

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЫХОД ГОДНОГО В КОНВЕРТОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ

И. С. Маслов, В. С. Остапчук

Киев

Применение вычислительной техники особенно необходимо в сфере оперативного контроля и управления кислородно-конверторным процессом. Для рационального и эффективного ведения конверторного производства требуется выполнение сложных расчетов и обоснований, связанных с технологическим процессом выплавки стали, оптимальным использованием шихтовых материалов на плавку и для всего цеха, а также с балансированием выхода продукции и ее реализации, с регулированием запасов и др.

Автоматизация технологических процессов, оперативный контроль и управление производством с применением электронных цифровых вычислительных машин (ЭЦВМ) возможны только при наличии необходимых математических моделей, с помощью которых на ЭЦВМ можно рассматривать различные варианты ведения процесса и выбирать в некотором смысле оптимальные.

Процесс выплавки стали конверторным способом — многосвязный: изменение на любом из его входов влечет за собой изменение не только на выходе, но и на других входных параметрах. Так, с изменением количества чугуна, подаваемого на плавку, изменяется выход годного, а также количество добавляемой железной руды, лома и др.

В данной работе сделана попытка построить статическую модель конверторного процесса статистическим методом. В качестве выходного параметра рассмотрим выход годного (стали), а в качестве входных — вес чугуна, железной руды, шпата и др.

Если обозначить выход годного на плавку через Y , а расход железной руды, чугуна, извести и др. — через $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, то задача сведется к определению функции

$$Y^* = M[Y] = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

где $M[Y]$ — математическое ожидание на основании экспериментальных данных.

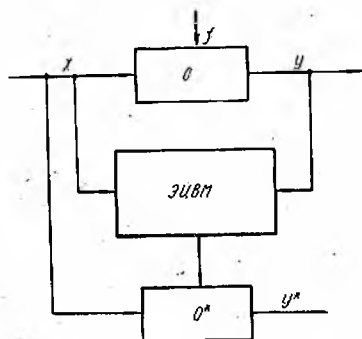
Как известно, на выход годного, кроме $X_1, \dots, X_n$ большое влияние оказывает тепловой режим плавки и режим подачи кислорода. Эти процессы во многом зависят от искусства сталевара и др. Поэтому невозможно найти универсальную функцию, описывающую все плавки. Для отдельной плавки можно записать

$$Y = Y^* \pm \delta(Y),$$

где $\delta(Y)$ — отклонение выхода годного от ожидаемого.

Учет реальных условий работы конверторного процесса показывает, что многие внешние возмущения воздействия изменяются во времени и их нельзя определить однозначно (искусство сталевара, качество руды, качество чугуна и др.). Здесь мы сталкиваемся с начальной неопределенностью, что затрудняет управление процессом. Возможность построения математической модели процесса при неполной априорной информации о нем или даже при отсутствии такой информации основана на применении адаптации и самообучения.

Рассмотрим задачу непосредственного определения параметров (идентификации) объекта, находящегося под воздействием случайной среды. Пусть задан объект управления с неизвестной математической моделью. Функциональная схема системы идентификации с использованием ЭЦВМ представлена на рисунке



Функциональная схема системы идентификации с использованием ЭЦВМ.

[1], где $\bar{X}$ — вектор входных параметров (чугун, железная руда, ферромарганец

и др.); $\bar{Y}$ — вектор выходных параметров (качество, количество стали, температура и др.);

$\bar{f}$ — вектор возмущающих воздействий (качество чугуна, железной руды, извести, шпата и т. д.).

На основании измерений $\bar{X}$ и $\bar{Y}$ ЭЦВМ должна определить оператор A^* таким, чтобы $\bar{Y}$ и $\bar{Y}^*$ с достаточной степенью точности совпадали для заданного интервала времени.

Здесь мы аппроксимируем объекты вида

$$Y = A_t X$$

(A_t — в общем случае нелинейный и нестационарный оператор) мо-
делями

$$Y^{0*} = \sum_{i=1}^n a_i R_i X_i^0(t), \quad (2)$$

где R_i — известные координатные функции;
 a_i — неизвестные коэффициенты, которые могут изменяться во времени;

Y^0 , X^0 — центрированные переменные.

