

ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ВИТРАТ
РЕАГЕНТУ У ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРЕРОБКИ ВУГІЛЛЯ

JUSTIFICATION OF RATIONAL REAGENT SPENDING
IN COAL PROCESSING TECHNOLOGIES

© 2014 Сергєєв П.В., д.т.н.,
Білецький В.С., д.т.н. (ДонНТУ)

Sergeev P.V., Doctor of Technical Sciences,
Beletsky V.S., Doctor of Technical Sciences
(DonNTU)

Розроблена методика визначення раціональної товщини плівки масляного реагенту на вугільній поверхні у процесах селективної агрегації та брикетування вугілля зі зв'язуючим. Ця методика покладена в основу розрахунку раціональних витрат реагенту при селективній агрегації та брикетуванні вугілля.

The method has been created of determination of the rational film thickness of the oil agent on the surface of the coal in the process of selective aggregation and briquetting of coal with a binder. This technique is the basis for the calculation of rational consumption reagent in the selective aggregation and briquetting of coal.

Ключові слова: реагент, товщина плівки, витрати реагенту, вугілля, масляна агрегація, брикетування.
Keywords: reagent, film thickness, reagent consumption, coal, oil aggregation, briquetting.

Раціональні витрати реагенту при селективній агрегації (флокуляції, агломерації, грануляції), а також брикетуванні вугілля зі зв'язуючим, як правило, визначаються емпірично [1]. Бракує системного наукового під-

ходу, який би поєднав теоретичні розробки і практику збагачувальних процесів. Виходячи з сучасних уявлень щодо природи адгезійних та аутогезійних контактів твердих і рідких фаз, міцність зв'язку зерен вугілля у флокулі, агрегаті, гранулі, брикеті визначається раціональною товщиною плівки реагенту на поверхні вугільних зерен [2]. Таким чином, задача визначення раціональних витрат реагенту зводиться до встановлення раціональної товщини плівки реагенту на вугільній поверхні.

Мета цієї роботи – теоретично і експериментально встановити раціональну товщину плівки масляного реагенту на вугільній поверхні при агрегуванні та брикетуванні вугілля зі зв'язуючим, що дасть змогу обґрунтувати раціональні витрати реагенту при збагаченні і брикетуванні вугілля.

Зупинимось спершу на теоретичному розгляді проблеми раціональної товщини плівки реагенту на вугільній поверхні при агрегуванні та брикетуванні вугілля зі зв'язуючим.

Раціональну товщину плівки масляного реагенту (флокулянту, зв'язуючого) на твердій поверхні можна визначити на основі аналізу її енергетичного стану. У загальному випадку сумарна енергія розриву адгезійної плівки реагенту може бути представлена як сума наступних доданків:

$$E_p = E_p^{ad} + E_p^k \quad (1)$$

де E_p^{ad} і E_p^k – відповідно енергія адгезійного і когезійного розриву плівок реагенту.

Враховуючи ліофобно-ліофільну гетерогенність (мозаїчність) твердої поверхні вугілля і допускаючи наявність адгезійного розриву на ліофобних ділянках і когезійного на ліофільних, для E_p^{ad} і E_p^k можна записати:

$$E_p^{ad} = \sigma_{\phi r} \cdot (1 + \cos \theta) \cdot S_{\phi fo} \quad (2)$$

$$E_p^k = 2 \cdot \sigma_{\phi r} \cdot S_{\phi fi} \quad (3)$$

де $\sigma_{\phi r}$ – поверхневий натяг на границі “реагент – газ”; θ – крайовий кут змочування твердої поверхні реагентом; $S_{\phi fo}$ і $S_{\phi fi}$ – відповідно площі ліофобних і ліофільних ділянок на твердій поверхні.

Підставляючи вирази (2) і (3) у рівняння (1) для E_p отримаємо:

$$E_p = \sigma_{\phi r} \cdot (1 + \cos \theta) \cdot S_{\phi fo} + 2 \cdot \sigma_{\phi r} \cdot S_{\phi fi} \quad (4)$$

Практичну цінність являє питома величина E_{py} на одиницю маси реагенту $m_{\phi r}$ на твердій поверхні. Введемо коефіцієнт ліофобності поверхні $K_L = \frac{S_{\phi fo}}{S_{\phi обш}}$, де

$S_{\phi обш} = S_{\phi fo} + S_{\phi fi}$. Тоді з урахуванням того, що $m_{\phi r} = \rho_{\phi r} \cdot S_{\phi обш} \cdot h_{\phi r}$, де $\rho_{\phi r}$ – густина реагенту; $h_{\phi r}$ – товщина плівки реагенту на твердій поверхні, після перетворень для E_{py} маємо:

$$E_{py} = \frac{(1 + \cos \theta) \cdot K_L \cdot \sigma_{\phi r}}{\rho_{\phi r} \cdot h_{\phi r}} + \frac{2 \cdot \sigma_{\phi r}}{\rho_{\phi r} \cdot h_{\phi r}} \cdot (1 - K_L) \quad (5)$$

Проаналізуємо отриманий вираз (5) для випадку селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля з водовугільних суспензій аполлярним реагентом – гасом. Виходячи з фізико-хімічних характеристик гасу, а також з огляду на нормальні умови проведення експериментів, прийнемо: $\sigma_{\phi r} = 30$ мН/м; $\theta = 0-90^\circ$; $\rho_{\phi r} = 800$ кг/м³; $h_{\phi r} = 50-1000$ нм.

