

УДК 622.794

**Ю.К. ГАРКУШИН**, канд. техн. наук

(Україна, Донецьк, ГП "Углекачество"),

**П.В. СЕРГЄЄВ**, канд. техн. наук,

**В.С. БІЛЕЦЬКИЙ**, д-р техн. наук

(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет)

## ФІЗИКО-ХІМІЧНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ НА ВІДСАДЖУВАЛЬНИХ ЦЕНТРИФУГАХ

Зневоднення вугільних шламів та дрібнодисперсних концентратів – традиційно проблемне питання вуглезбагачення, якому присвячено низку робіт [1–2]. Подальший розвиток і вдосконалення механічних методів зневоднення йде шляхом модернізації конструкцій апаратів та інтенсифікації власне технологій зневоднення, зокрема фізико-хімічними добавками [3]. Разом з тим великий масив одержаних раніше емпіричних даних майже не оброблений із застосуванням статистичних методів, з використанням сучасних комп'ютерних програм. Це суттєво знижує можливість теоретичного узагальнення експериментальних даних. У [4] із застосуванням програмного пакета "Statgraphics" виконані дослідження процесу фізико-хімічної інтенсифікації зневоднення вугільних флотоконцентратів фільтрацією. Метою даної роботи дослідженні з використанням зазначеного програмного пакета процесу зневоднення вугільних шламів на відсаджувальних центрифугах.

Для розробки регресійної моделі застосовано рототабельний центрально-композиційний план експерименту, який забезпечує однакову точність моделі у всьому гіперпросторі [5].

Було реалізовано повний факторний експеримент типу  $2^4$  із зірковими точками. Як вихідний матеріал використано вугільні шлами крупністю 0–3 мм двох марок донецького вугілля: марки ДГ ш. "Південно-Донбаська №1" і марки П ш. "Комсомолец Донбасу".

За цільову функцію прийнято вологість шламів після зневоднення  $W$  (%). Фактори, які варіювалися:

- вміст у шламі класу – 0,074 мм ( $X_1$ );
- зольність шламу ( $X_2$ );
- фактор розділення (число Фруда) ( $X_3$ );
- витрати реагента-інтенсифікатора ( $X_4$ ).

Останній нами прийнято за раціональну композицію реагентів-інтенсифікаторів, визначену в роботі [6]. У разі вугілля марки ДГ застосована двокомпонентна суміш "гас + дизпаливо" при співвідношенні компонентів 50:50, а у випадку вугілля марки П – трикомпонентна композиція "гас + дизпаливо + реагент ААР"

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

у співвідношенні 8:38:54.

Процес зневоднення шламу моделювався на лабораторній центрифугі типу ЦЛС-3, ротор якої був обладнаний спеціальними склянками для реалізації процесу відсаджувального центрифугування.

Гідросуміш перед зневодненням готували у мішалці імпелерного типу, куди додавали необхідну, згідно з планом експерименту, кількість реагенту. Тривалість агітації гідросуміші у мішалці становила 2 хв, тривалість же центрифугування при заданому факторі Фруда – 8 с, що за даними ХПД достатньо для стабілізації вологості осаду.

Експериментальна область факторного простору наведена в таблиці.

*Таблиця*

Фактор	Код фактору	Одиниці виміру	Рівень фактора				
			-2	-1	0	+1	+2
Вміст класу -0,074 мм	X <sub>1</sub>	%	5	15	25	35	45
Зольність шламу	X <sub>2</sub>	%	30	35	40	45	50
Число Фруда	X <sub>3</sub>	–	400	600	800	1000	1200
Витрати реагенту	X <sub>4</sub>	г/т	0	100	200	300	400

Розробка плану, розрахунок коефіцієнтів моделі, визначення рівня їх значимості, графічний аналіз поверхонь відгуку здійснювалися за допомогою засобів програми "Statgraphics".

Проаналізуємо одержані результати.

1. Зневоднення вугілля марки ДГ.

