

ДОСЛІДЖЕННЯ МАСЛЯНОЇ АГРЕГАЦІЇ КОКСІВНОГО ВУГІЛЛЯ

© В.С. Білецький¹*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, Україна*П.В. Сергєєв²*Донецький національний технічний університет, 85300, м. Покровськ Донецької обл., пл. Шибанкова, 2, Україна*¹ Білецький Володимир Стефанович, доктор техн. наук, проф., проф. кафедри видобування нафти, газу та конденсату, e-mail: biletsk@i.ua² Сергєєв Павло Всеволодович, доктор техн. наук, проф.

Експериментально показано, що масляна агломерація вугілля покращує коксівні властивості шихти. Процес масляної агрегації застосовувався для збагачення і зневоднення коксівного вугілля на Губахінському і Авдіївському коксохімічних заводах.

Методом планування експерименту із застосуванням ротатбельного центрально-композиційного плану експерименту другого порядку встановлено залежність крупності вуглемасляних агрегатів від витрат масла-зв'язуючого, густини гідросуміші та тривалості перемішування. Встановлено, що в процесі масляної агломерації вугілля марки Г вплив досліджуваних факторів на діаметр гранул за значимістю має таку послідовність: витрати зв'язуючого, тривалість агітації пульпи, швидкість обертання вала імелера мішалки-агітатора.

Одержана математична модель процесу масляної агломерації коксівного вугілля марки Г може бути використана для поглибленого дослідження впливу на процес обраних факторів, а також визначення режимних параметрів, що забезпечують задану крупність вуглемасляних агрегатів.

Ключові слова: коксівне вугілля, масляна агломерація, планування експерименту, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Лабораторні, напівромислові та промислові дані, одержані рядом авторів, свідчать про загальну тенденцію покращення коксівних властивостей шихти після її масляної агрегації. Процес масляної агрегації застосовувався для збагачення і зневоднення коксівного вугілля на Губахінському і Авдіївському коксохімічних заводах. Зокрема, авторами [1-11] зафіксовано підвищення якості коксу за структурною міцністю і зольністю, збільшення виходу рідких продуктів коксування та продуктивності коксової печі. В Україні ці дослідження проведені А. Гребенюком, В. Білецьким, І. Дідовцем, Т. Джакелі, С. Устиновською, А. Єлішевцем та ін. Зокрема, було проведено дослідження коксівних властивостей вугільної шихти (крупність 0-6 мм; $A^d = 8,2\%$; $V^{daf} = 26,0\%$; $W_f = 7\%$) після її гідротранспортування на відстань 450 км. Показано, що масляна агломерація практично нівелює негативний вплив гідралічного транспортування на коксівні властивості вугілля. Вихідна шихта, агломерована (витрати зв'язуючого $Q_{зв} = 2,5\%$ за масою, мазут М100) та неагломерована шихта після гідротранспортування в турбулентному режимі зі швидкістю $V = 1,4-1,7$ м/с ($pH = 7,7$; тиск у трубопроводі $2 \cdot 10^5$ Па; температура середовища $t_c = 18-25$ °C) зневоднювалася в центрифугі НОГШ - 325, просувалася до вологості 7% і піддавалася ящичному коксуванню в камері коксування промислової батареї (Донецький коксохімічний завод). Результати дослідження (табл. 1) показують значне погіршення якості коксу після гідротранспортування неагломерованої шихти. Масляна агломерація шихти в зменшує цей вплив. Зокрема, за показниками М25 та М10 кокс з агломерованої шихти краще за вихідний.

За кордоном, Н. Брауном, Г. Рігбі та Т. Калькоттом проведено ґрунтовне дослідження коксівних властивостей вугілля, котре вилучали з гідротранспортованої суспензії методом масляної агломерації [12]. Отримані результати свідчать, що технологія селективної масляної агломерації гідралічно транспортованого вугілля крім економії коштів на транспортування і збагачення дозволяє на 16% збільшити вихід доменного коксу за рахунок: більш

* Автор для листування

високого виходу збагаченого вугілля на 1 т рядового; більш високого виходу коксу із агломерату; зниження виходу коксового дріб'язку внаслідок збільшення

міцності коксу. При цьому рекомендується застосовувати масляні реагенти, збагачені конденсованими ароматичними вуглеводнями [13].

