веса частных показателей качества  $d_i$ , полученных экспертным методом весовых коэффициентов важности;  $m$  – число частных показателей качества по каждому значимому выходному параметру (в нашем случае  $m = 8$ ).

Таблица 2  
Расчёт коэффициента  $d_i$ -го для углерода

Y	b	c	$d_i C$
0,732	0,70	0,89	0,332
0,726			0,317
0,728			0,322
0,744			0,394
0,733			0,335
0,826			0,997
0,826			0,997

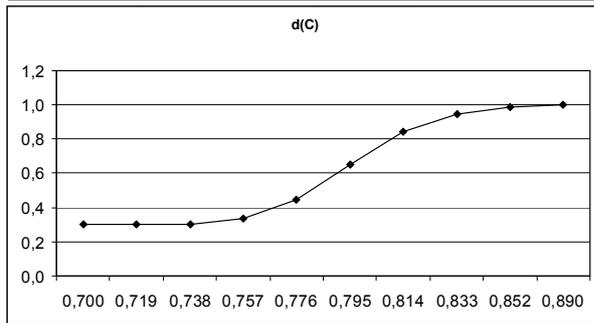


Рис. 1. График распределения углерода

Объединив матрицу выходных факторов, полученную после выбора представителей из каждой плеяды (в нашем случае  $426 \times 15$ ) с вектор-столбцом D, получили сводную таблицу частных  $d_i$  и обобщенной D функций (табл. 3).

### Заключение

Изложенные в статье результаты исследования типов кривых, интерпретируемых как распределения показателей технологического процесса, дают возможность рассчитать частные показатели качества. В процессе расчета удалось объединить 15 выходных показателей в один показатель, который становится универсальным выходным показателем качества, пригодным для дальнейшего моделирования.

В результате исследований была сформирована обобщенная таблица, каждая строка которой представляет собой числовое значение целевой функции и числовые значения исследуемых факторов (входных параметров). Данная таблица пригодна для извлечения из нее скрытой информации в виде математических моделей.

Значения частных  $d_i$  и обобщенной D функций

Таблица 3

C	Mn	Si	P	S	N	Cr	Cu	D
0,732	0,555	0,214	0,013	0,003	0,007	0,050	0,142	0,533
0,726	0,568	0,198	0,012	0,003	0,007	0,044	0,137	0,508
0,728	0,558	0,195	0,010	0,004	0,009	0,050	0,137	0,529
0,744	0,564	0,218	0,010	0,003	0,008	0,047	0,150	0,540
0,733	0,565	0,209	0,010	0,003	0,008	0,041	0,155	0,487
0,826	0,542	0,165	0,012	0,002	0,007	0,048	0,165	0,548
0,826	0,535	0,191	0,010	0,004	0,006	0,053	0,159	0,549
0,815	0,590	0,210	0,011	0,006	0,006	0,060	0,163	0,538
0,805	0,591	0,173	0,012	0,004	0,007	0,051	0,161	0,552
0,808	0,518	0,165	0,011	0,003	0,007	0,047	0,171	0,561
0,817	0,550	0,177	0,013	0,004	0,007	0,037	0,173	0,552
0,822	0,554	0,172	0,015	0,002	0,007	0,045	0,144	0,565
0,828	0,545	0,172	0,013	0,002	0,006	0,042	0,125	0,600
0,849	0,555	0,177	0,011	0,003	0,009	0,049	0,142	0,469
0,856	0,547	0,198	0,010	0,002	0,008	0,048	0,154	0,541
0,852	0,537	0,166	0,009	0,004	0,009	0,052	0,122	0,608
0,832	0,558	0,173	0,010	0,001	0,008	0,040	0,115	0,599
0,819	0,554	0,176	0,010	0,001	0,007	0,038	0,137	0,594
0,827	0,543	0,191	0,010	0,002	0,008	0,044	0,121	0,587
0,826	0,544	0,190	0,010	0,001	0,008	0,053	0,139	0,600
0,848	0,508	0,172	0,009	0,003	0,008	0,034	0,159	0,569
0,849	0,527	0,191	0,009	0,004	0,008	0,032	0,173	0,544

## Литература

1. Boswijk, H.P. *Asimptotic Theory for Integrated Processes [Text]* / H.P. Boswijk. – Oxford University Press. – 1999.
2. Cameron, A.C. *Regression Analysis of Count Data [Text]* / A.C. Cameron, P.K. Trivedi. – Cambridge University Press. – 1998.
3. *An-squared measure of Goodness of Fit for Some Common Nonlinear Regression Models [Text]* // *Journal of Econometrics*. – 1997. – № 77. – P. 329 – 342.
4. Dogerty, K. *Introduction to Econometrics. – The 3-th Ed. [Text]* / K. Dogerty. – Oxford University Press. – 2006.
5. Phillips, P.C. *Linear Regression Limit Theory for Nonstationary Panel Data [Text]* / P.C. Phillips, H.R. Moon // *Econometrica*. – 1999. – Vol. 67, № 5. – P. 1057 – 1111.
6. *Stochastic check for control of electronic wares quality [Text]* // *Trans. of 10-th International Symposium on Applied stochastic Models and Data Analysis. Univ. de Techn. de Compiègne, France. – June 12-15. – 2001. – V. 1. – P. 387 – 390.*
7. Долгов, Ю.А. *Схема математического моделирования технологического процесса плавки стали [Текст]* / Ю.А. Долгов, Л.Я. Козак, О.В. Шестопал // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 7 (48). – С. 157 – 160.
8. Долгов, Ю.А. *Статистическое моделирование [Текст]: Учебник для вузов / Ю.А. Долгов. – 2-е изд., доп. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та. – 2011. – 349 с.*
9. Менчер, Э.М. *Обобщенная функция полезности [Текст]* / Э.М. Менчер // *Радионуклиды и ионизирующие излучения в исследованиях по виноградарству. – Кишинев: Штица, 1993. – С. 104 – 118.*

Поступила в редакцию 2.02.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.П. Кондратенко, Черноморский государственный университет им. Петра Могилы, Николаев, Украина.

**ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ  
ВИПЛАВКИ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ МАРКИ СТАЛІ**

*Л.Я. Козак*

Викладені у статті результати дослідження типів кривих, що інтерпретуються як розподіли показників технологічного процесу, дають можливість розрахувати приватні показники якості. У даній статті за допомогою методики Харрінгтона-Менчера визначається комплексний показник якості, який включає значущі вихідні параметри. Для цього визначаються часткові d-функції та типи кривих для кожного показника. Отримана узагальнена таблиця вхідних показників і вектора D-функцій дозволяє застосувати різні методи побудови математичних моделей технологічного процесу.

**Ключові слова:** плавка сталі, матриця факторів, типи кривих, d-функції, часткові та узагальнені показники якості.

**THE FORMATION OF INTEGRATED QUALITY OF HIGH-MELTING STEEL GRADES**

*L. Y. Kozak*

The results of research of types of curves, interpreted as distributing of indexes of technological process, expounded in the article enable to expect the private indexes of quality. In this paper, using the technique of Harrington-Mencher, a comprehensive quality index, which includes significant output parameters, is defined. With this purpose, partial d-functions and types of curves for each indicator are specified. The resulting generalized table of input parameters and vector D-functions allow applying various methods of constructing mathematical models of the process.

**Keywords:** melt steel, the matrix of factors, types of curves, d-functions, partial and generalized quality.

**Козак Людмила Ярославовна** – ст. преподаватель Рыбницкого филиала ПГУ им. Т.Г.Шевченко, Рыбница, Приднестровье, Молдова, e-mail: Ludmila\_1978@rambler.ru.