

13. Чеховский Ю.В. Исследование структуры пор и проницаемости цементного камня: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / НИИЖБ, М., 1963.

14. Защита строительных конструкций от коррозии. Материалы координационного совещания. Под ред. В.М. Москвина и В.М. Медведева. - М.: Стройиздат. - С. 43-55. Саввина Ю.А. О проницаемости бетона.

15. Грайфер А.Г. Особенности технологии плотных бетонов применительно к сооружениям для транспорта и хранения газообразных продуктов: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / НИИЖБ, М., 1968.

16. Жук Н.Н. Специальные свойства бетонов, модифицированных серой: Дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / ОГАСиА, Одесса, 2002. - 208 с.

17. Орловский Ю.И., Жук Н.Н., Королев Е.Я., Лецевский Д. Радиационно-защитные свойства полимерсерного бетона // Материалы III научно-практического семинара: Структура, свойства и состав бетона. - Ровно, 2003. - Рівне: Видавництво Рівненського державного центру науково-технічної і економічної інформації. - С. 126-137.

18. Королев Е.А., Прошин А.П., Баженов Ю.М., Соколова Ю.А. Радиационностойкие серные строительные материалы. - М.: Палеотип, 2004. - 464 с.

19. Прошин А.П., Королев Е.А., Болтышев С.А. Сверхтяжелые серные бетоны для защиты от радиации. - Пенза: ПГАСА, 2005. - 224 с.

УДК 66.0(07)

М.Ф.Юрим, к.т.н., доц., А.В.Сибірний, к.б.н., О.-Р.В.Мартиняк, к.т.н., доц., Н.М.Гринчишин, к.с.-г.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ФОСФОГІПСУ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Процес переробки і утилізації фосфогіпсу є надзвичайно актуальною задачею багатотоннажних виробництв мінеральних добрив, на яких утворюються ці відходи. Проблема вимагає постановки великої кількості дослідів на напівпромислових і промислових установках, що в реальних умовах, вимагає величезних капітальних, енергетичних і часових затрат. Авторами був використаний і реалізований метод статистичного планування експерименту. В основі цього методу лежить використання впорядкованого плану розміщення експериментальних точок у факторному просторі і перехід до нової системи координат.

Одержані в роботі теоретичні та експериментальні дослідження можуть бути використані для практичного застосування в реальній технологічній схемі переробки надзвичайно токсичних відходів, до яких належить фосфогіпс, що забруднює всі складові частини біосфери

Процес переробки і утилізації фосфогіпсу є надзвичайно актуальною задачею багатотоннажних виробництв мінеральних добрив, на яких утворюються ці відходи. Проблема вимагає постановки великої кількості дослідів на напівпромислових і промислових установках, що в реальних умовах, вимагає величезних капітальних, енергетичних і часових затрат. Тому, авторами був використаний і реалізований так званий метод статистичного планування експерименту [1]. В основі цього методу лежить використання впорядкованого плану розміщення експериментальних точок у факторному просторі і перехід до нової системи координат.

Далі задача зводилась до пошуку оптимальних умов, при яких можливо отримати максимальне прискорення процесу переробки фосфогіпсу. Для цього було проведено

центральне композиційне рототабельне уніформ-планування другого порядку постановки експериментів і оцінки результатів дослідів.

Досліди проводились з кулястими частинками фосфогіпсу на експериментальній установці, яка детально описана в деклараційному патенті на корисну модель «Пристрій для хімічного розчинення фосфогіпсу» [2]. Розмір частинок знаходився в межах $(2...14) \cdot 10^{-3}$ м, температура робочої рідини в діапазоні 293-313 К.

В якості незалежних перемінних були вибрані такі основні параметри, які впливають на величину коефіцієнта масовіддачі в указаних умовах: амплітуда пульсацій рідини (X_1), діаметр частинок фосфогіпсу (X_2), температура робочого середовища (X_3).

Інтервали зміни і кодовані значення основних перемінних приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Інтервали зміни і кодовані значення незалежних перемінних

	$X_1 \cdot 10^3$, м	$X_2 \cdot 10^3$, м	X_3 , К	Код
Основний рівень	6,5	8	303	0
Інтервал зміни	0,892	3,57	278,97	-
Верхній рівень	6,892	11,57	308,87	+1
Нижній рівень	5,108	4,43	297,03	-1
Верхній рівень зіркових точок	8,0	14,0	313	+1,682
Нижній рівень зіркових точок	5,0	2,0	293	-1,682

Параметром оптимізації є коефіцієнт масовіддачі Y .