Таблиця 1

Показники якості коксу, отриманого в результаті ящикного коксування шихт

Об'єкт дослідження	Дробимість M25	Стираність M10	W _t , %	A ^d	Густина дійсна, г/см ³	Пористість, %
Вихідна шихта	87,0	6,0	2,43	12,10	1,66	35,20
Шихта після гідро-транспортування: – неагломерована	82,8	6,8	1,10	12,75	1,80	43,80
– агломерована	93,0	3,9	0,97	12,00	1,86	43,40

Сучасний етап дослідження проблеми характерний використанням сумішених технологій, різних методів моделювання і оптимізацією процесів масляної агрегації коксівного вугілля [14-17].

Мета роботи – математичне моделювання процесу масляної агрегації коксівного вугілля.

Виклад основного матеріалу. Як вихідне вугілля прийнято вугілля марки Г шахти ім. Бажанова з A^d=10,9 %, крупністю 0-200 мкм. Експериментальна область факторного простору: масові витрати зв'язуючого Q_{зв} = 18-27 % (фактор X₁); густина пульпи ρ_ж = 100-200 г/дм³ (фактор X₂); тривалість агітації водо-вугле-масляної суміші τ_а=3-13 хв.

(фактор X₃). Область обрана виходячи з технологічних особливостей вугілля та зв'язуючого, апріорної інформації щодо кінетики процесу та з урахуванням результатів попередніх пробних дослідів. Постійні режимні параметри: температура пульпи (середовища) t_c=32 °C; швидкість обертання імпелера мішалки-агітатора n = 2250 хв⁻¹; зв'язуюче – композиція брикетину і реагенту ААР-1 в масовій пропорції 1:4. Межі зміни параметрів включають характеристики ряду пульп вуглебагачувальних фабрик та футатів в системах магістральних гідротранспортних систем. Досліди рандомізувалися. Довірча імовірність отриманих результатів p = 0,95.

Таблиця 2

Матриця планування та результати експериментів

X ₁	X ₂	X ₃	D _e	D _p
-1	-1	-1	0,5	0,417375
1	-1	-1	1,6	1,70415
-1	1	-1	1,8	1,69703
1	1	-1	2,8	2,58381
-1	-1	1	1	1,12933
1	-1	1	4,5	4,51611
-1	1	1	0,9	0,708986
1	1	1	3,5	3,59576
-1,68179	0	0	0,7	0,864616
1,68179	0	0	4,5	4,45823
0	-1,68179	0	1,5	1,41831
0	1,68179	0	1,6	1,80454
0	0	-1,68179	0,7	0,894561
0	0	1,68179	2,5	2,42828
0	0	0	1	1,09649
0	0	0	1,2	1,09649
0	0	0	1,1	1,09649
0	0	0	1,1	1,09649
0	0	0	1,2	1,09649
0	0	0	1	1,09649

При плануванні експерименту застосовано ротатбельний центрально-композиційний план експерименту другого порядку, який забезпечує однакову похибку по всьому факторному простору; матриця планування, експериментальні (D_e) та розраховані (D_p) значення функції відгуку показані в табл. 2. Для розробки плану експерименту та обробки одержаних експериментальних даних використовувалася стандартна комп'ютерна програма Statgraphics 5.1. Всі досліді виконані на стендовій установці, агломератор – імпелерна мішалка з робочим об'ємом агітації пульпи 1 л.

Одержаний поліном для функції відгуку – середнього діаметра вугільно-масляних агломератів D з урахуванням значущості коефіцієнтів моделі (див. рис. 1) має вигляд:

$$D = 1,09649 + 1,06839 \cdot X_1 + 0,114827 \cdot X_2 + 0,455978 \cdot X_3 + 0,55329 \cdot X_1^2 + 0,5 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,182057 \cdot X_2^2 - 0,45 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,199735 \cdot X_3^2$$

Коефіцієнти моделі наведено в нормованому вигляді. Модель адекватна процесу, що досліджується. Про це свідчить високе значення коефіцієнта детермінації ($R^2 = 98,82\%$) і низьке значення стандартної похибки експерименту Standard Error of Est. = 0,1802

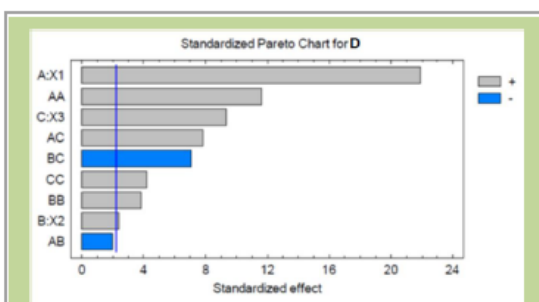


Рис. 1 Стандартизований парето-графік, який показує значимість коефіцієнтів при членах рівняння регресії

Найбільше впливають на діаметр гранул витрати зв'язуючого X_1 , другий за значимістю фактор – тривалість агітації X_3 . Фактор X_2 – густина гідросуміші – значно менше впливає на функцію відгуку. Збільшення факторів X_1 та X_3 , призводить до збільшення діаметра гранул, а одночасне збільшення факторів X_2, X_3 – до його зменшення.

