

УДК. 666.31

ГУЛИЕНКО О.В., КАШУРИН А.Н.

Ин-т технической теплофизики НАН Украины

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ ДЕСУЛЬФОГИПСА

Для отримання якісних гіпсових в'язучих з гіпсовміщуючих відходів хімічної промисловості необхідно отримати оптимальні параметри гідротермальної обробки брикетованої сировини. Проведено ряд експериментів та створено математичну модель процесу гідротермальної обробки десульфогіпсу, що дозволяє визначити оптимальні параметри процесу.

Для получения качественных гипсовых вяжущих из гипсосодержащих отходов химической промышленности необходимо получить оптимальные параметры гидротермальной обработки брикетированного сырья. Проведено ряд экспериментов и составлена математическая модель процесса гидротермальной обработки десульфогипса позволяющая определить оптимальные параметры процесса.

Optimal parameters of hydrothermal processing of briquette row are necessary for obtaining of high quality gypsum binding material made of gypsiferous waste of chemical industry. Experiments were conducted and mathematical model of process of hydrothermal desulphogypsum treatment was founded, that allows to determine optimal parameters of the process.

b – коэффициенты регрессии;
 F – критерий Фишера;
 f – число степеней свободы;
 P – давление, МПа;
 R – прочность, МПа;
 S_b – среднеквадратичная ошибка эксперимента;
 t – критерий Стьюдента;
 X_i – кодовое значение фактора;
 x_i – физическое значение фактора;

x_{i0} – физическое значение фактора на нулевом уровне;
 α – величина плеча «звездных» точек;
 δ_i – интервал варьирования;
 τ – время, час;
Индексы:
кр. – критическое значение;
сж. – сжатие.

Введение

Теплофизические аспекты гидротермальной обработки гипсосодержащих отходов имеют определяющее значение для получения вяжущего, обладающего необходимыми качественными показателями. Основными параметрами гидротермальной обработки являются величина избыточного давления пара в автоклаве, которой соответствует температура среды в автоклаве и время изотермической выдержки.

Цели исследования

С целью эффективного проведения эксперимента, то есть минимизации числа опытов, и с целью оптимизации последующего анализа полученных экспериментальных данных был исполь-

зован метод математического планирования эксперимента [1], который предусматривает постановку опытов по заранее составленной схеме, обладающей оптимальными свойствами с точки зрения условий объема экспериментальных работ и условий статистической обработки результатов.

Методы исследования

Для получения математической модели гидротермальной обработки гипсосодержащих отходов на примере десульфогипса был осуществлен двухфакторный эксперимент при изменении величины избыточного давления пара в автоклаве P и времени изотермической выдержки τ . При планировании эксперимента эти параметры соответственно были обозначены x_1 и x_2 . Выходным па-

раметром являлась прочность при сжатии $R_{сж}$, по которой определяют марку получаемого гипсового вяжущего. Выходной параметр или функцию отклика при планировании эксперимента обозначают y .

Факторы, уровни и интервалы варьирования при гидротермальной обработке десульфогипса, то есть условия проведения планируемого эксперимента, сведены в табл. 1.

При выборе интервалов варьирования принималось во внимание то, что они не должны быть чрезвычайно узкими или широкими, так как узкие интервалы затрудняют, а то и полностью исключают возможность оптимизации отдельных параметров, широкие же интервалы варьирования приводят к увеличению затрат времени на поиск оптимальных значений, а также возможны случаи проскока экстремума. На интервал варьирования накладываются ограничения снизу – он не может быть меньше возможной ошибки измерения и сверху – верхний или нижний уровни не должны выходить за область определения.

В процессе проведения планируемого эксперимента был реализован центральный композици-

онный ортогональный план для двухфакторного эксперимента. Число опытов по такому плану равняется 9. Величина плеча «звездных» точек при двух независимых факторах $\alpha = 1,00$. План эксперимента и результаты опытов представлены в табл. 2.

Уравнение регрессии записывается в виде полинома:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

который для нашего эксперимента имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2, \quad (2)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ – коэффициенты регрессии, рассчитываемые по формулам [2].

Из экспериментальных данных находим коэффициенты регрессии, которые позволяют записать уравнение регрессии в виде:

$$y = 11,42 + 1,18 x_1 + 3,82 x_2 + 0,22 x_1^2 - 0,64 x_2^2 - 0,04 x_1 x_2. \quad (3)$$

Для проведения статистического анализа вычисляем среднеквадратичную ошибку эксперимента

Табл. 1. Условия проведения планируемого эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
Избыточное давление в автоклаве, МПа	X_1	0,11	0,13	0,15	0,02
Время изотермической выдержки, ч	X_2	0,75	1,75	2,75	1,0