Координатные функции R_i выбираются на основании имеющейся априорной информации о процессе. В нашем случае целесообразно допустить $R_i(X) = X^0$ и уравнение (1) примет вид

$$Y^{0*} = a_1 X_1^0 + a_2 X_2^0 + \dots + a_n X_n^0. \quad (3)$$

Неизвестные коэффициенты a_i выбираются так, чтобы функция (2) в смысле наименьших квадратов была ближе всего к $Y(t)$. Система уравнений для определения a_i имеет вид

$$\frac{\partial I}{\partial a_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

где

$$I = \sum_{j=1}^m (Y_j^0 - Y_j^{0*})^2. \quad (5)$$

Таким образом, решив систему линейных алгебраических уравнений (4), найдем функцию (3).

Рассмотрим более подробно вопрос об определении коэффициентов a_i по уравнению (3). Пусть имеем объект на n входов x_i и один выход Y . На объект действует также помеха f (см. рисунок). Каждый из параметров x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) и Y принимает m значений.

Зная X_{ij} и Y_j , $j = 1, 2, \dots, m$, можно найти коэффициенты a_i . Последовательно подставляя эти значения в уравнение (3), получаем так называемую условную систему уравнений, которая несовместима из-за ошибок измерений и помехи f . Затем берем сумму квадратов невязок всех уравнений условной системы и коэффициенты a_i , входящие в эту сумму, подбираем таким образом, чтобы сумма была минимальной. Для этого частные производные по a_i от суммы квадратов невязок $I(a_i)$ приравниваем к нулю. Так как $I(a_i)$ — положительно-определенная квадратичная форма, получим именно условие минимума.

Условная система уравнений:

$$Y_j^0 = \sum_{k=1}^n a_k X_{kj}^0, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

$$I(a_i) = \sum_{j=1}^m \left[Y_j^0 - \sum_{i=1}^n a_i X_{ij}^0 \right]^2, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Нормальная система уравнений (здесь число уравнений равно числу неизвестных) запишется так:

$$\frac{\partial I(a_i)}{\partial a_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

или

$$\sum_{j=1}^m Y_j^0 X_{kj}^0 = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^n a_l X_{lj}^0 X_{kj}^0 = \sum_{l=1}^n a_l \sum_{j=1}^m X_{lj}^0 X_{kj}^0, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Обозначим

$$b_{kj} = \sum_{j=1}^m X_{lj}^0 X_{kj}^0 \quad (10)$$

и

$$C_k = \sum_{j=1}^m Y_j^0 X_{kj}^0.$$

Тогда уравнение (9) примет вид

$$\sum_{j=1}^n b_{kj} a_j = C_k, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Для приближенного решения системы (11), используя итерационные методы, можно выбрать подсчитанные на предыдущем интервале значения коэффициентов a_i .

В частности, для этой цели применяют метод быстрого спуска [4], суть которого состоит в том, что точка начального приближения проектируется на вторую гиперплоскость и дальше процесс продолжается циклически. Контроль количества итераций можно осуществлять по сумме квадратов невязок.

Чтобы оценить значимость влияния каждой из переменных X_i на выходную величину Y , используют методы дисперсионного анализа [2].

В связи с этим вместо системы (11) будем решать систему с n следующими правыми частями:

$$\begin{array}{cccc} 1 & 2 & \dots & n \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \end{array}$$

$$\sum_{j=1}^n b_{kj} a_j = \dots \dots \dots$$

$$0 \quad 0 \dots 1.$$

После решения получим матрицу значения $\{a_{ij}\}_1^m$.

Коэффициенты a_j находим по равенству

$$a_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} C_i.$$

Величину остаточной дисперсии определяем по формуле

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{m - (n + 1)} \left(\sum_{j=1}^m Y_j^{02} - \sum_{j=1}^n a_j C_j \right).$$

Стандартные ошибки a_i вычисляем из уравнения

$$\sigma_j = \sigma_r \sqrt{a_{jj}}.$$

Отношение $\frac{a_j}{\sigma_j}$ дает величину t по критерию Стьюдента.

Сравнивая полученное значение t с табличным, определяем выходную величину Y_0 .

При небольших n (порядок системы) целесообразно пользоваться прямыми методами, в частности методом Гаусса с выбором главного элемента, применение которого исчерпывающе обосновано, например, в работе [4]. Этим способом на ЭЦВМ (по данным конверторного цеха № 2 за август 1968 г. Криворожского металлургического завода) найдены коэффициенты зависимости вида (3) (см. таблицу). $a_0 = -204,0$; $a_1 = 0,334$; $a_2 = 0,337$; $a_3 = -0,011$; $a_4 = -0,546$; $a_5 = 17,158$; $a_6 = 0,00125$; $a_7 = 132,18$; $a_8 = 0,00014$; $a_9 = 6,817$; $a_{10} = 9,796$.