Матриця планування і результати експериментальних досліджень приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Матриця планування для трьох перемінних

Номер	X_0	X_1	X_2	X_3	$Y_{екс} \cdot 10^3$	$\bar{Y}_r \cdot 10^3$
1	+1	-1	-1	-1	8,009	7,57
2	+1	+1	-1	-1	6,46	6,62
3	+1	-1	+1	-1	6,43	6,38
4	+1	+1	+1	-1	6,61	6,79
5	+1	-1	-1	+1	8,68	8,50
6	+1	+1	-1	+1	8,67	8,72
7	+1	-1	+1	+1	8,96	8,79
8	+1	+1	+1	+1	9,95	10,37
9	+1	-1,682	0	0	7,01	7,50
10	+1	+1,682	0	0	8,50	8,03
11	+1	0	-1,682	0	7,83	8,08
12	+1	0	+1,682	0	8,69	8,47
13	+1	0	0	-1,682	5,803	5,89
14	+1	0	0	+1,682	9,76	9,63
15	+1	0	0	0	7,84	7,54
16	+1	0	0	0	7,73	7,54
17	+1	0	0	0	7,37	7,54
18	+1	0	0	0	7,21	7,54
19	+1	0	0	0	7,79	7,54
20	+1	0	0	0	7,24	7,54

При обробці результатів за методикою [3, 4, 5, 6, 7] на комп'ютері одержали рівняння регресії другого порядку, яке адекватно описує залежність коефіцієнта масовіддачі від досліджуваних параметрів:

$$Y = 0,007532 + 0,0001567X_1 + 0,000115X_2 + 0,00112X_3 + 0,00034X_1 \cdot X_2 + 0,000292X_1 \cdot X_3 + 0,000371X_2 \cdot X_3 + 0,0000833X_1^2 + 0,00026X_2^2 + 0,0000915X_3^2 \quad (1)$$

Залишкова дисперсія для рівняння (1) дорівнює:

$$S_{\text{зал}}^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2 / (N - l) \quad (2)$$

де $S_{\text{зал}}^2 = 0,2891 \cdot 10^{-6}$,

Дисперсія відтворення становить:

$$S_{\text{відтв}}^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i^0 - \bar{Y}_i^0)^2 / (m - 1) \quad (3)$$

де $S_{\text{відтв}}^2 = 0,082 \cdot 10^{-6}$,

Y_i – значення i -го параметру оптимізації одержане із матриці планування експерименту, таблиця 2;

\bar{Y}_i – значення i -го параметру оптимізації одержаного з рівняння (1);

N – число дослідів в матриці планування (таблиця 2);

l – число значимих коефіцієнтів у рівнянні регресії (1);

Y_i^0 – значення i -го параметру оптимізації в серії паралельних дослідів;

\bar{Y}_i^0 – середнє значення i -го параметру оптимізації із числа паралельних дослідів;

m – число паралельних дослідів.

$Y_{\text{екс}}$ – експериментальні значення функцій відклику;

\bar{Y}_T – теоретичні значення функцій відклику, одержані на основі рівняння (1).

Значимість коефіцієнтів рівняння (1) визначалась за t_j – критерієм Ст'юдента [4, 5, 7], який розраховували за допомогою такої залежності:

$$t_j = \frac{|b_j|}{Sb_j} \quad (4)$$

де, b_j – значення j -го коефіцієнта рівняння регресії (1);

$$Sb_j = S_{\text{відтв}}^2 / N \cdot m \quad (5)$$

де $S_{\text{відтв}}^2$ – дисперсія відтворення, розрахована за рівнянням (3);

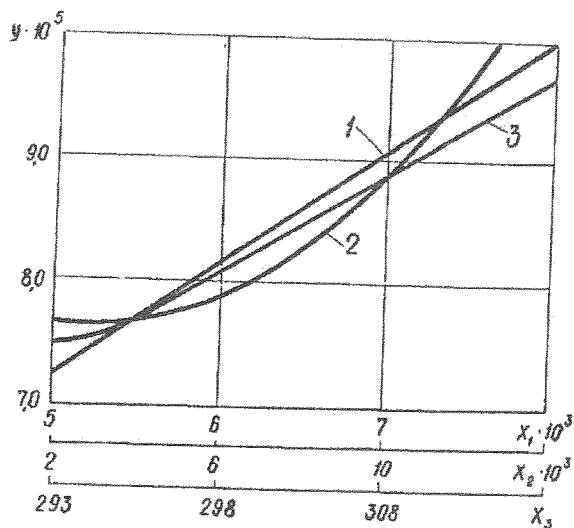
N – число дослідів у матриці планування (таблиця 2);

m – число паралельних дослідів у матриці планування (таблиця 2).

Перевірка значимості коефіцієнтів рівняння (1) за t_j – критерієм Ст'юдента показала, що всі включені фактори суттєво впливають на кінетику розчинення фосфогіпсу.