На парето-графіку показано характер і ступінь впливу факторів та ефектів їх взаємодій на діаметр вугільно-масляних агломератів D . На рис. 2 зображений графік порівняння експериментальних (observed) і роз-

рахованих (predicted) значень цільової функції. Як бачимо, в більшості випадків різниця між цими даними невелика. Більшість експериментальних точок знаходиться поблизу прямої лінії.

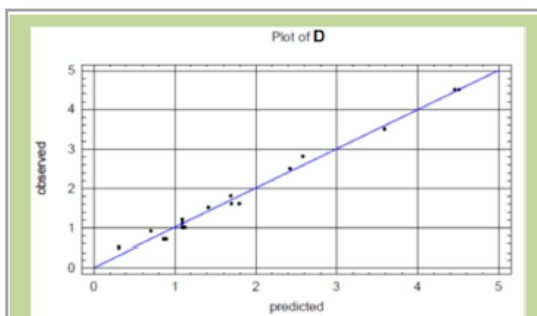


Рис. 2 Графік порівняння експериментальних (observed) і розрахованих (predicted) значень цільової функції

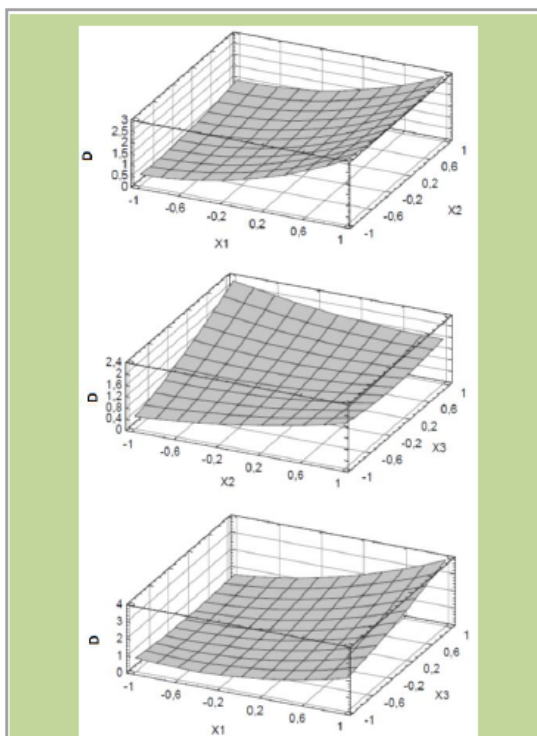


Рис. 3 Часткові тривимірні перетини гіперповерхні цільової функції $D(X_1, X_2)$, $D(X_2, X_3)$ і $D(X_1, X_3)$

На рис. 3 надані часткові тривимірні перетини гіперповерхні цільової функції $D(X_1, X_2)$, $D(X_2, X_3)$ і $D(X_1, X_3)$.

На рис. 4 наведені контурні криві цих гіперповерхонь. Простежується чітке збільшення діаметра D вуглемасляних агрегатів (гранул) з ростом витрат зв'язуючого в області $Q_{зв} = 18-27\%$ за масою, а також тривалості пелетування $\tau_a = 3-13$ хв. При збільшенні $Q_{зв}$ і τ_a середній діаметр D збільшується з 0,5-0,7 до 3,0-4,0 мм.

