

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р. техн. наук,
П.В. СЕРГЄЄВ, канд. техн. наук, **Ю. РЯБЧУК**
(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет)

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗНЕВОДНЕННЯ ВУГЛЕМАСЛЯНОГО АГЛОМЕРАТУ СОЛОНОГО ВУГІЛЛЯ

Вичерпання запасів високоякісного вугілля обумовлює необхідність видобутку і переробки забалансової та низькоякісної паливної сировини. До такої, зокрема, належить так зване “солоне” вугілля, родовища якого відомі в Німеччині, Польщі, США, Україні, Казахстані, Росії, Чехії, Великобританії, Австралії та ін. країнах.

“Солоним” прийнято називати вугілля з аномально підвищеним вмістом лужних металів, в основному, натрію. Критерієм “солоності” більшість дослідників приймають вміст оксиду натрію (Na_2O) у вугіллі або його золі. В Україні до солоного зараховують вугілля зі вмістом $\text{Na}_2\text{O} \geq 2\%$ в золі або $0,3\%$ на суху масу вугілля [1]. Розвідані запаси солоного вугілля в Україні досить істотні – вони складають понад 10 млрд. т. і зосереджені, за даними Державного інституту мінеральних ресурсів (ДІМР), у Богданівському (Луганська область) та Новомосковському (Дніпропетровська область) родовищах [2].

Основні причини, які обумовлюють віднесення “солоного” вугілля до низькоякісної сировини є те, що легкоплавкі сполуки лужних металів, особливо натрію, викликають активне шлакування робочих поверхонь котлів при спалюванні вугілля. Крім того, хлор виступає як основний кородуючий агент, а також активно забруднює довкілля [3].

Сьогодні в світі опрацьовано декілька альтернативних варіантів переробки солоного вугілля – газифікація, спалювання, комплексна переробка, причому найрадикальнішим способом його облагороджування є знесолення вугілля промивкою, наприклад, суміщеною з гідротранспортом. Основним недоліком цієї технології є виникнення великої кількості тонких фракцій вугілля, які при своїй природній гідрофільності практично не піддаються ефективному зневодненню механічними засобами. Для уникнення цього недоліку в Донецькому національному технічному університеті опрацьована технологія знесолення вугілля типу “вугілля-агломерація”, яка передбачає його попереднє часткове обмаслення з подачею порівняно невеликої кількості апорного реагенту (Q_1), знесолення промивкою у воді і подальшу агломерацію з використанням активних гідрофобних (обмаслених) ділянок на поверхні вугілля (друга подача аполярного агента - Q_2).

У попередній роботі [4] нами методом планування експерименту розроблена регресійна чотирифакторна модель процесу знесолення вугілля за технологією “водна промивка - масляна агломерація – зневоднення агломерату”. Функція відгуку - залишковий вміст Na_2O у вугіллі.

Разом з тим, у вказаному ланцюжку процесів важливе значення відіграє технологічна операція зневоднення агломерату солоного вугілля, яка раніше спеціально не досліджувалася.

Ця стаття є розвитком виконаних раніше досліджень. Автори ставлять на меті одержання регресійної моделі процесу зневоднення агломерату солоного вугілля з використанням планування експерименту.

Об'єктом досліджень служило вугілля пласта С₁₂ Новомосковського родовища Західного Донбасу. Вміст Na₂O в цьому вугіллі становив 0,9 %, зольність – 10,9 %. Кернові проби вугілля попередньо подрібнювалися до крупності 0-3 мм. Для моделювання процесу зневоднення використовувалася модернізована центрифуга ЦЛС-3. Зв'язуюча речовина при агломерації - топковий мазут марки М100 з температурою загустіння 30⁰С, кінематичною в'язкістю 700 сСт (50⁰С).

Вибір факторів. На основі апріорної інформації про технологію “водна промивка - масляна агломерація – зневоднення агломерату” нами вибрані такі вхідні параметри, які найбільш суттєво впливають на процес зневоднення солоного вугілля: зовнішня питома поверхня вугілля, витрати зв'язуючої речовини і фактор Fr. При цьому, одним з найбільш цікавих моментів, який повинен бути встановлений планованим експериментом – ступінь впливу на вологість кеку обох подач аполярної зв'язуючої речовини - Q₁ і Q₂.

Що стосується режимних параметрів агломерації, то як показано в роботах [5, 6] при їх варіюванні в раціональній області вони не впливають суттєво на вологість агломерату після його механічного зневоднення. Тому режим агломерації нами вибрано наступним: частота обертання імPELLера - 1500 хв⁻¹, температура середовища 20⁰С, показник рН – 7, Т:Р=1:3.