Аналіз рівняння регресії (1) дозволив зробити висновок, що найбільш суттєвий вплив на кінетику розчинення фосфогіпсу має амплітуда коливань рідкої фази та її температура. Знайдена залежність коефіцієнта масовіддачі від діаметра частинок фосфогіпсу.

Вплив окремих параметрів процесу на кінетику розчинення фосфогіпсу вивчався методом січення поверхонь відклику за окремими параметрами [5, 6]. Залежності коефіцієнта масовіддачі від окремих параметрів при фіксації решти на окремому рівні одержані розрахунковим шляхом за рівнянням регресії (1) і приведені на рисунку 1.



$1 - Y = f(X_1);$
 $2 - Y = f(X_2);$
 $3 - Y = f(X_3);$
 $Y, \text{ м/с};$
 $X_1, \text{ м};$
 $X_2, \text{ м};$
 $X_3, \text{ К}.$

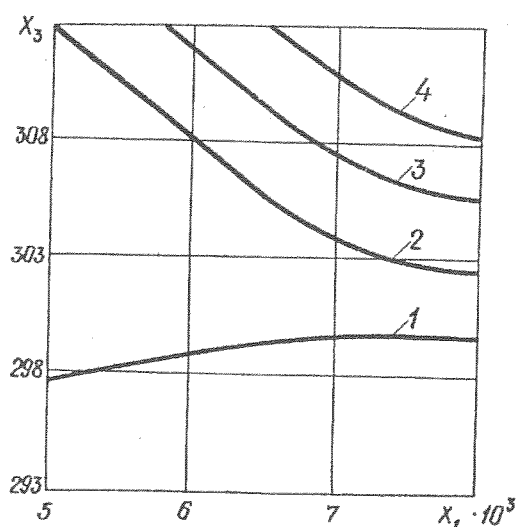
Рис. 1. Залежність коефіцієнта масовіддачі Y від амплітуди коливань рідини X_1 , діаметра частинок X_2 і температури рідкого середовища X_3

Як бачимо, підвищення температури робочої рідини, амплітуди коливань її, а також збільшення діаметра частинок фосфогіпсу призводить до збільшення коефіцієнта масовіддачі, а значить і швидкості процесу розчинення фосфогіпсу в конкретному випадку його реалізації.

Важливою задачею було в'яснити можливість збільшення коефіцієнта масовіддачі при зміні амплітуди коливань рідини і її температури при постійному діаметрі частинок фосфогіпсу. Розв'язок задачі проводився методом січення поверхонь відклику за окремими характеристиками [5, 6].

Розрахунок проводили на комп'ютері при постійному коефіцієнті масовіддачі і постійному діаметрі частинок фосфогіпсу. Результати приведені на рисунку 2.

Із рисунка видно, що для підтримування постійності коефіцієнта масовіддачі, необхідне збільшення амплітуди коливань рідини та зниження її температури і дозволяють визначити, як необхідно міняти ці параметри для одержання необхідного коефіцієнта масовіддачі.



$1 - Y = \text{const} = 9 \cdot 10^{-5}, \text{ м/с}$
 $2 - Y = \text{const} = 9,5 \cdot 10^{-5}, \text{ м/с}$
 $3 - Y = \text{const} = 10 \cdot 10^{-5}, \text{ м/с}$
 $4 - Y = \text{const} = 10,5 \cdot 10^{-5}, \text{ м/с}$
 $Y, \text{ м/с};$
 $X_1, \text{ м};$
 $X_2 = \text{const} = 0,002 \text{ м};$
 $X_3, \text{ К};$

Рис. 2. Залежність коефіцієнта масовіддачі Y від амплітуди коливань рідини X_1 і її температури X_3

Для визначення умов, які дозволяють одержати максимальний коефіцієнт масовіддачі був використаний метод крутого сходження по градієнту [4, 5, 6, 7]. Цей метод був запропонований американськими вченими Боксом і Вільсоном у 1951 р. як послідовний кроковий пошук оптимуму по поверхні відклику у напрямі градієнта. Це такий рух у факторному просторі у напрямі градієнта, коли переміщення від точки до точки супроводжується одночасною зміною усіх факторів планування експерименту. Таким чином, цей рух по поверхні відклику у напрямі градієнта є рухом по найкоротшому і найкрутішому шляху. На основі плану факторного експерименту проведено експеримент на невеликій ділянці поверхні відклику, яку розглядаємо як площину. Тоді на основі одержаних результатів, знаходимо адекватне лінійне рівняння регресії як рівняння цієї лощини, а з нього визначаємо напрям, у якому треба рухатися до точки оптимального значення функції на поверхні відклику. Теоретично для функції $F = f(X_1, X_2, \dots, X_r)$ градієнт можна записати у вигляді наступної залежності:

$$\Delta F = \frac{\partial \varphi}{\partial X_1} i + \frac{\partial \varphi}{\partial X_2} j + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial X_R}, \quad (6)$$

де i, j, \dots, R - однакові вектори.

