

УДК 621.31

**И.Г. ЯКОВЛЕВА** (д-р техн. наук, проф.), **И.А. НАЗАРЕНКО**  
 Государственное высшее учебное заведение  
 «Запорожская государственная инженерная академия»  
yakovleva@zgia.zp.ua iranazarenko\_81@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ВРЕМЯ НАГРЕВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕКА

*Выполнен регрессионный анализ факторов, которые влияют на время нагрева высокотемпературного пека. Определена форма связи между наполняемостью емкости и расходом циркулирующего пека, а также временем нагрева. Рекомендовано использование данных параметров в качестве управляющих функций процесса нагрева высокотемпературного пека при разработке энергосберегающих режимов.*

**Ключевые слова:** *высокотемпературный пек, циркуляционный нагрев, резервуар хранения, выносной подогреватель, численное моделирование.*

**Введение.** Высокотемпературный пек используется в качестве связующего вещества при производстве электродов. Важным фактором, влияющим на эксплуатационные свойства электродов, является качество пека, которое зависит не только от технологии его получения, но и от режимов нагрева[1]. Задачей качественного нагрева пека является достижение однородности пека при минимальном времени нагрева. В процессе эксплуатации системы нагрева высокотемпературного пека, на его время нагрева влияют следующие технологические факторы: наполняемость резервуара хранения, температура пека на выходе из подогревателя, расход циркулирующего пека.

**Постановка задачи.** Система нагрева пека представляет собой сложный комплекс трубопроводов, оборудования и сооружений, потребляющий значительную часть энергетических ресурсов собственных нужд предприятия в процессе эксплуатации. Этот факт не позволяет провести физический эксперимент на действующем оборудовании. Поэтому для изучения возможности использования циркуляционного нагрева для пековых хозяйств была создана математическая модель нагрева пека в резервуарах большой вместительности.

Ввиду того, что пек потребляется неравномерно, то наполняемость резервуара изменяется, также изменяется расход циркулирующего пека и температура пека на выходе из выносного подогревателя. Для разработки энергосберегающих режимов необходимо проанализировать влияние всех вышеприведенных факторов на время нагрева высокотемпературного пека.

**Результаты работы.** Для обработки результатов численного моделирования использовался метод планирования эксперимента с ядром  $2^3$  [2]. Управляющими факторами являются:  $X_1$  – наполняемость ёмкости, т;  $X_2$  – температура пека на выходе из подогревателя, °С;  $X_3$  – расход пека в циркулирующем контуре, кг/с. Зависимой переменной  $Y$  является время нагрева пека, ч.

Уровни варьирования факторов приведены в табл. 1. Данные для обработки получены путем численного моделирования теплообмена в емкости при циркуляционном способе нагрева.

Таблица 1 - Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервалы варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
Наполняемость ёмкости, т	$x_1$	50	300	650	300
Температура пека на выходе из подогревателя, °С	$x_2$	190	200	210	10
Расход пека на циркуляцию, кг/с	$x_3$	5	10	15	5

Необходимо определить, какие из факторов: наполняемость ёмкости, температура пека на выходе из подогревателя или расход циркулирующего пека ( $x_1, x_2, x_3$  соответственно) в наибольшей степени влияют на время нагрева пека ( $y$ ).

Матрица математического планирования эксперимента приведена в табл. 2. Данные выходного параметра  $y$  для таблицы получены по результатам математического моделирования температурного поля в емкости с высокотемпературным пеком.

Статистическая обработка результатов экспериментов и формирование математической модели включает нахождение коэффициентов в уравнении регрессии, проверку их значимости и адекватности модели. Определим коэффициенты уравнения регрессии по формулам, изложенным в [2]. Все рассчитанные коэффициенты уравнения сведены в табл. 3.

© Яковлева И.Г., Назаренко И.А. 2013

Таблица 2 – Матрица полнофакторного эксперимента (k=3)

Точки плана	Факторы			Выходной параметр
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y
1	1	1	1	10,5
2	1	-1	1	16,7
3	-1	1	1	0,9
4	-1	-1	1	1,2
5	1	1	-1	24
6	1	-1	-1	24
7	-1	1	-1	1,7
8	-1	-1	-1	1,7

Таблица 3 – Определение коэффициентов уравнения регрессии

Свободный член уравнения регрессии	Коэффициенты для линейных членов уравнений			Коэффициенты парных взаимодействий		
	b <sub>0</sub>	b <sub>i</sub>			b <sub>ij</sub>	
10.088	1.313	1.313	1.313	1.313	1.313	1.313
	2.088	-2.088	2.088	-2.088	2.088	-2.088
	-0.113	0.113	0.113	-0.113	-0.113	0.113
	-0.150	-0.150	0.150	0.150	-0.150	-0.150
	3.000	3.000	-3.000	3.000	-3.000	-3.000
	3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	3.000
	-0.213	0.213	-0.213	-0.213	0.213	-0.213
	-0.213	-0.213	-0.213	0.213	0.213	0.213
	b <sub>1</sub> =8.713	b <sub>2</sub> =-0.813	b <sub>3</sub> =-2.763	b <sub>12</sub> =-0.738	b <sub>13</sub> =-2.438	b <sub>23</sub> =-0.813

Уравнение регрессии с учетом полученных коэффициентов будет иметь вид:

$$y = 10,09 + 8,713 \cdot x_1 - 0,813 \cdot x_2 - 2,763 \cdot x_3 - 0,738 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2,438 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,813 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Учитывая вероятностный характер регрессионных уравнений, следует провести их статистический анализ, основной целью которого являются оценка значимости коэффициентов уравнений и проверка адекватности уравнений. Оценим значимость коэффициентов уравнения регрессии по t-критерию Стьюдента. Принимаем при уровне значимости 0,1 и числе степеней свободы 8  $f(y) = N$  табличное значение t-критерия Стьюдента  $t_T = 1,75$  [3].