Таким чином, обрано чотири змінних фактора: S_{пит}, Fr, Q₁ і Q₂. Вони задовольняють вимогам щодо факторів планованого експеримента: управляємість, однозначність, сумісність, незалежність.

Експериментальна область факторного простору. Зовнішня питома поверхня S_{пит} вугілля, знесоленого за технологією ДІМРy (0-3 мм), складає, згідно наших вимірювань за методом В.Товарова, 1450 см²/г. Для вугілля крупністю 0-0,1 мм (варіант знесолення вугілля з метою подальшого зрідження або приготування водовугільних висококонцентрованих палив) зовнішня питома поверхня S_{пит} складає 2650 см²/г. Тому діапазон варіювання параметра S_{пит} приймаємо рівним 1500-2500 см²/г.

Виходячи з раніше отриманих [4, 5] раціональних меж витрат зв'язуючої речовини зв'язуючого Q₁ діапазон варіювання цього параметра вибираємо рівним 0,1-0,4 мас. %.

Витрати зв'язуючої речовини Q₂ приймаємо 2,5-5,5 мас. % що, за нашими даними [5, 6], забезпечує як агломерацію вугілля, так і стійку роботу відсаджувальної центрифуги.

Діапазон зміни фактора Fr приймаємо 500-1100, що охоплює характеристики сучасних вітчизняних центрифуг.

Функція відгуку - вологість W_г вуглемасляного агломерату після зневод-

нення на центрифугі ЦЛС-3.

Кодування факторів та інтервали їх варіювання наведено в таблиці.

Рівень факторів та інтервал варіювання	Параметр $S_{\text{шт}}, \text{см}^2/\text{г}$	Параметр $Q_2, \text{мас.}\%$	Параметр Fr	Параметр $Q_1, \text{мас.}\%$
Кодове позначення	X_1	X_2	X_3	X_4
Інтервал варіювання	500	1,5	300	0,15
Нижній рівень ($X_i = -1$)	1500	2,5	500	0,1
Основний рівень ($X_i = 0$)	2000	4,0	800	0,25
Верхній рівень ($X_i = 1$)	2500	5,5	1100	0,4

Для планування прийнятий рототабельний центрально-композиційний план експерименту, який забезпечує однакову точність моделі за всіма напрямками гіперпростору при мінімальній кількості експериментів. Обробка результатів експерименту виконана за комп'ютерною програмою "Statgraphics".

Standardized Pareto Chart for W

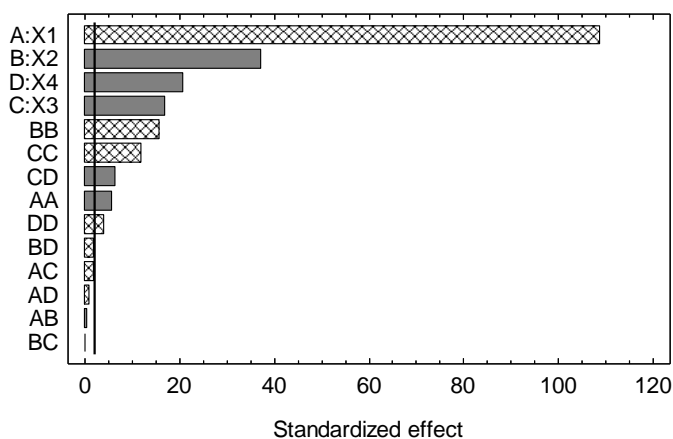


Рис.1 Парето-графік коефіцієнтів моделі (вертикальна лінія відповідає 95% значимості)

Як видно з парето-графіка (див. рис. 1) статистично значимими є коефіцієнти при лінійних та квадратичних членах рівняння регресії, а також коефіцієнт парної взаємодії X_3 - X_4 . Інші коефіцієнти, які враховують ефекти парних взаємодій, статистично незначимі. При цьому, найбільш значимим (див. парето-графік) є фактор "зовнішня поверхня" (X_1). Далі за значимістю фактори знаходяться в ряду: X_2 , X_4 , X_3 .

З урахуванням цього одержаний поліном (рівняння регресії) має вигляд:

$$W = 15,94 + 2,27 \cdot X_1 - 0,78 \cdot X_2 - 0,35 \cdot X_3 - 0,43 \cdot X_4 - 0,11 \cdot X_1^2 + 0,30 \cdot X_2^2 + 0,23 \cdot X_3^2 - 0,16 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,077 \cdot X_4^2$$

Проаналізуємо одержаний вираз. На рис. 2 та 3 відповідно показано тривимірні перетини гіперповерхні $Y(X_n)$ та контурні криві цих поверхонь.

Як бачимо, зі збільшенням X_1 , як і слід було очікувати, вологість кеку центрифуги зростає. Це добре ілюструють залежності $Y = f(X_1)$ на рис. 2 а.