Для проведення в роботі досліджень локальна поверхня відклику описується лінійною залежністю виду:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_R X_R \quad (7)$$

Тоді частинні похідні параметра оптимізації по відповідних змінних записуються у вигляді наступних залежностей:

$$\frac{\partial Y}{\partial X_1} = b_1; \quad \frac{\partial Y}{\partial X_2} = b_2; \quad \frac{\partial Y}{\partial X_R} = b_R \quad (8)$$

Після підстановки одержаних значень частинних похідних із рівнянь (8) у вираз (6) для градієнта і вважаючи, що одиничні вектори i, j, R дорівнюють інтервалу зміни відповідного фактора ΔX_i , одержимо рівняння:

$$\Delta Y = b_1 \Delta X_1 + b_2 \Delta X_2 + \dots + b_R \Delta X_R \quad (9)$$

Таким чином, рух по поверхні відклику методом крутого сходження здійснюємо пропорційно до коефіцієнтів регресії з урахуванням їхнього знака та інтервалу зміни відповідних факторів ΔX_i . Очевидно, що величина кроку повинна бути тим більшою, чим більша абсолютна величина градієнта.

Для оцінки параметра оптимізації у вибраних точках було проведено ряд дослідів. В окремих точках поверхні відклику визначення параметра оптимізації проводили шляхом обчислення його за рівнянням регресії (1).

Такий послідовний рух по поверхні відклику здійснювали доти, доки спостерігалось поліпшення параметра оптимізації і подальший рух по поверхні відклику приводив до його поширення, потім завершували дослідження і переходили до більш детального аналізу області оптимуму і її опису поліномами вищих порядків.

Використаний в роботі метод крутого сходження по градієнту в порівнянні з іншими методами оптимізації, наприклад, методом Гауса – Зейделя має суттєву перевагу, тому, що шлях, який необхідно пройти для дослідження області оптимуму, суттєво скорочується. Одночасно метод має деякі недоліки, які полягають в тому, що при зміні поверхні відклику необхідно змінювати напрям руху, а це потребує проведення додаткових дослідів.

Крім того, метод крутого сходження по градієнту можна використовувати лише для пошуку локального оптимуму.

Одержаний оптимальний режим процесу розчинення фосфогіпсу в пристрої [2], приведений в таблиці 3.

Таблиця 3

Оптимальний режим процесу розчинення фосфогіпсу

Коефіцієнт масовіддачі $Y, \text{ м/с}$	Амплітуда коливань рідини $X_1 \cdot 10^3, \text{ м}$	Діаметр частинок фосфогіпсу $X_2 \cdot 10^3, \text{ м}$	Температура рідкої фази $X_3, \text{ К}$
12,5	7,2	14,0	312,6

Отже, одержані в роботі теоретичні та експериментальні дослідження можуть бути використані для практичного застосування в реальній технологічній схемі переробки надзвичайно токсичних відходів, до яких належить фосфогіпс, який забруднює всі складові частини біосфери.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Солтис М. М., Загордонський В. П. Теоретичні основи процесів хімічної технології. – Львів: Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2003. – 340 с.
2. Малик Ю.К., Юрим М.Ф., Гумницький Я.М., та ін. Пристрій для хімічного розчинення фосфогіпсу. Деклараційний патент на корисну модель № 19571, 2006, Бюл. № 12. - 42 с.
3. Рудавський Ю.К., Мокрий Є.М., Піх З.Г. та ін. Математичні методи в хімії та хімічній технології. – Львів: Світ, 1993. – 206 с.
4. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1985. – 340 с.
5. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. – Л.: Химия, 1988. – 820 с.
6. Ахназарова С.А. Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, 1978. – 318 с.
7. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. К.: Вища школа, 1973 – 279 с.
8. Астрелін І.М., Запольський А.К., Супрунчук В.І. та ін. Теорія процесів виробництва неорганічних речовин. – К.: Вища школа, 1992. – 397 с.

УДК 621.394.147.3 + 519.711.3

Я.Ю. Варецький, к. т. н., м. н. с. (ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України)
А.О. Ігнатович (Національний університет "Львівська політехніка")

**МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КОРИСТУВАЧА
ІЗ СИСТЕМОЮ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ**

Стаття присвячена проблемі застосування біометричних ознак людини у системах криптографічного захисту. Для цього створено математичну модель взаємодії користувача із системою захисту, яка дозволила врахувати особливості біометричних даних, а саме нечіткість і стабільність

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток обчислювальної техніки та розвиток телекомунікаційних мереж веде до необхідності створення систем безпечного зберігання та