При  $t_p < t_T$  коэффициент является незначимым и может быть отброшен без пересчета остальных. Значимыми являются коэффициенты  $b_0$ ,  $b_1$ , и  $b_3$ .

Поэтому уравнение регрессии примет вид:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_3 \cdot x_3.$$

Для проверки адекватности полученного уравнения регрессии определяем дисперсию адекватности.

Табличные значения критерия Фишера  $F_T$  находим с учетом доверительной вероятности и числа степеней свободы. В тепловых процессах доверительная вероятность может быть принята 90%. Число степеней свободы  $f_{ад}$  для линейных и неполных квадратичных уравнений  $f_{ад} = N - m = 8 - 3 = 5$ . Табличное значение критерия Фишера  $F_T = 3,84$ , а расчетное значение критерия Фишера  $F_p = 2,9$ . Уравнение считается адекватным для принятого уровня доверительной вероятности, если  $F_p < F_T$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что полученное уравнение адекватно, а значит, оно достаточно полно отражает исследуемую зависимость времени нагрева от наполняемости емкости и от расхода циркулирующего пека:

$$y = 10,09 + 8,713 \cdot x_1 - 2,763 \cdot x_3.$$

**Выводы.** В результате расчёта, исходя из уравнения регрессии, можно сделать следующий вывод: наибольшее влияние на время нагрева высокотемпературного пека оказывают наполняемость ёмкости пека, меньшее влияние оказывает расход циркулирующего пека. Увеличение наполняемости ведет к увеличению времени нагрева пека в емкости, а увеличение расхода циркулирующего пека к его сокращению.

Полученное регрессионное уравнение определяет связь между технологическими параметрами и временем нагрева, что позволит в дальнейшем использовать данные параметры в качестве управляющих функций процесса нагрева высокотемпературного пека с целью разработки энергосберегающих режимов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Привалов В. Е. Каменноугольный пек / В. Е. Привалов, М. А. Степаненко. – М.: Металлургия.- 1981. – 207 с.
2. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических режимов / К. Хартман. – М.: Мир.- 1977. – 552 с.
3. Румянцев Б. М. Тепловые установки в производстве строительных материалов и изделий / Б. М. Румянцев, В. П. Журба. – М.: Высшая школа.- 1991. – 160 с.

## REFERENCES

1. Privalov V.E., Stepanenko M.A. Coal-tar pitch. Moscow: Metallurgy, 1981. 207 p.
2. Hartman K. Design of experiments in the study of technological regimes. Moscow: World, 1977. 552 p.
3. Rumyantsev B.M., Zhurba V.P. Heating plants in the production of building materials and products. Moscow: High School, 1991.160 p.

Надійшла до редакції 26.03.2013

Рецензент: О.П. Ковальов

И.Г. ЯКОВЛЕВА, И.А. НАЗАРЕНКО

Государственное высшее учебное заведение «Запорожская государственная инженерная академия»

**Вплив технологічних параметрів на час нагріву високотемпературного пеку.** Виконано регресійний аналіз чинників, які впливають на час нагріву високотемпературного пеку. Визначено форма зв'язку між наповнюваністю ємності і витратою циркулюючого пеку, а також часом нагріву. Рекомендовано використання даних параметрів в якості керуючих функцій процесу нагріву високотемпературного пеку при розробці енергозберігаючих режимів.

**Ключові слова:** високотемпературний пек, циркуляційний нагрів, резервуар зберігання, виносний підігрівач, чисельне моделювання.

I. YAKOVLEVA, I. NAZARENKO

State Institution of Higher Education «Zaporozhye State Engineering Academy»

**Influence of Technological Parameters during Heating High Pitch.** The work is aimed at improving the energy efficiency of heating systems of high - temperature pitch at graphite electrodes producing plants. At was previously shown that the of pitch depends not only on its producing technology but on the heating conditions as well, moreover this affects the electrodes time living properties. In this regard the main pitch heating quality task is to archive its homogeneity with minimal time. The process of high - temperature pitch heating working system shown that the following technical factors influence on its heating time: the storage tank feeling; the pitch heating temperature at the outlet; the outlay of the circulating pitch. Using multivariate experiment we got the linear dependence of the high - pitch heating process. The number of experiments N is 8. The regression analysis of the factors influencing the high - pitch heating was carried out. The processing of the performed experimental results and its mathematical model adequacy. The type of connection between tank feeling and pitch circulating outlay as well, as heating time was determined. The regression correlation between the parameters of optimization and variables factors in polynomial form of the first order was calculated. The equation validity of the received regression was checked. It was shown that the storage tank feeling affects on the heating time more that the pitch circulating outlay. The using of such parameters may be recommended as the control functions in the process of high-temperature pitch heating for the time of energy – serving mode.

**Key words:** high temperature pitch, circulating heating, storage tank, an external heater, the numerical simulation.