Полученные коэффициенты можно применять в задачах минимизации функции (3).

В качестве входов использованы чугун, марганец, кремний и сера-чугуна, лом, железная руда, известь, шпат, ферромарганец, ферросилиций, в качестве выхода — выход годного (стали).

Если обозначить через I_0

$$I_0 = \sum_{i=1}^m (Y_i^{02})^2,$$

то $\delta = I/I_0$ будет характеризовать качество аппроксимации и в нашем случае равно 0,001 (показывает уменьшение начальной дисперсии).

При получении статической модели конверторного процесса важно установить необходимое число плавов, участвующих в идентификации. Так как модель получаем в режиме случайных колебаний, то она более или менее хорошо описывает процесс лишь вблизи области определения. Поэтому математическую модель следует корректировать.

Заниженное число плавов, участвующих в идентификации, ухудшает точность модели, завышенное — приводит к увеличению вычислений.

Интервал идентификации T_n или нужное число плавов для построения математической модели объекта, по-видимому, целесообразно выбирать по критерию минимума частоты идентификации или, что равносильно, по максимальному интервалу адекватности T_a (с заданной точностью) модели и объекта.

Интервал T_n , при котором T_a максимально, выбирается экспериментально по следующей схеме.

Задается произвольный интервал T_n , на основании экспериментов определяется среднее значение T_a , для которого модель адекватна объекту. Адекватность устанавливаем по t -критерию значимости. Обозначим через Y i -тое измерение выходной величины, т. е.

$$Y_i = Y(i) = A_x(i),$$

а через Y_i^* — значение выходной величины в тот же момент времени, или

$$Y_i^* = Y^*(i) = A_x^*(i).$$

Примем, что для заданного интервала T_n , Y и Y^* незначительно отличаются друг от друга, и проверим эту гипотезу. Для этого вычислим среднее значение величины $\Delta Y = Y - Y^*$

$$\overline{\Delta Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i^*) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta Y_i.$$

Стандартное отклонение $\overline{\Delta Y}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i^2}{n-1}},$$

тогда стандартное отклонение $\overline{\Delta Y}$ равно

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

$$t = \frac{\overline{\Delta Y}}{\sigma_1}.$$

Полученное значение сравниваем с табличным. Если наша гипотеза подтверждается, то при этом же T_n увеличиваем T_a , т. е. n , и так до тех пор, пока разность $Y - Y^*$ не станет значимой.

Предыдущее значение n берем в качестве T_a для заданного T_n . Для одного значения T_n повторим многократно определение T_a и среднее из значений T_a примем интервалом адекватности для заданного T_n .

ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

о входных и выходных параметрах, полученных на Криворожском металлургическом заводе им. В. И. Ленина за август 1968 г.