Особливий інтерес викликає оцінка впливу на результати зневоднення вуглемаляного агломерату солоного вугілля порцій (подач) зв'язуючої речовини Q_1 і Q_2 (відповідно фактори X_4 і X_2).

Як видно з рис. 2 зі збільшенням витрат реагенту вологість кеку центрифуги зменшується. При цьому, як витікає з парето-графіка (рис. 1) та рівняння регресії, вплив фактора X_2 ("реагент, порція-2") помітно більший, ніж вплив фак-

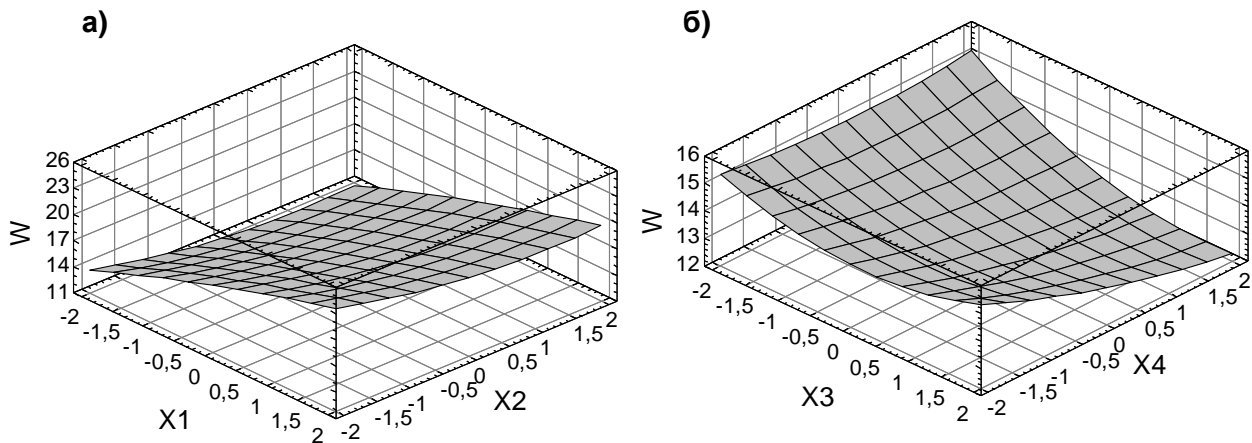


Рис.2 Тривимірні перетини гіперповерхні $Y(X_n)$

тора X_4 ("реагент, порція-1), щоо можна пояснити точковим закріпленням порівняно малої порції-1 масляного реагента на вугільній поверхні. При зміні фактора X_2 в межах 1-7 мас. % от -2 до +2) вологість кеку центрифуги зменшується з 24 до 11 % (рис. 2 а).

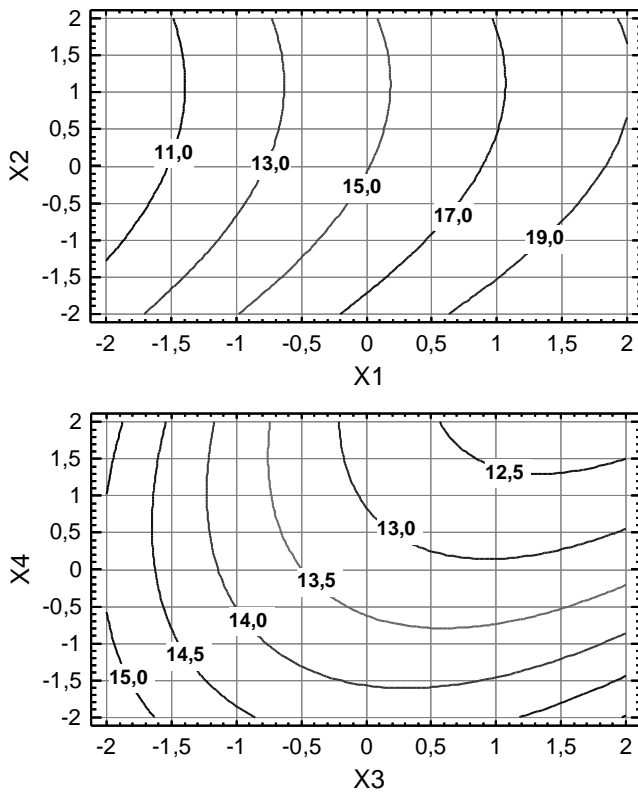


Рис.3 Контурні криві поверхонь

ється специфічними властивостями соляного вугілля, природна поверхня якого сильно гідрофілізована і тому має підвищену вологовтримувальну здатність. І навпаки, перша подача реагента (X_4) більш дієва в плані зниження вологості кека при більших значеннях числа Фруда (X_3).

