

**УДК 622.794:622.765.55**

Білецький В.С., доктор технічних наук,  
Сергеев П.В., доктор технічних наук,  
Павлов Д.В. магістр  
Донецький національний технічний університет

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ВУГІЛЬНОГО АГЛОМЕРАТУ ЦЕНТРИФУГУВАННЯМ**

*Стаття присвячена дослідженню процесу інтенсивного зневоднення дрібнодисперсних матеріалів шляхом поєднання центрифугування з попередньою гідрофобізацією природно гідрофобного матеріалу (вугілля) та селективною агрегацією тонких фракцій. Дослідження виконано методом планування експерименту для чого вибраний центральньо-композиційний рототабельний план другого порядку для чотирьох факторів.*

*Ключові слова: зневоднення, гідрофобний матеріал, вугілля, масляний агломерат, математичне моделювання, планування експерименту.*

*Статья посвящена исследованию процесса интенсивного обезвоживания мелкодисперсных материалов путем сочетания центрифугирования с предыдущей гидрофобизацией естественно гидрофобного материала (уголь) и селективной агрегацией тонких фракций. Исследование выполнено методом планирования эксперимента для чего выбран центральньо-композиционный рототабельный план второго порядка для четырех факторов.*

*Ключевые слова: обезвоживание, гидрофобный материал, уголь, масляный агломерат, математическое моделирование, планирование эксперимента.*

Підвищення ефективності механічного зневоднення вугілля, що передається гідравлічним транспортом, можливе шляхом застосування нових комплексних технологій, що поєднують операції механічного зневоднення і фізико-хімічної обробки вугільної поверхні, наприклад, технології масляної агрегації. Остання забезпечує, по-перше, гідрофобізацію вугільної поверхні, і, по-друге, структурування тонкодисперсного вугілля у водному середовищі в агломератигранули за допомогою масляних реагентів. В основі цих процесів лежить механізм адгезійної взаємодії олеофільної вугільної поверхні з маслами, в результаті

якого досягається її селективне змочування і агрегування в турбулентному потоці води [1-6].

Ефект зневоднення вугілля при його пелетуванні пояснюється як результат адгезійних взаємодій на межі розділу фаз вугілля-зв'язуюче і аутогезійних контактів зерен та мікрогранул по поверхневих плівках зв'язуючого, які приводять до витіснення гідратної плівки з вугільної поверхні та об'єму гранули. Другу основну операцію процесу масляної грануляції, – зневоднення агломератів, – здійснюють на відсаджувальних центрифугах.

Зневоднення вугілля із застосуванням процесів центрифугування та масляної агрегації, як показали дослідження і практика вуглезбагачення, особливо перспективні у схемах підготовки вугілля до коксування (приклад – Губахінський КХЗ) та для вирішення задачі зневоднення гідравлічно транспортованого вугілля. Досягнута при цьому вологість – 10-11% є кондиційною і практично виключає необхідність термосушіння, яке є одним з найбільш дорогих процесів технологічного ланцюга збагачення вугілля, крім того, екологічно брудним та пожежонебезпечним [1].

Мета цієї роботи – дослідження процесу зневоднення дрібнодисперсного вугілля поєднанням процесів “центрифугування – масляна агломерація” із застосуванням методу планування експерименту та одержання і аналіз математичних моделей процесу зневоднення.

Для одержання регресійної моделі досліджуваного процесу використано центрально-композиційний рототабельний план другого порядку для чотирьох факторів, вибраних на основі попередніх досліджень: зовнішня питома поверхня вугілля  $S_b$ , витрата зв'язуючої речовини  $Q_{зв}$ , фактор Фруда  $F_r$ , тривалість центрифугування  $t_c$ . Фактори та границі їх варіювання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Фактор	Код фактора	Одиниця вимірювань	Рівні факторів		
			-1	0	+1
Зовнішня питома поверхня вугілля, $S_b$	$X_1$	см <sup>2</sup> /г	1000	1500	2000
Витрата зв'язуючої речовини, $Q_{зв}$	$X_2$	%	2,5	4,0	5,5
Фактор Фруда, $F_r$	$X_3$		400	700	1000

Тривалість центрифугування, $t_{ц}$	$X_4$	$c$	3	5	7
-------------------------------------	-------	-----	---	---	---

Об'єктом досліджень була грануляційна речовина, одержана з вугілля марки Г крупністю 0-2 мм, зольністю 10,2% і топкового мазуту марки М100.