№ плавки	П а р а м е т р ы										
	чугун X_1	лом X_2	железная руда X_3	известь X_4	алюминий X_5	плавнко- вый шпат X_6	ферро- марганец X_7	кремний X_8	марганец X_9	сера X_{10}	выход годного Y
1	115,0	22,0	2,0	7,6	48	200	900	0,43	0,74	0,074	127,5
2	113,0	21,0	—	7,0	48	300	1,2	0,49	0,78	0,072	127,5
3	110,0	22,0	—	7,0	48	300	1,1	0,49	0,78	0,072	127,5
4	104,0	23,0	1,0	6,5	48	400	1,1	0,49	0,78	0,072	119,0
5	101,0	25,0	—	6,5	48	400	1,2	0,49	0,78	0,072	119,0
6	103,0	22,0	1,0	6,5	48	400	1,3	0,49	0,78	0,072	119,0
7	102,0	23,0	1,5	7,0	48	400	1,3	0,60	0,81	0,053	119,0
8	103,0	22,0	0,5	7,0	48	250	1,3	0,68	0,86	0,053	119,0
9	100,0	25,0	—	7,0	48	250	1,0	0,63	0,88	0,053	119,0
10	101,0	24,0	—	7,0	48	250	700	0,52	0,88	0,036	119,0
11	102,0	23,0	0,5	7,0	48	300	1,4	0,43	0,87	0,036	110,5
12	111,0	—	4,5	7,0	48	300	1,2	0,51	1,01	0,036	110,5
13	111,0	—	4,5	7,0	48	300	1,2	0,55	1,01	0,036	110,5
14	122,0	—	6,0	8,0	48	300	1,1	0,42	0,76	0,057	119,0
15	107,0	19,0	2,0	7,0	48	300	800	0,53	0,50	0,059	110,5
16	104,0	22,0	1,0	6,0	16	—	600	0,47	0,62	0,042	119,5
17	102,0	24,0	2,0	8,0	48	—	1,2	0,47	0,62	0,042	100,0
18	119,0	23,0	0,5	8,0	48	—	1,2	0,47	0,62	0,042	103,0
19	106,0	24,0	1,0	8,0	48	300	1,1	0,69	0,71	0,063	119,0
20	103,0	23,0	—	8,0	48	300	—	0,69	0,71	0,063	119,0
21	105,0	21,0	2,5	8,5	48	300	1,1	0,73	0,80	0,063	119,0
22	105,0	17,0	3,0	7,0	64	300	1,1	0,73	0,80	0,056	110,5
23	105,0	20,0	3,5	7,0	64	300	1,2	0,73	0,80	0,056	119,0
24	100,0	26,0	1,0	7,0	64	300	950	0,73	0,80	0,056	119,0
25	103,0	22,0	2,0	7,0	48	300	900	0,73	0,80	0,056	119,0
26	110,0	17,0	3,5	9,0	48	200	1,1	0,59	0,86	0,041	119,0
27	106,0	20,0	1,0	8,0	48	400	1,1	0,59	0,86	0,041	110,5
28	107,0	19,0	1,0	8,0	48	400	1,0	0,59	0,86	0,041	119,0
29	104,0	22,0	2,0	8,5	48	400	1,4	0,59	0,86	0,041	119,0
30	106,0	20,0	1,0	7,5	48	400	1,2	0,59	0,86	0,041	119,0
31	101,0	25,0	—	7,0	48	900	1,05	0,44	0,74	0,053	119,0
32	102,0	24,0	—	7,0	48	900	1,2	0,44	0,74	0,059	119,0
33	105,0	20,0	1,0	7,0	48	800	1,25	0,44	0,74	0,059	119,0
34	103,0	23,0	1,5	7,0	48	800	1,1	0,44	0,74	0,059	119,0
35	103,0	23,0	0,5	6,5	48	500	1,2	0,46	0,68	0,055	119,0
36	104,0	21,0	—	8,0	48	500	1,6	0,34	0,57	0,071	110,5
37	115,0	10,0	3,0	8,0	48	300	1,0	0,34	0,57	0,071	119,0
38	107,0	18,0	—	8,0	48	300	1,0	0,39	0,85	0,064	119,0
39	109,0	17,0	3,0	7,0	48	300	1,0	0,34	0,70	0,064	119,0
40	108,0	17,0	2,0	7,0	48	300	1,1	0,29	0,64	0,058	110,5
41	107,0	19,0	2,0	7,0	48	400	950	0,31	0,97	0,058	119,0
42	108,0	20,0	1,5	7,0	48	300	950	0,31	0,97	0,058	119,0
43	107,0	19,0	2,5	7,0	48	400	2,3	0,31	0,97	0,058	119,0
44	105,0	21,0	2,0	7,0	48	400	2,5	0,31	0,97	0,058	119,0
45	107,0	19,0	2,0	7,0	48	400	1,0	0,31	0,97	0,058	119,0
46	103,0	23,0	1,0	7,0	48	400	1,0	0,31	0,97	0,058	110,5
47	110,0	15,0	2,5	6,0	48	400	1,0	0,31	0,97	0,058	119,5
48	107,0	18,0	2,0	6,0	48	400	900	0,31	0,97	0,058	119,0
49	106,0	19,0	—	7,0	48	400	950	0,31	0,97	0,058	110,5
50	104,0	23,0	0,5	6,5	48	300	1,15	0,31	0,97	0,058	119,0
51	107,0	18,0	3,0	6,5	48	300	1,0	0,31	0,97	0,058	119,0
52	107,0	20,0	1,5	6,5	48	300	1,1	0,31	0,97	0,058	119,0
53	107,0	24,0	2,0	6,5	48	250	1,0	0,60	1,03	0,054	119,0
54	106,0	20,0	4,0	7,0	48	—	800	0,60	1,03	0,054	119,0
55	106,0	20,0	3,5	7,0	48	650	600	0,60	1,03	0,054	119,0
56	106,0	19,0	3,0	7,0	48	—	900	0,60	1,03	0,054	119,0