З парето-графіка (рис. 1) вплива, що значуще – всі коефіцієнти при X<sub>i</sub>, а також квадратичні члени X<sub>i</sub><sup>2</sup> за винятком X<sub>4</sub><sup>2</sup>. Крім того, такими є коефіцієнти при X<sub>1</sub>·X<sub>3</sub>, X<sub>3</sub>·X<sub>4</sub>. З урахуванням цього модель має вигляд

$$\begin{aligned}
 W = & 29,55 + 1,2125 \cdot X_1 + 0,429167 \cdot X_2 - 1,00417 \cdot X_3 - 0,720833 \cdot X_4 + \\
 & + 0,432292 \cdot X_1^2 + 0,48125 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,242708 \cdot X_2^2 + 0,469792 \cdot X_3^2 + \\
 & + 0,31875 \cdot X_3 \cdot X_4.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

# Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

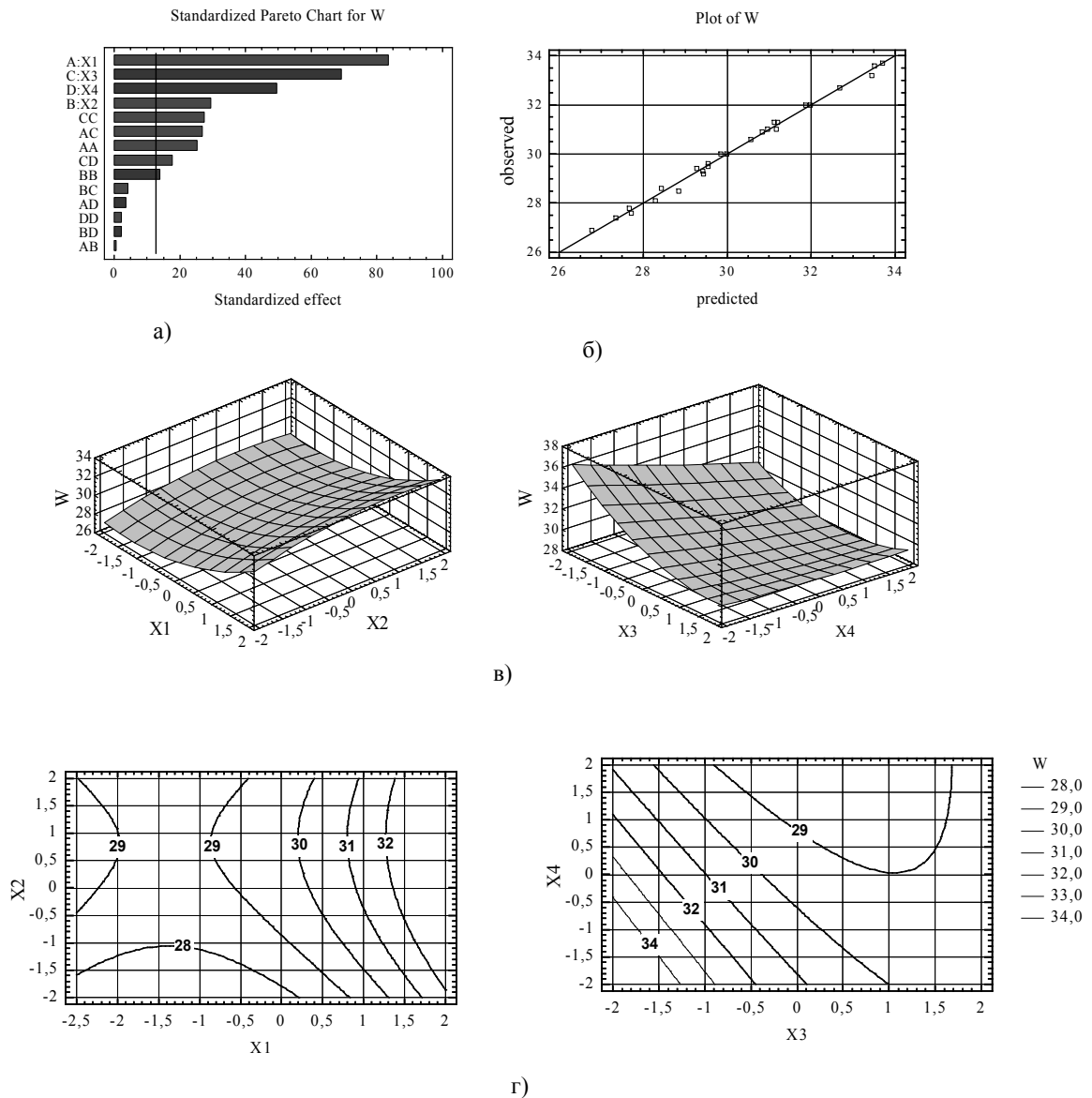


Рис.1 Результати аналізу рівняння регресії (1) процесу зневоднення вугілля марки ДГ:  
 а – парето-графік (вертикальна лінія відповідає 95% значущості коефіцієнтів моделі);  
 б – графік порівняння розрахункових (predicted) і експериментальних (observed) даних;  
 в – тривимірні перетини функції відгуку;  
 г – контурні криві поверхні відгуку.

Рис.1. Результати аналізу рівняння регресії (1) процесу зневоднення вугілля марки ДГ:  
 а – парето-графік (вертикальна лінія відповідає 95% значущості коефіцієнтів моделі);  
 б – графік порівняння розрахункових (predicted) та експериментальних (observed) даних;  
 в – тривимірні перетини функції відгуку;  
 г – контурні криві поверхні відгуку

Адекватність регресійної моделі підтверджена високим значенням коефіцієнта детермінації  $R^2 = 99,45 \%$  та показника втрат узгодженості функції

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

Lack-of-fit  $P = 0,2359$  (що значно більше критичного значення;  $P_k = 0,05$ ).