Табл. 2. План эксперимента и результаты опытов

Номер опыта	X_0	План		Расчетная матрица			Выходная переменная y , МПа
		X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	
1	+1	+1	+1	+1	1/3	1/3	17,00
2	+1	+1	-1	-1	1/3	1/3	8,92
3	+1	-1	+1	-1	1/3	1/3	14,61
4	+1	-1	-1	+1	1/3	1/3	5,82
5	+1	0	+1	0	1/3	-2/3	15,38
6	+1	0	-1	0	1/3	-2/3	7,32
7	+1	+1	0	0	-2/3	1/3	13,00
8	+1	-1	0	0	-2/3	1/3	9,92
9	+1	0	0	0	-2/3	-2/3	10,98

$$S_b = \sum_1^N \frac{\Delta y_n}{N} = 0,15. \quad (4)$$

Зависимость полученных коэффициентов устанавливают сравнением с критическим значением $b_{кр}$:

$$b_{кр} = \frac{tS_b}{\sqrt{N}} = 0,16, \quad (5)$$

где t – критерий Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95 и числом степеней свободы $f=3$.

Для всех коэффициентов регрессии за исключением b_{12} соблюдено условие $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22} > b_{кр}$, следовательно, они являются значимыми. Таким образом, уравнение регрессии примет вид $y = 11,42 + 1,18 x_1 + 3,82 x_2 + 0,22 x_1^2 - 0,64 x_2^2$. (6)

Для того, чтобы использовать уравнение регрессии в расчетах, необходимо перейти от кодированных переменных к физическим. Связь между кодовым и физическим выражением фактора осуществляется по формуле

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\delta_i}. \quad (7)$$

В нашем случае имеется следующая связь между кодовым и физическим значениями факторов:

$$X_1 = \frac{x_1 - 0,13}{0,02}, \quad X_2 = \frac{x_2 - 1,75}{1,0}. \quad (8)$$

Уравнение регрессии в физических переменных принимает вид:

$$y = 4,4 + 8,4 x_1 + 6,06 x_2 - 5,5 x_1^2 - 0,64 x_2^2. \quad (9)$$

Проверка адекватности этого уравнения проводилась по критерию Фишера, исходя из оценок дисперсии воспроизводимости S_y^2 и дисперсии адекватности $S_{ад}^2$ согласно формулам [2]. Расчетное значение критерия Фишера $F_p = 3,825$ меньше табличного $F_T = 3,84$. Следовательно, уравнение регрессии считается адекватным. Графическое отображение полученного уравнения дано на рис. 1.

Уравнение регрессии, представленное в физических переменных, позволяет рассчитать прочность на сжатие получаемого из десульфогипса вяжущего при различных вариациях гидротермальной обработки в пределах проведенных исследований.

Обсуждение результатов

Анализ уравнения регрессии показывает, что величина избыточного давления при проведении

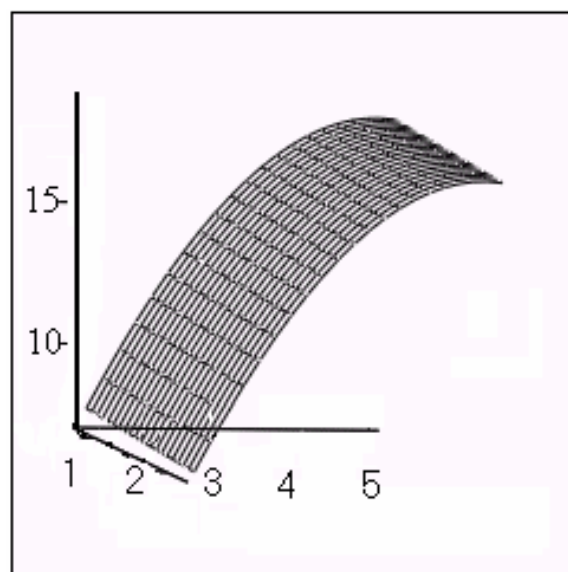


Рис. 1. Поверхность отклика.

гидротермальной обработки десульфогипса незначительно влияет на качество получаемого вяжущего (увеличение показателя прочности от 17 % до 38% в зависимости от времени выдержки), во время как влияние времени проведения гидротермальной обработки значительно в указанном интервале (увеличение показателя прочности от 90 % до 126 % в зависимости от величины давления в автоклаве). При этом, чем ниже давление в автоклаве, тем больше влияние времени изотермической выдержки, и чем меньше время изотермической выдержки, тем больше влияние давления в автоклаве.

Выводы

В результате проведенных экспериментов, исходя из требований ДСТУ к характеристикам гипсового вяжущего, были определены оптимальные параметры проведения гидротермальной обработки десульфогипса с целью получения высококачественного гипсового вяжущего: $P = 0,15 \text{ МПа}$, $\tau = 2,5 \text{ ч}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Налимов В.В.* Теория эксперимента.- М.: Наука, 1971.- 208 с.
2. *Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.- М.: Наука, 1976.- 279 с.

Получено 28.10.2004 г.