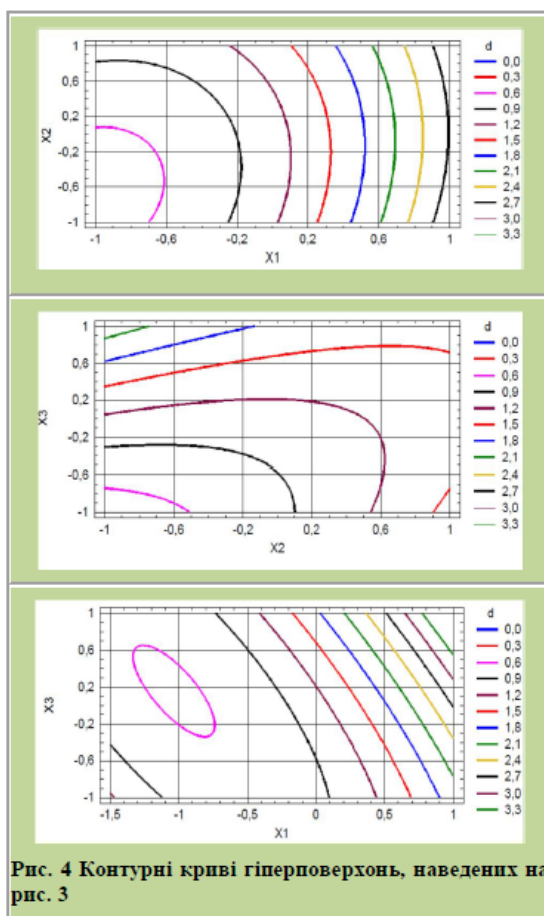


Рис. 4 Контурні криві гіперповерхонь, наведених на рис. 3

Контурні криві гіперповерхонь показують наявність екстремумів поверхонь $D(X_1, X_2)$, $D(X_1, X_3)$. Результати оптимізації показують, що максимальна крупність гранул складає $D = 3,5-4,0$ мм. Режимні параметри, які забезпечують досягнення такого результату у перерахуванні на натуральні значення факторів: $Q_{зв} = 27\%$, $\tau_a = 13$ хв, $\rho_{вс} = 200$ г/дм³, $t_c = 32$ °C, $n = 2250$ хв⁻¹.

Висновки

1. За результатами дослідів встановлено, що в процесі масляної агломерації вугілля марки Г вплив досліджуваних факторів на діаметр гранул за значимістю має таку послідовність: витрати зв'язуючого, тривалість аитації пульпи, швидкість обертання вала імелера мішалки-агитатора. Результати оптимізації показують, що максимальна крупність гранул складає $D = 3,5-4,0$ мм.

2. Одержана математична модель процесу масляної агломерації коксівного вугілля марки Г може бути використана для поглибленого дослідження впливу на процес обраних факторів, а також для визначення режимних параметрів, що забезпечують максимальну крупність гранул.

Бібліографічний список

1. Чермонов В.М. Исследование и разработка комплексной технологии обогащения и глубокого обезвоживания угольных шламов с добавкой вязких органических продуктов / В.М. Чермонов. Автореф. диссерт. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук – М., 1973. – 25 с.
2. Чермонов В.М. Обогащение угольной мелочи методом масляной флотации / В.М. Чермонов, М.В. Циперович // Подготовка и коксование углей. – Свердловск. – 1967. – Вып. 7. – С. 234-261.
3. А.с. 289117 СССР. МКИ C10B 57/12. Способ переработки угольной шихты / В.М. Чермонов, М.В. Циперович, В.П. Курбатов. ВУХИИ. – Заявл. 25.08.67. № 1182688/25-26. Опубл. 08.12.70. Бюл. № 1. – 4 с. 9.
4. Елпиевич А.Т. Обогащение угольных шламов методом масляной агломерации / А.Т. Елпиевич, Ю.Л. Папушин, В.С. Белецкий // Кокс и химия. – 1991. – № 5. – С. 7-9.
5. Schmidt J. Beitrag zur Untersuchung der Agglomeratbildung im Rahmen der Agglomerationsflotation unter besonderer Berücksichtigung der Olszusammensetzung / J. Schmidt // Freiberg Forschung. – 1968. – А. – № 449. – S. 73-130.
6. Накамура Т. Влияние гранулирования на качество кокса / Тикара Накамура // Тэцу тохаганэ. – 1986. – Т. 7. – В.П. 2. – № 12. – С. 854.
7. Дипельт В.М., Гофман М.В. К вопросу о механизме взаимодействия органических стекающих добавок с углями в процессе коксования / В.М. Дипельт, М.В. Гофман // Научные основы производства кокса. – М.: Металлургия, 1967. – С. 148-153.
8. Курбатов В.П. Научно-технические направления повышения эффективности обогащения и использования коксующихся углей / В.П. Курбатов. Автореф. диссерт. на соиск. учен. степени докт. техн. наук. – Люберцы: ИОТТ, 1984. – 46 с.
9. Джакети Т.И. Исследование влияния дальнего гидротранспортирования на технологические свойства углей и шихты и обеспечение качеств, необходимых для процесса коксования / Т.И. Джакети, В.Г. Трофимова, С.А. Устиновская, О.А.

