

УДК 669.054.8

В.Д. Вернигора, старший викладач, vernyhora.viktor@gmail.com
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ МИЙКИ ШЛІФУВАЛЬНОГО ШЛАМУ

Побудовано математичну модель процесу мийки шліфувального шлему в синтетичному миючому розчині. Дана модель дає можливість визначити кількість масла, яке переходить в миючий розчин.

Ключові слова: шліфувальний шлам, миючий розчин, масло, математична модель.

A mathematical model of grinding mud sink process in a synthetic washing solution was constructed. This model makes it possible to determine the amount of oil that goes into the washing solution.

Keywords: grinding sludge, cleaning solution, oil, mathematical model.

Постановка проблеми

Триваюче забруднення природного середовища твердими, рідкими і газоподібними відходами виробництва і споживання, що викликають деградацію навколишнього середовища, останнім часом залишаються найгострішою екологічною проблемою, має пріоритетне соціальне і економічне значення.

Незважаючи на успіхи в розробці і впровадженні ресурсозберігаючих технологій, у багатьох галузях промисловості триває накопичення металовмісних відходів.

На підприємствах машинобудування, особливо на підшипникових заводах, щомісяця утворюються тисячі тонн металовмісних шламів.

Особливу проблему становлять шліфувальні шлами, які є конгломератом металевих частинок з вкрапленнями абразиву, просочені МОР (мастильно-охолоджуючою рідиною), маслами. У зв'язку зі значним вмістом в шліфувальних шламах не металевих включень, масел і МОР, вони не можуть бути утилізовані без попередньої переробки.

Для того щоб якісно провести поділ твердих частинок металу і абразиву, необхідно відмити їх від масла і МОР.

Авторами [1] розроблений технологічний процес і комплексна система обладнання для вилучення металевих частинок з шламів абразивної обробки металів. Проведено дослідження процесу мийки шлему абразивної обробки металів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

З метою вирішення поставленого завдання були використані матеріали, методології і та підходи, що містяться в роботах [1—3].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є побудова математичної моделі процесу мийки шлему абразивної обробки металів.

Виклад основного матеріалу

У роботі поставлено завдання про визначення кількості мінерального мастила И-20, яке переходить у миючий розчин «Лабомід» у процесі мийки шлему абразивної обробки металів. Завдання вирішувалося знаходженням умовного мінімуму функції відгуку для кількості забруднення $G(\tau)$. Для одержання зазначеної функції проведений аналіз експериментальних даних процесу мийки шлему.

У математичній постановці задачі у якості змінних прийняті наступні фактори: M_m — кількість масла И-20 в шлам, (кг); C_p — концентрація миючого розчину (кг/м³); T — температура миючого розчину (°C); τ — час мийки шлему (сек).

Для побудови математичної моделі залежності кількості забруднення $G = f(M_m, C_p, T, \tau)$ (кг), яке переноситься з боку шламу абразивної обробки металів у миючий розчин від зазначених вище факторів використовується методика планування експерименту.

Загальна кількість досліджень у матриці центрального композиційного ортогонального плану при $\kappa = 4$ факторах складала [4,5]:

$$N = 2^{\kappa} + 2\kappa + n_0 = 2^4 + 2 \cdot 4 + 7 = 31, \quad (1)$$

де n_0 — кількість експериментів в центрі плану з нульовими координатами.

Прийняті при дослідженні рівні і інтервали варіювання факторів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Рівні і інтервали варіювання факторів

№ досліду	Фактори	Кодове по-значення	Інтервали варіювання	Рівні факторів				
				-1,414	-1	0	+1	+1,414
1	M_m — кількість масла в шламі, кг	x_1	10	105,86	100	110	120	124,14
2	C_p — концентрація миючого розчину, кг/м ³	x_2	5	7,93	10	15	20	22,07
3	T — температура миючого розчину, °С	x_3	10	20,86	25	35	45	49,14
4	(τ) — час мийки шламу, сек.	x_4	180	105,48	180	360	540	614,52

Матриця планування і результати дослідження наведені у таблиці 2.

По результатам досліджень, виконаних у відповідності з прийнятим планом експерименту, можна оцінити коефіцієнти рівняння регресії виду:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2. \quad (2)$$

Визначаємо коефіцієнти рівняння при $\kappa = 4$ по формулам [4,5]:

$$b_0 = 3,823; \quad b_1 = 0,0743; \quad b_2 = 0,4282; \quad b_3 = 0,3404; \quad b_4 = -1,036; \quad b_{12} = 0,0594; \quad b_{13} = -0,0198; \\ b_{14} = -0,0594; \quad b_{23} = 1,3035; \quad b_{24} = -0,02288; \quad b_{34} = -0,227; \quad b_{11} = 0,912; \quad b_{22} = 0,863; \quad b_{33} = 0,845; \\ b_{44} = 0,833.$$

Дисперсію S_y^2 відтворюваності визначаємо по результатам досліджень в центрі плану.