На рис. 1б проілюстровано взаємозв'язок одержаних (observed) і розрахункових (predicted) даних. Більшість експериментальних точок – в околі прямої.

Як видно з рівняння (1) та парето-графіка, найбільш значимий серед досліджених – фактор  $X_1$  "вміст класу – 0,074 мм". З рис. 1в, г виходить: зі збільшенням  $X_1$  спостерігається помітне нелінійне зростання вологості осаду, що повністю відповідає теоретичним уявленням і досвіду механічного зневоднення тонких вугільних шламів відсаджувальним центрифугуванням.

Аналогічний, але менший вплив на вологість осаду має фактор  $X_2$  "зольність шламу".

Фактори  $X_3$  і  $X_4$  відзначаються протилежний вплив на вологість осаду (рис. 1в, г). При цьому найбільше на зниження вологості впливає зростання Фактору Фруда. Ця залежність суттєво нелінійна.

Фактор  $X_4$  "витрати реагенту" найбільше впливає на вологість осаду при відносно невеликих значеннях числа Фруда. При збільшенні  $F_r \geq 1000-1200$  вплив фактора  $X_4$  неістотний.

### 2. Зневоднення вугілля марки П.

Процес зневоднення цього вугілля описаний такою моделлю:

$$W = 25,55 + 1,20417 \cdot X_1 + 0,454167 \cdot X_2 - 0,895833 \cdot X_3 - 0,5125 \cdot X_4 + 0,357292 \cdot X_1^2 + 0,29375 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,23125 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,0947917 \cdot X_2^2 + 0,194792 \cdot X_3^2 + 0,18125 \cdot X_3 \cdot X_4 \quad (2)$$

Як і в попередньому випадку (див. рис. 2а), значущими є коефіцієнти всіх факторів при лінійних членах рівняння і квадратичних (за винятком  $X_4^2$ ), а також при  $X_1 \cdot X_3$ ,  $X_3 \cdot X_4$ ,  $X_1 \cdot X_4$ .

Модель адекватна:  $R^2 = 99,59\%$ ; тест Lack-of-fit  $P = 0,3085$ .