Толочко, А.Т. Епишев, В.С. Белецкий, А.Ф. Гребенюк, И.Г. Дедовец // Химия и физика угля. – 1991. – С. 91-108.

10. Білецький В.С. Коксівні властивості вуглемасляних агломератів / В.С. Білецький // УглеХимический журнал. – 2003. – № 3-4. – С. 3-7.

11. Білецький В.С. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля / В.С. Білецький, П.В. Сергєєв, Ю.Л. Папушин. – Донецьк: Грань, 1996. – 264 с.

12. Brown N.A. Coking behavior of coal recovery from slurry pipelines using a selective agglomeration technique / N.A. Brown, G.R. Rigbi, T.G. Callcott // Fuel Process Technol. – 1980. – 3. – № 2. – P. 101-104.

13. Білецький В.С. Продукти коксифікації як реагенти для флотації, селективної флокуляції та агломерації вугілля / В.С. Білецький, П.В. Сергєєв // УглеХимический журнал. – № 5-6. – 2016. – С. 12-18.

14. Самілін В.М. Спеціальні методи збагачення корисних копалин : курс лекцій / В.М. Самілін, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. – 115 с.

15. Spoelstra J. The modelling of oil agglomeration of coal fines / J.Spoelstra // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 1989. – Vol. 28, December. – P. 359-366.

16. Chary G.H.V.C. Optimization of experimental conditions for recovery of coking coal fines by oil agglomeration technique / G.H.V.C. Chary, M.G. Dasidar. // Fuel. – 2010. – Vol. 89. – Iss. 9. – September. – P. 2317-2322.

17. Nevzat A. Multi-response optimization of oil agglomeration with multiple performance characteristics / Nevzat Aslan, İ. Ünal // Fuel Processing Technology. – 2011. – № 92(6). – P. 1157-1163.

Рукопис надійшов до редакції 05.02.2018

RESEARCH OF OIL AGGREGATION OF COKING COALS

© V.S. Biletsky, Doctor of Technical Sciences, (NTU "Kharkiv Polytechnic Institute"), P.V. Sergeyev, Doctor of Technical Sciences, (DonNTU)

It has been shown experimentally that the oil agglomeration of coal improves the coking properties of the coal blend. The process of the oil aggregation was used to processing and dewatering coking coal from Gubakha and Avdiivka Coke Enterprises.

The dependence of the size of the coal-oil aggregates on the consumption of the oil-binder, the density of the suspension and the duration of mixing was established by the method of planning experiment using a rotatable central-composite plan of the second-order experiment. It is established that in the process of oil agglomeration of G grade coal, the influence of the investigated factors on the size of the aggregates is of such importance as the consumption of the binder, the duration of the pulp agitation, and the rotation speed of the agitator shaft.

The obtained mathematical model of the process of oil agglomeration of coking coal grade G can be used for an in-depth study of the influence on the process of selected factors, as well as the determination of the regime parameters that ensure a given size of coal-oil aggregates.

Keywords: coking coal, oil agglomeration, experiment planning, mathematical modeling.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАСЛЯНОЙ АГРЕГАЦИИ КОКСУЮЩЕГОСЯ УГЛЯ

© Белецкий В.С., д.т.н. (НТУ «ХПИ»), Сергеев П.В., д.т.н. (ДонНТУ)

Экспериментально показано, что масляная агломерация угля улучшает коксующесть шихты. Процесс масляной агрегации применялся для обогащения и обезвоживания коксующегося угля на Губахинском и Авдеевском коксохимических заводах.

Методом планирования эксперимента с применением ротatableльного центрально-композиционного плана эксперимента второго порядка установлена зависимость крупности углемасляных агрегатов от расхода масла-связующего, плотности гидросмеси и продолжительности перемешивания. Установлено, что в процессе масляной агломерации угля марки Г влияние исследуемых факторов на крупность агрегатов по значимости имеет следующую последовательность: расход связующего, продолжительность агитации пульпы, скорость вращения вала импеллера мешалки-агитатора.

Полученная математическая модель процесса масляной агломерации коксующегося угля марки Г может быть использована для углубленного исследования влияния на процесс выбранных факторов, а также для определения режимных параметров, обеспечивающих заданную крупность углемасляных агрегатов.

Ключевые слова: коксующийся уголь, масляная агломерация, планирование эксперимента, математическое моделирование.