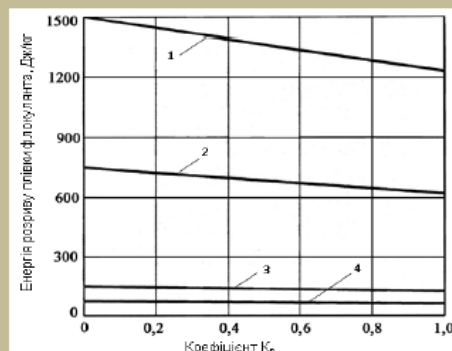


Рис. 1 Залежність енергії розриву плівки реагенту-флокулянта від коефіцієнту ліофобності (K_L) при різних значеннях товщини плівки ($h_{\phi r}$): 1-50 нм; 2-100 нм; 3-500 нм; 4-1000 нм

За допомогою програми MathCAD отримано графіки залежностей $E_{py}(K_L) | h_{\phi r} = \text{var}$ і $E_{py}(h_{\phi r}) | \theta = \text{var}$.

Крива $E_{py}(h_{\phi r})$ має гіперболічну форму з перегином в області $h_{\phi r} = 50-200$ нм (див. рис. 2). При цьому вплив крайового кута змочування θ незначний. Як впливає з характеру кривої $E_{py}(h_{\phi r})$, область перегину можна вважати критичною, оскільки подальше збільшення товщини плівки флокулянта практично не позначається на величині енергії розриву E_{py} . Отже, раціональні межі витрати флокулянта повинні забезпечувати товщину плівки флокулянта на твердій поверхні не більше від 50-200 нм.

Як видно з рис. 1, ліофобно-ліофільний баланс вугільної поверхні впливає на E_{py} тільки в області малих значень $h_{\phi r}$ (до 50-100 нм). При великих значеннях $h_{\phi r}$ енергія розриву E_{py} практично не змінюється, тому що в “товстих” плівках флокулянта практично не відчувається енергетичний вплив твердої поверхні.

Тепер експериментально визначимо товщину граничного (структурованого) шару реагенту на вугільній поверхні. Цей суттєво важливий параметр структури вугільно-реагентних агрегатів доцільно визначати з

використанням непрямої в'язкісної методики [3]. Об'єктами в наших дослідженнях слугували вугілля марки Г, мазут М100, полімери виробництва бензолу коксохімічного підприємства. Розрахунок товщини граничного шару виконувався за рівнянням:

$$h_a = \frac{10^4}{\gamma_{\text{ву}} \cdot S_{\text{шт}}} \left(\frac{k_1}{k_0} - 1 \right) \quad (6),$$

де $\gamma_{\text{ву}}$ – густина вугілля; $S_{\text{шт}}$ – зовнішня питома поверхня вугілля; k – коефіцієнт пропорційності; k_0 – те саме в середовищі, що практично виключає виникнення полімолекулярного граничного шару; k_1 – те саме для суспензії «вугілля – зв'язуюче».

Коефіцієнт k визначався за рівнянням:

$$\eta = \eta_0(1 + k\varphi), \quad \eta_1 = k\varphi \quad (7),$$

де η_0 та η – в'язкість відповідно зв'язуючого та суспензії «вугілля – зв'язуюче»; η_1 – питома в'язкість; $\varphi < 6\%$ – об'ємна концентрація вугілля.

Параметри вугілля: фракція 0-50 мкм, $A_{\text{ву}}^d = 14,9\%$; $W_t^r = 1\%$; $\gamma_{\text{ву}} = 1,41 \text{ г/см}^3$; $S_{\text{шт}} = 4345 \text{ см}^2/\text{г}$. $S_{\text{шт}}$ визначено за методикою В.В.Товарова [4].

Коефіцієнт k_0 визначався по в'язкості зневодненого газу та суспензії «вугілля – газ», визначеної на капілярному віскозиметрі при 20 °С. Питома в'язкість термостатованої суспензії «вугілля – зв'язуюче» визначалась на ротатійному віскозиметрі ВСН-3 з точністю 5 %. Результати розрахунків, зведені в табл. 1, показують, що для досліджених об'єктів виконується умова $z_0 \leq h_a$ аутогезійного зчеплення вугільних зерен по граничних

плівках зв'язуючого. Порядком одержаних значень демонструє можливість реєстрації та вивчення граничних шарів зв'язуючого на вугіллі за допомогою оптичних мікроскопів.