Продолжение таблицы

№ плавки	П а р а м е т р ы										
	чугун X_1	лом X_2	железная руда X_3	известь X_4	алюминий X_5	плавиковый шпат X_6	ферромарганец X_7	Кремний X_8	Марганец X_9	сера Y_{10}	выход годового Y
57	106,0	22,0	1,5	9,0	48	400	1,4	0,55	0,95	0,047	119,0
58	105,0	21,0	2,5	6,8	48	200	1,1	0,64	0,98	0,049	119,0
59	104,0	22,0	3,0	6,5	48	200	1,1	0,53	0,85	0,049	119,0
60	109,0	17,0	3,5	7,0	48	200	1,1	0,51	0,81	0,045	119,0
61	110,0	17,0	1,0	9,0	48	400	1,0	0,47	0,65	0,053	119,0
62	105,0	23,0	2,0	6,0	48	200	1,0	0,40	0,77	0,045	110,5
63	102,0	24,0	1,0	6,0	48	200	1,0	0,51	0,73	0,045	119,0
64	102,0	24,0	—	5,5	48	200	1,0	0,45	0,82	0,057	119,0
65	106,0	20,0	2,0	8,0	48	—	1,0	0,61	0,81	0,060	119,0
66	106,0	19,0	2,0	6,5	48	—	1,0	0,52	0,89	0,056	119,0
67	107,0	19,0	2,5	6,5	48	—	1,0	0,57	1,0	0,056	119,0
68	102,0	24,0	—	6,0	48	600	1,3	0,57	1,0	0,056	119,0
69	104,0	22,0	—	7,0	48	600	1,3	0,57	1,0	0,056	119,0
70	102,0	15,0	—	7,0	48	600	1,2	0,57	1,0	0,056	119,0
71	110,0	16,0	3,0	8,0	48	400	1,0	0,62	0,96	0,056	119,0
72	106,0	20,0	3,0	8,0	48	400	1,1	0,54	0,85	0,045	119,0
73	106,0	22,0	2,0	8,0	48	400	1,0	0,45	0,81	0,045	119,0
74	110,0	19,0	2,0	7,0	48	250	1,0	0,55	0,87	0,045	119,0
75	108,0	21,0	2,0	7,0	48	250	1,1	0,59	0,91	0,048	119,0
76	107,0	19,0	2,5	7,0	48	250	1,0	0,62	0,85	0,048	119,0
77	101,0	26,0	—	7,0	48	250	1,1	0,67	0,83	0,064	119,0
78	104,0	22,0	0,5	6,0	48	—	1,4	0,68	0,82	0,040	119,0
79	104,0	22,0	0,5	7,0	48	—	1,4	0,63	0,82	0,041	110,5
80	102,0	24,0	0,5	7,0	48	—	1,3	0,67	0,78	0,041	119,0
81	104,0	22,0	1,0	7,0	48	—	1,15	0,57	0,81	0,041	119,0
82	105,0	22,0	1,5	7,0	48	—	1,4	0,64	0,85	0,028	119,0
83	103,0	24,0	0,5	7,0	48	—	1,3	0,62	0,95	0,028	110,5
84	104,0	22,0	1,0	7,0	48	—	1,3	0,63	0,95	0,037	119,0
85	105,0	21,0	1,0	7,0	48	200	1,3	0,63	0,95	0,037	119,0
86	103,0	23,0	1,0	7,0	48	200	1,1	0,63	0,95	0,037	119,0
87	104,0	22,0	0,5	7,0	48	200	1,1	0,63	0,95	0,037	119,0
88	102,0	24,0	—	7,0	48	200	1,1	0,63	0,95	0,037	119,0
89	106,0	22,0	—	7,0	48	200	1,4	0,63	0,95	0,037	110,5
90	106,0	20,0	0,5	7,0	48	200	1,1	0,63	0,95	0,037	119,0
91	104,0	22,0	—	7,0	48	200	1,0	0,63	0,95	0,037	119,0
92	103,0	23,0	—	6,5	48	300	900	0,63	0,95	0,037	119,0
93	105,0	21,0	0,5	7,0	48	300	1,1	0,63	0,95	0,037	119,0
94	106,0	20,0	—	7,0	48	300	1,1	0,57	1,05	0,052	119,0
95	106,0	20,0	2,5	7,0	48	300	1,2	0,57	1,05	0,052	115,5
96	102,0	23,0	—	7,0	48	300	1,1	0,52	0,98	0,052	119,0
97	105,0	20,0	1,0	7,0	48	300	1,0	0,67	0,99	0,052	119,0
98	110,0	18,0	—	7,0	48	300	1,0	0,59	1,04	0,043	110,7
99	105,0	21,0	—	7,0	48	200	1,0	0,59	1,04	0,043	119,0
100	104,0	22,0	—	7,0	48	—	800	0,53	0,88	0,048	119,0
101	110,0	—	5,5	9,0	48	500	1,1	0,76	0,81	0,051	110,5
102	106,0	20,0	1,5	7,5	48	500	1,0	0,58	0,73	0,060	119,0
103	107,0	19,0	1,5	7,5	48	600	1,3	0,58	0,73	0,060	110,5
104	104,0	22,0	1,5	8,0	48	—	1,2	0,58	0,73	0,060	119,0
105	110,0	18,0	2,0	7,5	48	—	1,3	0,72	0,63	0,051	119,0
106	103,0	23,0	1,5	7,5	48	—	1,5	0,64	0,80	0,054	119,0
107	102,0	24,0	1,0	8,5	48	—	1,0	0,64	0,66	0,054	119,0
108	107,0	19,0	2,0	7,0	48	—	1,5	0,69	0,69	0,054	110,5
109	107,0	20,0	1,0	7,0	48	500	1,15	0,46	0,52	0,077	119,0
110	105,0	23,0	0,5	7,5	48	500	1,12	0,54	0,54	0,078	119,0
111	104,0	22,0	1,5	8,5	48	500	1,2	0,53	0,45	0,084	119,0
112	106,0	24,0	1,0	6,5	48	500	950	0,53	0,45	0,084	119,0
113	105,0	21,0	1,5	6,5	48	500	900	0,53	0,45	0,084	119,0
114	109,0	18,0	1,0	8,0	48	500	1,4	0,53	0,45	0,084	119,0