Тенденції, простежені по моделі (1) для вугілля ДГ, зберігаються і у випадку моделі (2) для вугілля марки П. Відмінність у меншому ступені впливу факторів  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ , про що свідчать менші абсолютні значення коефіцієнтів моделі (2) та більш пологий характер гіперповерхонь (рис. 2 в, г).

Крім того, треба зазначити, що загальний рівень вологості осаду з вугілля П у середньому на 3–5 % менший, ніж у разі вугілля ДГ, що, очевидно, пояснюється більшою природною гідрофобністю високометаморфізованого вугілля.

Вплив фактора  $X_4$  "витрати реагенту" на вугілля П набагато менший. Так, у випадку вугілля ДГ при  $F_r = 400$  і збільшенні витрат реагенту від 0 до 400 г/т вологість осаду зменшується на 5–6 %. В аналогічній ситуації для вугілля марки П це зниження становить  $\approx 3\%$ .



# Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

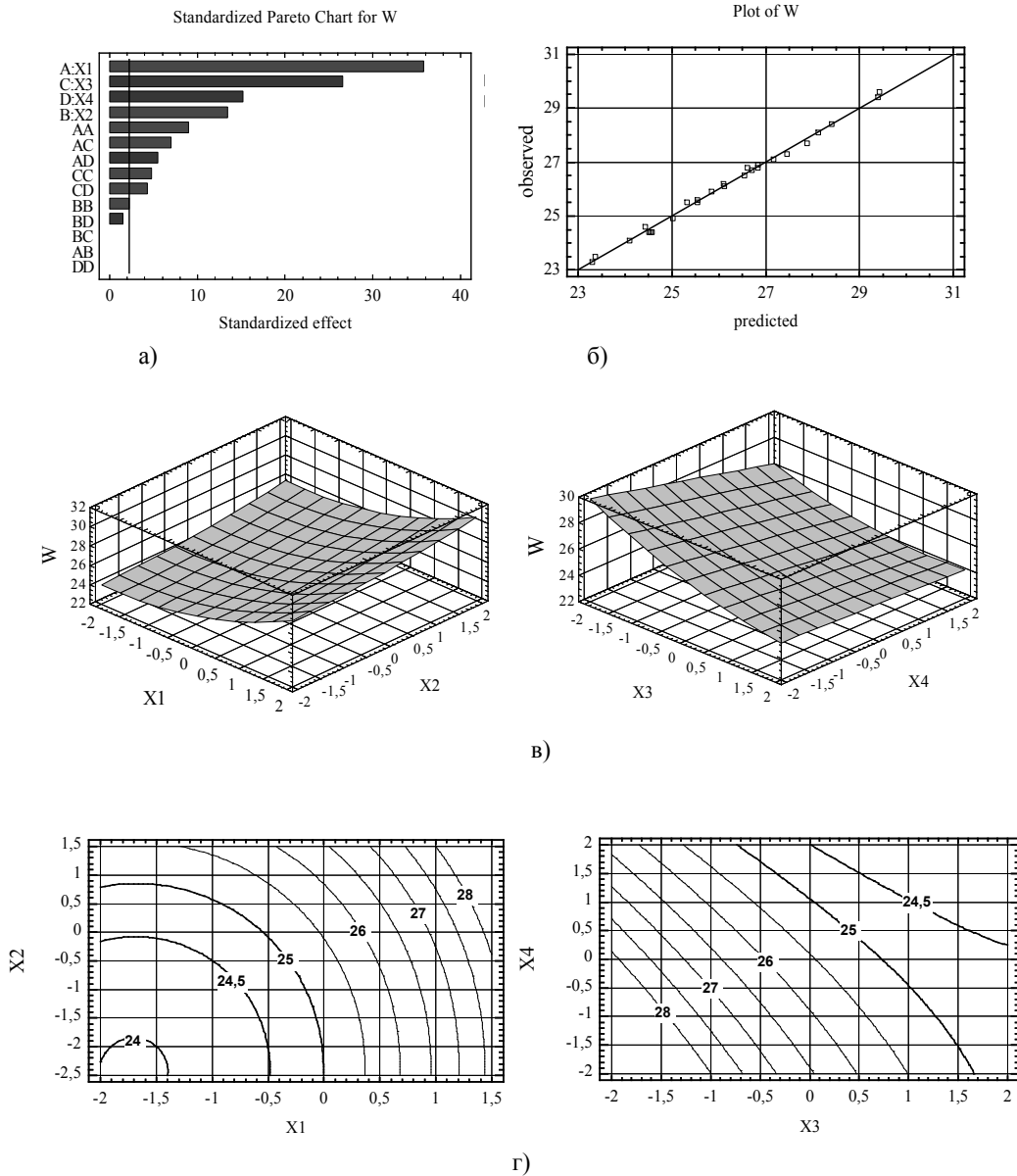


Рис.2 Результати аналізу рівняння регресії (2) процесу зневоднення вугілля марки П:  
 а – парето-графік (вертикальна лінія відповідає 95% значущості коефіцієнтів моделі);  
 б – графік порівняння розрахункових (predicted) і експериментальних (observed) даних;  
 в – тривимірні перетини функції відгуку;  
 г – контурні криві поверхні відгуку.

Рис.2. Результати аналізу рівняння регресії (2) процесу зневоднення вугілля марки П:  
 а – парето-графік (вертикальна лінія відповідає 95% значущості коефіцієнтів моделі);  
 б – графік порівняння розрахункових (predicted) та експериментальних (observed) даних;  
 в – тривимірні перетини функції відгуку;  
 г – контурні криві поверхні відгуку

## Висновки:

1. Дослідження свідчить про можливість інтенсифікації зневоднення

## Збезводнювання та сушіння. Водно-шламове господарство

вугільних шламів відсаджувальним фільтруванням дією реагентів-нафтопродуктів для вугілля різних рівнів вуглефікації (молодого і зрілого).