Для розрахунку S_y^2 склали додаткову таблицю (табл. 3).

Дисперсії, що характеризують помилки в визначенні коефіцієнтів рівняння регресії при $\kappa = 4$, вчислили по формулам [4,5]:

$$S^2\{b_0\} = 0,0625; \quad S^2\{b_i\} = 0,0219; \quad S^2\{b_{il}\} = 0,0394; \quad S^2\{b_{ii}\} = 0,0221.$$

Визначаємо довірчі інтервали для коефіцієнтів рівняння регресії:

$$\Delta b_0 = \pm t \cdot S\{b_0\} = \pm 0,6427; \quad \Delta b_i = \pm t \cdot S\{b_i\} = \pm 0,3801; \\ \Delta b_{il} = \pm t \cdot S\{b_{il}\} = \pm 0,51001; \quad \Delta b_{ii} = \pm t \cdot S\{b_{ii}\} = \pm 0,3816.$$

де $\pm t = 2,57$ — табличне значення критерію Стьюдента при p 'ятипроцентному рівні значимості і числом ступеню свободи $f = 5$.

Таблиця 2. Матриця планування і результати дослідів

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_4^2	y
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7,74
2	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	7,82
3	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	6,69
4	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	7,16
5	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	6,97
6	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	7,03
7	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	9,48
8	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	9,83
9	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	6,07
10	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	6,18
11	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	5,04
12	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	5,12
13	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	4,58
14	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	4,63
15	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	7,26
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7,32
17	1	1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	6,01
18	1	-1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5,85
19	1	0	1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6,25
20	1	0	-1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5,06
21	1	0	0	1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6,1
22	1	0	0	-1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5,02
23	1	0	0	0	1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4,007
24	1	0	0	0	-1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6,98
25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,761
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,018
27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,9
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,018
29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,083
30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,79
31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,018

Таблиця 3. Допоміжна таблиця для розрахунку s_y^2

Номер дослідження	y_j	\bar{y}_j	$y_j - \bar{y}_j$	$(y_j - \bar{y}_j)^2$	s_y^2
25	4,7615	$\bar{y} = \frac{\sum_{z=1}^{n_0} y_z}{n_0} = \frac{29,5985}{7} = 4,2269$	0,5346	0,28576	$s_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_0} (y_j - \bar{y}_j)^2}{n_0 - 1} = \frac{2,62536}{7 - 1} = 0,43756$
26	4,018		-0,2089	0,04365	
27	4,91		0,6731	0,45302	
28	3,018		-1,2089	1,4615	
29	4,083		-0,1439	0,02072	
30	4,79		0,5631	0,31705	
31	4,018		-0,2089	0,04365	
	$\sum_{j=1}^{n_0} y_j = 29,598$			$s_E = \sum_{j=1}^{n_0} (y_j - \bar{y}_j)^2 = 2,62536$	

Коефіцієнт b_{24} менше довірчого інтервалу, тому його можна признати статистично не значимим і виключити із рівняння регресії. Після виключення незначущого коефіцієнту, рівняння (2) прийме вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2. \quad (3)$$

Адекватність отриманої моделі перевіряємо по критерію Фішера.
Знаходимо дисперсію адекватності за формулою:

$$s_{ad}^2 = \frac{s_R - s_y}{N - \kappa - (n_0 - 1)}, \quad (4)$$

Визначаємо суму квадратів відхилень розрахункових значень \hat{y}_p функції відгуку від експериментальних y_{on} .

Для обчислення s_R складемо допоміжну таблицю 4.

Таблиця 4. Допоміжна таблиця для розрахунку s_R

Номер дослідження	y_{on}	\hat{y}_p	$y_{on} - \hat{y}_p$	$\varepsilon = \frac{y_{on} - y_p}{y_{on}} \cdot 100\%$	$(y_{on} - \hat{y}_p)^2$
1	7,74	8,5263	-0,7863	-0,10159	0,61829
2	7,82	8,7145	-0,8945	-0,11439	0,800233
3	6,69	6,6567	0,0332	0,00497	0,001105
4	7,16	7,0826	0,0773	0,010803	0,005982
5	6,97	7,0933	-0,1233	-0,0177	0,015213
6	7,03	7,2023	-0,1723	-0,02452	0,029709
7	9,48	10,437	-0,9578	-0,10104	0,917532
8	9,83	10,7846	-0,9545	-0,09711	0,911187
9	6,07	7,0263	-0,9563	-0,15755	0,914605
10	6,18	6,9769	-0,7969	-0,12895	0,635103
11	5,04	5,1567	-0,1167	0,02317	0,013639
12	5,12	5,3450	-0,2250	-0,04395	0,050638
13	4,58	4,6859	-0,1059	-0,02313	0,011225
14	4,63	4,5573	0,0726	0,015699	0,005284
15	7,26	8,0304	-0,7704	-0,10613	0,593651
16	7,32	8,1395	-0,8195	-0,11196	0,671598
17	6,01	5,7512	0,2587	0,043057	0,066962
18	5,85	5,5410	0,3089	0,05281	0,095443
19	6,25	6,1525	0,0974	0,015584	0,009487
20	5,06	4,9417	0,1182	0,023367	0,01398
21	6,1	5,9942	0,1057	0,01733	0,011176
22	5,02	5,0317	-0,012	-0,00233	0,000137
23	4,007	4,0237	-0,0168	-0,00419	0,000282
24	6,98	6,9543	0,0256	0,003678	0,000659
25	4,7615	3,8226	0,9388	0,197168	0,881374
26	4,018	3,8226	0,1953	0,04861	0,038148
27	4,9	3,8226	1,0773	0,21986	1,160608
28	3,018	3,8226	-0,8046	-0,26663	0,647518
29	4,083	3,8226	0,2603	0,063756	0,067764
30	4,79	3,8226	0,9673	0,201945	0,935699
31	4,018	3,8226	0,1953	0,04861	0,038148

