

да // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1983. – Вып. 8. – С. 26–30.

3. Подопригора, Ю. А. Сравнительная оценка напряжений в стыковых соединениях резинотканевых лент / Ю. А. Подопригора, М. А. Рубин, А. Н. Алхименков // Разработка рыхлых пород комплексами непрерывного действия. – 1979. – Вып. 8. – С. 28–32.

4. Высочин, Е. М. Стыковка и ремонт конвейерных лент на предприятиях черной металлургии / Е. М. Высочин, Е. Х. Завгородний, В. И. Заренков. – М.: Металлургия, 1989. – 192 с.

5. Патент 2001332 РФ, F 16 G 3/09. Способ разделки концов резинотканевых конвейерных лент и устройство для его осуществления / В. П. Дунаев, Н. Г. Заворотнов, Ю. А. Подопригора [и др.] // Бюл. изобр. – 1993. – № 37–39.

6. Колосов, Л. В. Научные основы разработки и применения резинотросовых канатов подъемных установок глубоких рудников: дис. ... докт. техн. наук / Л. В. Колосов. – Днепропетровск: ДГИ, 1987. – 570 с.

Поступила 15.11.2005

УДК 621.1.0.18

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПРИ ТЕПЛООБМЕНЕ РАДИАЦИЕЙ

*Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВСКИЙ В. Б., инженеры САИД А. Г., ПРОНЬ В. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

Сложность процессов теплопередачи и недостаточность априорной информации о процессах нагрева металла в печах приводят к необходимости создания математических моделей, в которых неизвестными являются некоторые параметры. Эти параметры существенно зависят от конструктивных особенностей печи. Если имеются экспериментальные данные о динамике нагрева материалов, то их можно использовать для идентификации модели, что позволяет построить адекватный реальному процессу режим. Таким образом, возникает задача параметрической идентификации модели по результатам промышленных экспериментов.

Из уравнения теплового баланса модель процесса нагрева термически тонких тел представим в виде:

$$\frac{dT}{dt} = \alpha(T_{\text{пч}} - T) + \sigma(T_{\text{пч}}^4 - T^4); \quad (1)$$

$$T(0) = T_0, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – коэффициент теплообмена излучением;  $\alpha$  – то же конвекцией;  $T_{\text{пч}}$  и  $T$  – температура сре-

ды и металла в момент времени  $t$  соответственно;  $T_0$  – начальная температура заготовки.

Предположим, что известны в любой момент времени температура печи и металла. Например, в [1] они сведены в табл. 1 и 2 соответственно. Задача параметрической идентификации заключается в подборе таких параметров  $\alpha$  и  $\sigma$ , при которых значения температур металла, найденные из уравнения (1), с начальным условием (2) в каждый момент времени наименее отличаются от тех же величин, но полученных экспериментальным путем. За меру отклонения данных примем величину

$$G(\alpha, \sigma) = \int_0^{t_k} (T(t) - \hat{T}(t))^2 dt, \quad (3)$$

где  $t$  – время, за которое проводились измерения экспериментальных значений;  $\hat{T}(t)$  – экспериментальные величины температуры металла.

Из соотношения (3) следует, что мера отклонения температур зависит от параметров  $\alpha$  и  $\sigma$ . Примем из физических соображений, что

$$\alpha \geq 0, \sigma \geq 0. \quad (4)$$

Таблица 1

Температура печи в зависимости от времени

Время, мин	Температура $t$ , °C	Время, мин	Температура $t$ , °C	Время, мин	Температура $t$ , °C
0	650	34	926	68	1118
2	679	36	941	70	1125
4	707	36	952	72	1132
6	727	40	962	74	1139
8	747	42	970	76	1146
10	760	44	978	78	1153
12	773	46	987	80	1160
14	787	48	1003	82	1165
16	800	50	1019	84	1167
18	813	52	1035	86	1172
20	827	54	1051	88	1177
22	840	56	1067	90	1182
24	853	58	1085	92	1186
26	867	60	1100	94	1190
28	882	62	1103	96	1194
30	897	64	1107	98	1197
32	911	66	1112	100	1200

Таблица 2

Температура заготовки в зависимости от времени

Время, мин	Температура $t$ , °C	Время, мин	Температура $t$ , °C	Время, мин	Температура $t$ , °C
0	50	34	750	68	1050
2	110	36	770	70	1065
4	200	36	790	72	1075
6	265	40	810	74	1090
8	310	42	825	76	1100
10	330	44	835	78	1115
12	350	46	860	80	1125
14	380	48	875	82	1130
16	415	50	900	84	1135
18	450	52	925	86	1140
20	490	54	950	88	1145
22	520	56	975	90	1150
24	550	58	990	92	1155
26	610	60	1000	94	1160
28	650	62	1010	96	1170
30	680	64	1020	98	1180
32	725	66	1030	100	1185

Для того чтобы решить задачу параметрической идентификации, необходимо найти такие значения

параметров  $\alpha = \bar{\alpha}$ ,  $\sigma = \bar{\sigma}$ , которые удовлетворяли бы ограничению (4) и при которых функция (3) принимала бы минимальное значение. Таким образом, возникает задача условной минимизации функции двух переменных. Для ее решения используем адаптивный алгоритм случайного поиска, задав при этом начальные значения  $\alpha_0$ ,  $\sigma_0$ .

В результате численного эксперимента получены следующие значения величин:  $\alpha = 1,184142 \times 10^{-8}$ ;  $\sigma = 1,363583 \cdot 10^{-10}$ . На рис. 1 приведены графики изменения температуры заготовки, полученные экспериментальным и расчетным путями.

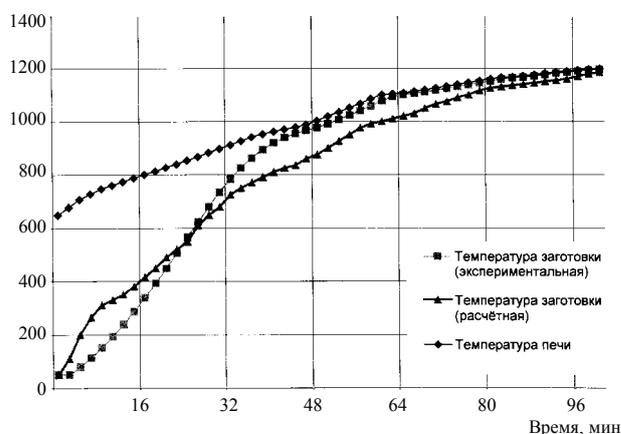


Рис. 1. Графики изменения температуры заготовки, полученные: 1 – экспериментальным; 2 – расчетным путями

Анализ результатов свидетельствует о том, что относительная погрешность расчетов температур не превышает 5 %, что можно считать удовлетворительным.

### ВЫВОД

С помощью промышленного эксперимента и предложенного алгоритма получено реальное значение параметра модели (1), что имеет практическое значение для изучения процесса нагрева металла с целью его последующей оптимизации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошпольский, В. И. Теплотехнология металлургических мини-заводов / В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова, В. Б. Ковалевский. – Минск: Наука і техника, 1992. – 158 с.

Поступила 25.09.2002