Експериментальна область факторного простору:  $S_{п} = 1000-2000 \text{ м}^2/\text{г}$  (що відповідає зміні крупності вихідного вугілля від 6-0 мм до 1-0 мм),  $Q_{зв} = 2,5-5,5 \text{ мас.}\%$ ,  $F_r = 400-1000$ ,  $t_{ц} = 1-5 \text{ с}$ . Цільова функція – вологість  $W_a^r$  зневоднених центрифугуванням агрегатів. Розробка плану експерименту, визначення значущості коефіцієнтів моделі та її аналіз виконані за допомогою комп'ютерної програми Statgraphics. Одержаний поліном має вигляд:

$$W = 18,75 + 4,025 \cdot X_1 - 1,883 \cdot X_2 - 0,5583 \cdot X_3 - 0,3750 \cdot X_4 - 1,185 \cdot X_1^2 - 0,2229 \cdot X_2^2 - 0,2479 \cdot X_4^2$$

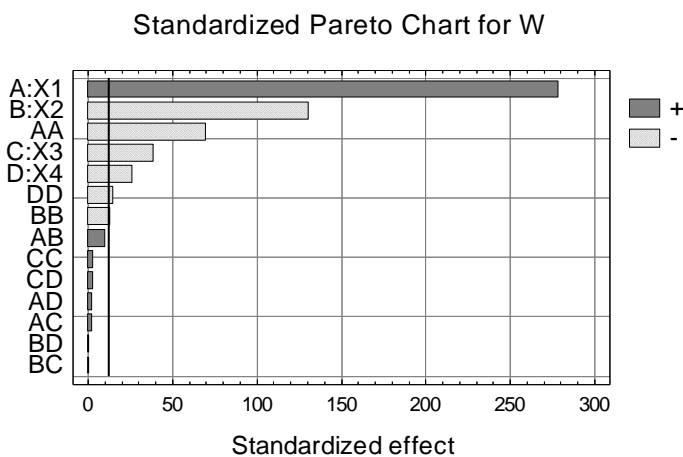


Рис.1 Значимість коефіцієнтів моделі (парето-графік). Вертикаль відповідає 95% значимості.

продукту має зовнішня питома поверхня вугілля  $S_b$ . Інші фактори впливають на цільову функцію значно менше.

На парето-графіку показано характер впливу факторів та ефектів їх взаємодій на вологість  $W_b^r$ . При цьому виділено фактори і ефекти – складові регресії, які знижують вологість зневодненого вугілля (гістограми зі знаком “-“) і збільшують її (гістограми зі знаком “+“).

Коефіцієнти моделі наведено в нормованому вигляді. Модель адекватна процесу, що досліджується. Про це свідчить високе значення коефіцієнта детермінації ( $R^2 = 99,01 \%$ ). На рис. 1 подано стандартизований парето-графік, згідно якого коефіцієнти A, B, AA, C, D, BB і DD статистично значимі. Найбільший вплив на вологість зневодненого

На рис. 2 подані часткові тривимірні перетини гіперповерхні цільової функції  $W_a^r(S_B, Q_{3B})$  і  $W_a^r(F_r, t_{ц})$ . На рис. 3 наведені контурні криві цих гіперповерхонь.

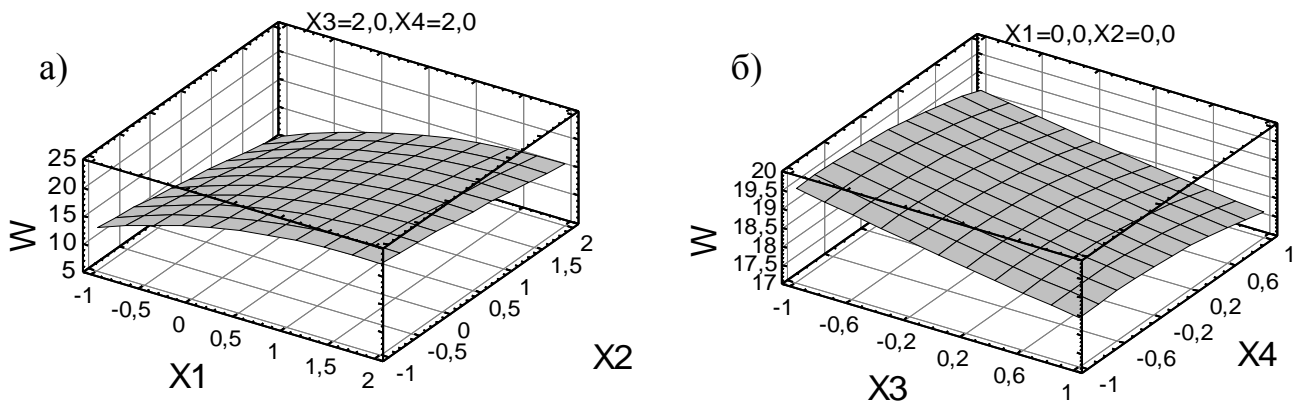


Рис.2 Часткові тривимірні перетини гіперповерхні цільової функції:  
 а -  $W_a^r(S_B, Q_{3B})$ ; б -  $W_a^r(F_r, t_{ц})$

Як видно з наведених рис. 2 і 3, зростання зовнішньої питомої поверхні вугілля  $S_B$  в діапазоні значень факторного простору приводить до суттєвого збільшення вологості зневоднюваних вугільно-масляних агрегатів. При цьому спостерігається спочатку різке збільшення  $W_B^r$  в діапазоні значень  $S_B$  від  $-1$  до  $0,5$  ( $1000-1750 \text{ см}^2/\text{г}$ ), подальше збільшення  $S_B$  понад  $1750 \text{ см}^2/\text{г}$  значно менше

впливає на цільову функцію.