$$s_R = \sum_{j=1}^{31} (y_{on} - y_p)^2 = 10,1624$$

Сумма квадратів s_E (див. табл. 3) буде дорівнювати: $s_E = 2,62536$.

Тоді дисперсія адекватності буде:

$$s_{ad}^2 = \frac{10,1624 - 2,62536}{20 - 14 - (7 - 1)} = 0,68518.$$

$$s_y^2 = 0,43756 \text{ (див. табл. 3).}$$

Критерій Фішера розраховуємо по формулі:

$$F_p = \frac{s_{ad}^2}{s_y^2}. \quad (5)$$

При розрахунку критерію Фішера повинна виконуватися умова $s_{ad}^2 > s_y^2$. В протилежному випадку необхідно поміняти місцями дисперсії [5].

Визначаємо розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_p = \frac{s_y^2}{s_{ad}^2} = \frac{0,68518}{0,43756} = 1,5659.$$

При п'ятипроцентному рівні значущості і числах ступенів свободи дисперсії адекватності $f_{ad} = N - k' - (n_0 - 1) = 31 - 14 - (7 - 1) = 11$ і дисперсії відтворюваності $f_y = n_0 - 1 = 7 - 1 = 6$, табличне значення критерію Фішера $F_T(0,05; 11; 6) = 3,09$.

Обчислені за рівнянням (3) значення відрізняються від експериментальних на величини, що не перевищують похибку досліду (табл. 4).

Кодовані значення факторів пов'язані з натуральними наступними залежностями:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{M_M - 110}{10} = 0,1M_M - 11; \\ x_2 &= \frac{C_P - 15}{5} = 0,2C_P - 3; \\ x_3 &= \frac{T - 35}{10} = 0,1T - 3,5; \\ x_4 &= \frac{\tau - 360}{180} = 0,0056\tau - 2. \end{aligned} \quad (6)$$

Переходячи від кодованих $(x_1; x_2; x_3; x_4)$ значень факторів до натуральних, $(M_M; C_P; T; \tau)$ одержимо залежність кількості забруднення G_i , що перейшло зі шламу абразивної обробки металів у миючий розчин «Лабомід» від складових (кількості масла в шлам, концентрації і температури миючого розчину, а також від часу мийки шламу).

Підставивши рівняння (6) у рівняння (3) отримуємо адекватну інтерполяційну формулу для обчислення величини G_i — кількості масла И-20, яке переходить у миючий розчин за час мийки шліфувального шламу.

Висновки

Розроблена математична модель процесу мийки шламів абразивної обробки металів в миючому розчині дозволяє визначити кількість мастила, що переходить в миючий розчин при заданих межах часу мийки. Це дозволить оптимізувати процес мийки і мінімізувати габаритні розміри (довжину) мийного жолобу обладнання для переробки шламів абразивної обробки металів.

Список використаної літератури

1. Вернигора В.Д. Извлечение металлических частиц из шламов абразивной обработки металлов / В.Д. Вернигора, А.Н. Коробочка // Збагачення корисних копалин: Наук. – техн. зб. – 2008. – Вип. 32(73). – С. 26–32.

2. Вернигора В.Д. Исследование процесса мойки твердых частиц шлама абразивной обработки металлов/ В.Д.Вернигора // Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий. Сб. науч. труд. КГМТУ. – Керчь: 2008. Вып. 9. – С. 137–140.
3. Вернигора В.Д. Исследование процесса мойки металлосодержащих шламов/ В.Д. Вернигора, А.Н. Коробочка //«Математичне моделювання». Математичні моделі та алгоритми: Науковий журнал. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2015. Випуск 1(32). – С. 52–56.
4. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов // – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
5. Блохин В.Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / В.Г. Блохин, О.П. Глудкин, А.И. Гуров, М.Л. Ханин; Под ред. О.П. Глудкина // М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.