

УДК 622.794:622.765.55

Білецький В.С., доктор технічних наук,
Сергєєв 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 $t_{ц}$. 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	$\text{см}^2/\text{г}$	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:

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

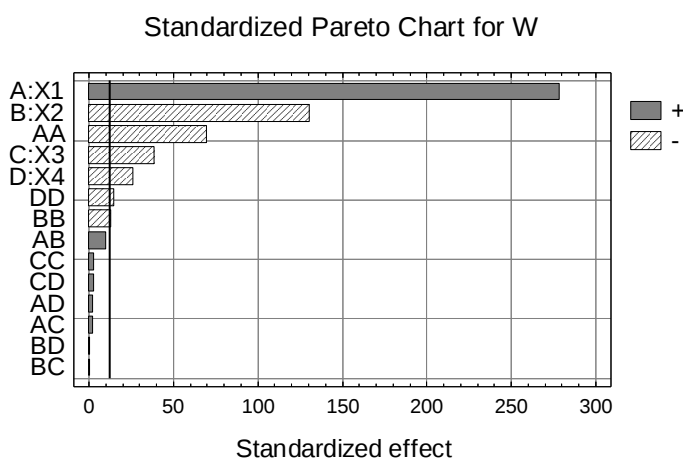


Рис.1 Значимість коефіцієнтів моделі (парето-графік). Вертикаль відповідає 95% значимості.

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

продукту має зовнішня питома поверхня вугілля S_v . 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 “+“).

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.

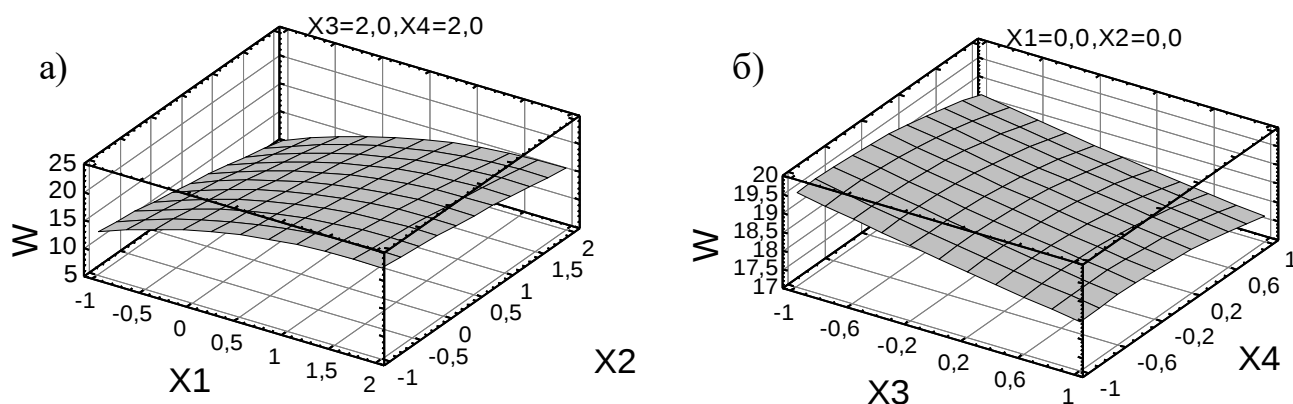


Рис.2 Часткові тривимірні перетини гіперповерхні цільової функції:
а - $W_a^r(S_B, Q_{3B})$; б - $W_a^r(F_r, t_{ц})$

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-

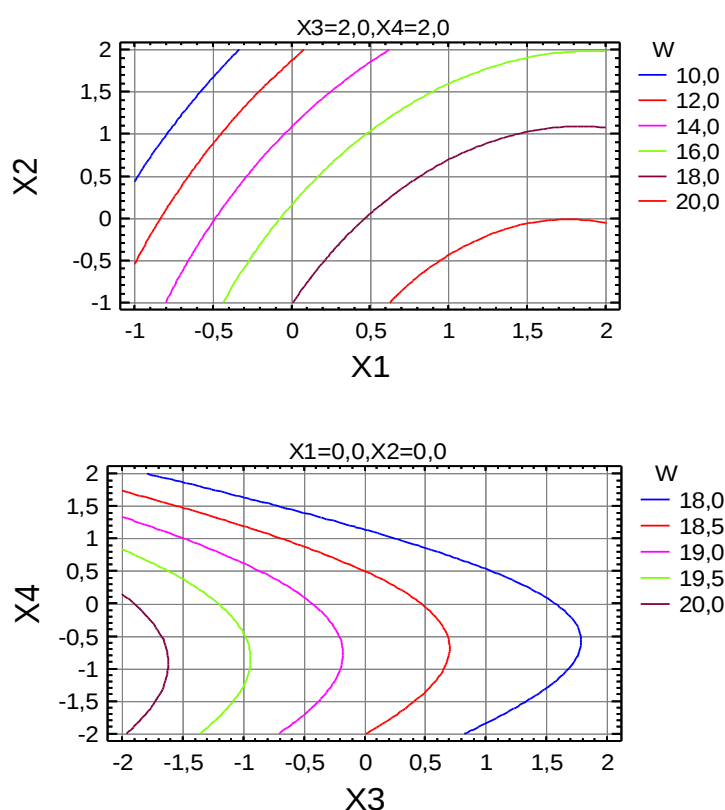


Рис. 3. Контурні криві гіперповерхонь

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 вуглемасляного 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 вуглемасляного 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.