Ці ефекти, простежувані на рис. 2 б, підтверджуються паретто-графіком, на якому коефіцієнт парної взаємодії CD (X_3X_4) є статистично значущим. При цьому коефіцієнт при члені X_3X_4 , як видно із рівняння регресії, має значення „-

татора X_4 ("реагент, порція-1), щоо можна пояснити точковим закріпленням порівняно малої порції-1 масляного реагента на вугільній поверхні. При зміні фактора X_2 в межах 1-7 мас. % от -2 до +2) вологість кеку центрифуги зменшується з 24 до 11 % (рис. 2 а).

Збільшення числа Fr позитивно впливає на результати зневоднення досліджуваного матеріалу (рис. 2 б). Однак, цей вплив у області $Fr = 400-1200$ в порівнянні з факторами X_1 і X_2 менш суттєвий, що, напевно, пояснюється особливими властивостями вуглемаляного агломерата як об'єкта зневоднення. Поверхня останнього має підвищену гідрофобність, а це обумовлює добру зневоднювальну здатність агломерату вже при малих значеннях чисел Fr.

Крім того, як видно з рис. 2 б, фактор Фруда (X_3) більш суттєво впливає на результати зневоднення при більшій подачі першої порції реагента (X_4). Це, очевидно, пояснюється

0,1625”, що свідчить про відповідне зниження вологості агломерату при зростанні обох факторів.

Висновки

Аналіз математичної моделі процесу зневоднення вуглемаляного агломерату солоного вугілля дозволяє зробити висновок, що найбільш значимими факторами, які впливають на вологість зневодненого агломерата є фактори X_1 і X_2 , тобто ті, що визначаються крупністю вихідного вугілля і витратами реагенту (друга порція) на агломерацію вугілля.

Використання суміщеного процесу “знесолення-агломерація” дозволяє знизити робочу вологість кека центрифуги при $S_{\text{пит}} = 1500-2500 \text{ см}^2/\text{г}$ до 12-13 %, що суттєво переважає інші існуючі технічні рішення по механічному зневодненню дрібних вугільних класів гідрофілізованого вугілля.

Одержана математична модель може бути використана для прогнозування результатів зневоднення вуглемаляного агломерата солоного вугілля Західного Донбасу.

Список літератури

1. **Шендрик Т.Г., Саранчук В.И.** Соленые угли. – Донецк: ДонГТУ, Східний видавничий дім. – 2003. – 296 с.
2. Перспективы освоения соленых углей Украины / **В.С.Белецкий, С.Д.Пожидаев, А.Кхелуфи, П.В.Сергеев.** - Донецк: ДонГТУ, УКЦентр, Східний видавничий дім - 1998. - 96 с.
3. **Білецький В.С.** Проблема переробки солоного вугілля//Праці Наукового Товариства ім. Шевченка. Т.Х. Хемія та біохемія. – Львів-2003. С. 205-227.
4. **Білецький В.С., Сергеев П.В., Кхелуфі Абделькрім** Математичне моделювання процесу знесолення вугілля // Збагачення корисних копалин. № 16, 2002. С. 61-65.
5. **Білецький В.С., Сергеев П.В., Папушин Ю.Л.** - Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля - Донецьк: Грань. - 1996. - 264 с.
6. Обезвоживание угольной гидросмеси методом масляной грануляции / **А.Т.Елишевич, В.С.Белецкий, Т.В.Карлина** // Обогащение полезных ископаемых. - К.: Техніка. - 1984. - вып.34, С. 78-82.

Надійшла до редколегії xx.xx.xxxx р.

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

УДК 622.7

Закономірності зневоднення вуглемаляного агломерату солоного вугілля/ Білецький В.С., Сергеев П.В., Рябчук Ю. //Збагачення корисних копалин:Наук.-техн.зб.-2007.-Вип. –С.

Методом планування експерименту розроблена та проаналізована регресійна чотирифакторна модель процесу зневоднення вуглемаляного агломерату солоного вугілля. Встановлено, що найбільш значимими факторами, які впливають на вологість зневодненого агломерата є питома поверхня вихідного вугілля і витрати реагенту (друга порція) на агломерацію вугілля. Одержана математична модель може бути використана для прогнозування результатів зневоднення вуглемаляного агломерата солоного вугілля Західного Донбасу.

Методом планирования эксперимента разработана и проанализирована регрессионная четырехфакторная модель процесса обезвоживания углемасляного агломерата соленого угля. Установлено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на влажность обезвоженного агломерата, являются удельная поверхность исходного угля и расход реагента (вторая порция) на агломерацию угля. Полученная математическая модель может быть использована для прогнозирования результатов обезвоживания углемасляного агломерата соленых углей Западного Донбасса.