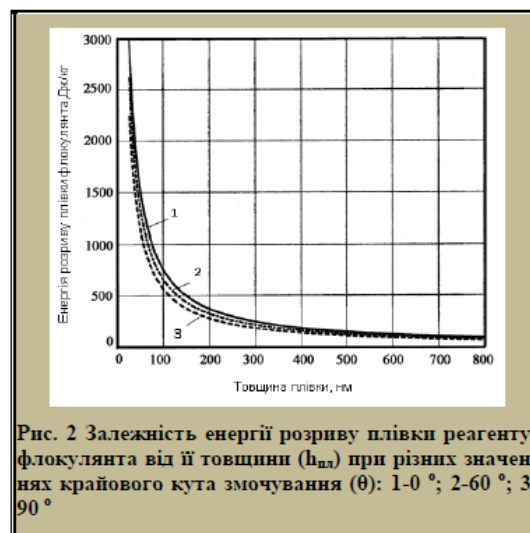


Рис. 2 Залежність енергії розриву плівки реагенту-флокулянта від її товщини ($h_{\text{пл}}$) при різних значеннях крайового кута змочування (θ): 1-0°; 2-60°; 3-90°

Таблиця 1

Експериментально визначена товщина граничної плівки реагенту на вугіллі

Реагент	$t_c, ^\circ\text{C}$	φ	η_1	k	$h_a, \text{нм}$
Гас	20	0,06	0,60	10,0	180
Мазут М100	20	0,05	0,90	18,0	1310
	60	0,05	0,58	11,6	260
Полімери	20	0,05	0,78	16,0	950



Рис. 3 Фрагменти вуглемазутних флокул і гранул

З допомогою мікроскопа NEOPHOT-21 досліджували аншлифи вуглемазутних гранул і флокул (рис. 3), одержаних в процесах збагачення вугільних шламів. Препарування гранул і флокул для мікроскопічних досліджень виконано за розробленою нами методикою [5]. Встановлено, що в ряді фрагментів відстань між сусідніми зернами складає 2000-3000 нм і менше. Це свідчить про контакт цих зерен по граничних плівках реагенту-зв'язуючого, тобто наближення витрат реагенту до рівня раціонального за товщиною плівки. Разом з тим, у ряді інших фрагментів відстань між сусідніми вугільними зернами суттєво більша від 3000 нм, що свідчить про надлишок реагенту-зв'язуючого у гранулах (флокулах) та контакти вугільних зерен по значно

менш міцних об'ємних плівках реагента. Аналіз структури гранул і флокул показує наявність мережі суттєво більш міцних контактів по граничних плівках реагента, яка, імовірно, утворює міцний об'ємний каркас об'єкта-агрегата. Надлишок реагенту-зв'язуючого заповнює пори агрегату, обумовлені гранулометричним складом вихідного матеріалу. Цих пор тим більше, чим більше реальний гранулометричний склад вугільного шламу відрізняється від складу максимальної упаковки сипкого матеріалу за Фулером [6].

Висновки

1. Розроблена методика визначення раціональної товщини плівки масляного реагенту (флокулянту, зв'язуючого) на вугільній поверхні у процесах селективної агрегації та брикетування вугілля зі зв'язуючим. В основу покладена енергетична гіпотеза, за якою аналізується енергія адгезійного і когезійного розриву плівок реагенту.
2. Експериментально з використанням непрямої в'язкісної методики визначені значення товщини граничної плівки структурованого шару реагенту на вугіллі, яка для різних реагентів знаходиться в межах 180-1310 нм.
3. Дослідження ашліфів вуглемасляних структур – гранул та флокул – показують, що їх каркас утворюється просторовою мережею міцних контактів вугільних зерен по граничних плівках.
4. Спостерігається порядкова збіжність розрахункових та експериментальних даних раціональної товщини плівки реагенту (флокулянту, зв'язуючого) на вугільній

поверхні у процесах селективної агрегації та брикетування вугілля зі зв'язуючим. Це дозволяє покласти розроблену методику в основу розрахунку раціональних витрат реагенту при селективній агрегації та брикетуванні вугілля.

Бібліографічний список

1. Смирнов В.О. Технологія збагачення вугілля / В.О.Смирнов, П.В.Сергєєв, В.С.Білецький. – Донецьк: ДонДТУ, Східний видавничий дім, 2011. – 476 с.
2. Сергєєв П.В. Селективна флокуляція вугілля / П.В.Сергєєв, В.С.Білецький. – Донецьк: ДонДТУ, ДВНТ ім.Т.Г.Шевченка, Східний видавничий дім, 1999. – 136 с.
3. Бахрах Г.С. К оценке толщины адсорбционно-сольватного слоя битумов на поверхности минеральных частиц / Г.С.Бахрах, Ю.М.Малинский // Коллоидный журнал. – 1969. – Т. 31. – Вып. 1. – С. 8-12.
4. Товаров В.В. Прибор для измерения удельной поверхности порошкообразных материалов методом воздухопроницаемости / В.В.Товаров // Заводская лаборатория. – 1953. – № 5. – С. 620-623.
5. Белецкий В.С. Усовершенствованная методика препарирования углемасляного гранулята / В.С.Белецкий // Заводская лаборатория. – 1990. – № 12. – С.65-67.
6. Елишев А.Т. Брикетирование полезных ископаемых / А.Т.Елишев. – М.: Недра, 1989. – 300 с.

Рукопис надійшов до редакції 08.04.2014