Крива  $W_a^r(S_B)|_{S_B>2000}$  виположується. Позитивний ефект від зростання витрат зв'язуючого та збільшення фактору Фруда носить рівномірний неекстремальний характер в даному факторному просторі. Час перебування матеріалу у центрифугі порівняно менше впливає на його вологість.

Аналіз ефектів парних взаємодій факторів показує, що воло-

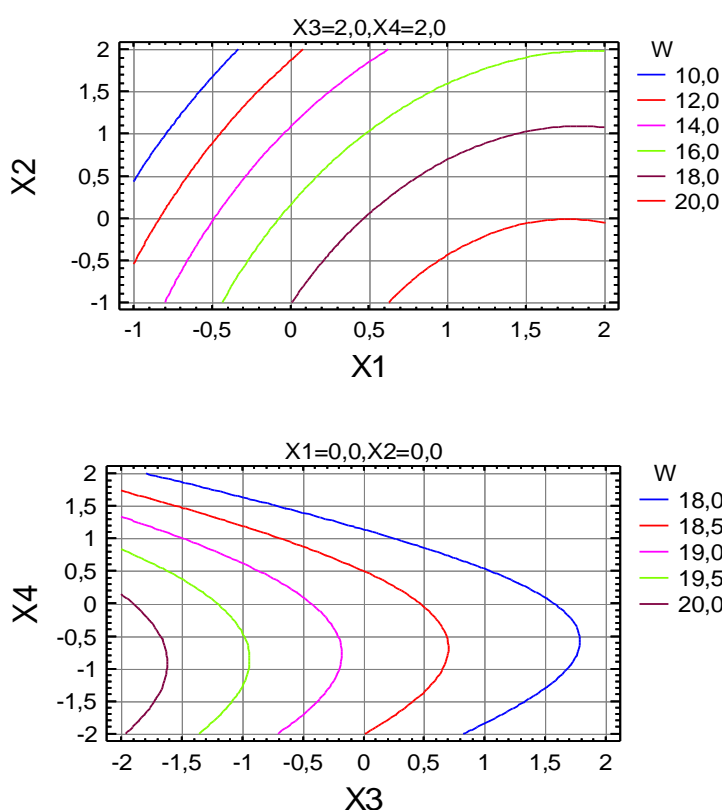


Рис. 3. Контурні криві гіперповерхонь

гість досягає мінімальних значень при поєднанні значення витрат реагенту-зв'язуючого більше 4 мас.% та зовнішньої поверхні вугілля близької до точки “-1” матриці планування експерименту.

## Висновки

1. Встановлено, що в процесі зневоднення вуглемаляного агломерату центрифугуванням за значимістю впливу на вологість зневодненого матеріалу фактори розташовуються у такій послідовності: питома зовнішня поверхня вихідного вугілля, витрата масла-зв'язуючого в процесі агрегації вугілля, фактор Фруда центрифуги, тривалість центрифугування.

2. Одержана математична модель процесу зневоднення вугільного агломерату може бути використана для поглибленого дослідження впливу на процес зневоднення центрифугуванням обраних варіативних факторів, а також для прогнозування вологості кеку центрифуг при зневодненні вугільного агломерату.

В подальшому доцільно встановити раціональні режимні параметри центрифугування для окремих марок вугілля та в залежності від характеристик вуглемаляного агломерата, зокрема виду реагента-гідрофобізатора. Крім того, вельми цікавим є розширення сфери застосування способу поєднання факторів механічного впливу і реагентної гідрофобізації та агрегування тонкодисперсних класів зневоднюваної твердої фази на гідрофобні рудні мінерали.

## Література

1. Харада Т., Мацуо Т. Агломерація у рідинах// Ніхон Когьо Кайсі. - 1982. - № 1134, С. 714-722.
2. Білецький В.С., Сергеев П.В., Папушин Ю.Л. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля. – Донецьк: Грань, 1996, 264 с.
3. Shrauti S.M., Arnold D. W. Recovery of waste fine coal by oil agglomeration // Fuel, 1995, 74 , № 3, p. 454-465.

4. Tovas D. Wheelock ea. The role of air in oil agglomeration of coal at a moderate shear rate// Fuel, 1994, v. 73, № 7. p. 1103-1107.

5. Vega V.G. ea. Selective agglomeration of high rank coals with vegetable oils // 8 th Int. Conf. on coal Science. Oviedo. Spain, 10-12 September 1995. p. 296-297.

6. Сергеев П.В., Білецький В.С. Селективна флокуляція вугілля. – Донецьк:ДонНТУ, УКЦентр, 199. – 136 с.