2. Зниження вологості за рахунок дії реагентів-гідрофобізаторів більше у разі вугілля малої стадії вуглефікації та при відносно невеликих числах  $F_r$ . При  $F_r \geq 1000-1200$  вплив цього фактора нівелюється.

### Список літератури

1. Чуюнов К.Г., Шемаханов М.М. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды. – М.: Недра, – 1987. – 226 с.

2. Руденко К.Г., Шемаханов М.М. Обезвоживание и пылеулавливание. – М.: Недра, 1981. – 350 с.

3. Каминский В.С., Барбин М.Б., Долина Л.Ф. Интенсификация процессов обезвоживания. – М.: Недра, 1982. – 224 с.

4. Гаркушин Ю.К., Сергеев П.В., Білецький В.С. Дослідження фізико-хімічної інтенсифікації зневоднення вугільних флотоконцентратів // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. №21(62). – С.

5. Налимов В.Г., Голикова Т.И. Логические основания планирования экспериментов М.: Металлургия, 1981. – 152 с.

6. Гаркушин Ю.К., Сергеев П.В. Применение композиционных реагентов-нефтепродуктов для интенсификации обезвоживания угля фильтрованием // Обогащение полезных ископаемых: Наук.-техн. зб. – 2004. – Вып. 20(61). – С.104–110.

© Гаркушин Ю.К., Сергеев П.В., Білецький В.С., 2005

*Надійшла до редколегії 16.11. 2004 р.*

*Рекомендовано до публікації к.т.н. Ю.Л. Папушиным*

УДК 622.765

### **В.А. СПИНЕЕВ**

(Украина, Луганск, Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по обогащению и брикетированию углей "УкрНИИУглеобогащение")

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИВЫХ ОСАЖДЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗДЕЛЕНИЯ СГУСТИТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Для сгущения шламов и осветления загрязненных вод на углеобогатительных фабриках применяются процессы, в которых осуществляется разделение по крупности твердой фазы. В зависимости от

161

**Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 22(63)**