Продолжение таблицы

№ плавки	П а р а м е т р ы										выход год-ного У
	чугун X_1	лом X_2	железная руда X_3	известь X_4	алюминий X_5	плавко-вый шпат X_6	ферро-марганец X_7	кремний X_8	марганец X_9	сера X_{10}	
115	108,0	23,0	0,5	9,0	48	—	1,1	0,66	0,45	0,071	119,0
116	110,0	17,0	2,5	9,0	48	—	800	0,65	0,85	0,066	119,0
117	107,0	19,0	2,0	9,0	48	—	700	0,65	0,85	0,066	119,0
118	105,0	21,0	1,5	8,0	48	300	900	0,63	0,85	0,083	119,0
119	105,0	21,0	1,0	9,0	48	400	900	0,73	0,98	0,053	119,0
120	103,0	16,0	3,0	9,0	48	400	800	0,73	0,98	0,053	119,0

После этого меняем T_n и повторяем вычисления. Значение T_n , которое соответствует максимальному T_a выбираем в качестве интервала идентификации. Интервал адекватности T_a для большей точности следует брать несколько меньшим, чем максимальное значение.

Таким образом, определены коэффициенты линейной статической характеристики, дающей оценки зависимости между выходом годного (стали) и основными шихтовыми материалами. Произведенный подсчет (около 500 плавов) показал, что на выход годного меньше всего влияют плавиковый шпат, ферромарганец, ферросилиций.

Обработка данных производилась для разных марок стали.

В таблице приведены данные марки стали 35ГС, по которым осуществлялись подсчеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Н. Малиновский, И. А. Яиович. Управление производством. Труды II Всесоюзной конференции по автоматическому управлению. Изд-во «Наука», 1966.
2. Э. Ф. Беккенбах. Современная математика для инженеров. Изд-во иностр. лит., 1959.
3. К. А. Браунли. Статистические исследования в производстве. Изд-во иностр. лит., 1949.
4. В. В. Иванов. Теория приближенных методов и ее применение к численному решению сингулярных уравнений. Изд-во «Наукова думка», Киев, 1968.