

## ПРОДУКТИ КОКСОХІМІЇ ЯК РЕАГЕНТИ ДЛЯ ФЛОТАЦІЇ, СЕЛЕКТИВНОЇ ФЛОКУЛЯЦІЇ ТА АГЛОМЕРАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

© В.С. Білецький<sup>1</sup>, П.В. Сергєєв<sup>2</sup>*Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, Україна*<sup>1</sup>*Білецький Володимир Стефанович, докт. техн. наук, проф., зав. каф. обладнання нафтових та газових промислів, e-mail: [biletsk@i.ua](mailto:biletsk@i.ua)*<sup>2</sup>*Сергєєв Павло Всеволодович, докт. техн. наук, проф., e-mail: [kafedraongp@i.ua](mailto:kafedraongp@i.ua)*

*Виконано комплексне дослідження рідких продуктів коксохімії як реагентів для флотації, селективної флокуляції та агломерації вугілля. У першому блоці досліджень застосовані інфрачервона спектроскопія, а також технологічний експеримент. Порівняння одержаних даних ІЧ-спектроскопічних та технологічних досліджень показує, що висока агрегаційна здатність притаманна реагентам із значним вмістом ароматичних вуглеводнів і полярних груп, а низька – неароматичним структурам зі слабкою поверхневою активністю. У другому блоці досліджень з використанням симплекс-центроїдного плану Шеффе одержані моделі «склад – властивість» для композиційного реагента «тековий дистилат – друга антраценова фракція – вбирне масло».*

Ключові слова: рідкі продукти коксохімії, збагачення тонко дисперсного вугілля, симплекс-центроїдне моделювання складу композиційного реагенту.

\*\*\*\*\*

**П**остановка та стан вивчення проблеми Ряд чинників економічного, технологічного та екологічного плану обумовлюють актуальність проблеми пошуку і застосування нових реагентів для флотації, селективної флокуляції та агломерації вугілля практично всього ряду метаморфізму. Цьому сприяє широкий спектр поверхневих властивостей збагачуваного вугілля, застосування висококомплікованих комплексів для його видобутку, які спричиняють високий (до 25-30 %) вихід дрібного шламу [1-12].

Флотаційна та агрегаційна здатність реагентів для флотації, селективної флокуляції та агломерації вугілля головним чином визначається можливістю їх диспергації і утворення тонких плівок що обумовлюється в'язкістю речовини поверхневою активністю високою спорідненістю або мінімальною різницею в полярності з вугіллям (за відомим правилом Дебройна-Гувінка міцність адгезійного зв'язку «адгезив – субстрат» тим вища, чим менша різниця в полярності контактуючих фаз) здатністю утримувати омаслені вугільні зерна в одному агрегаті за рахунок високої когезії, поверхневого натягу зв'язуючого.

Тематиці вибору реагентів для флотації і агрегації тонко- і дрібнодисперсного вугілля присвячено велику кількість наукових праць. При цьому виділяються чотири групи аполлярних реагентів, використовуваних для флотації і селективної агрегації вугілля:

- 1) нафтопродукти;
- 2) реагенти з твердого палива;
- 3) вторинні масла;
- 4) реагенти-суміші.

В умовах дефіциту реагентів для вугільних технологій, все більшої актуальності набуває проблема одержання їх з продуктів коксохімії [1, 2, 12]. Реагенти з твердого палива доступні для масової промислової переробки вугілля, але містять деякі високошкідливі компоненти. З останніх слід особливо виділити феноли та піридин і його гомологи, які мають клас небезпеки 2. Попереднє виділення цих компонентів – особлива умова застосування рідких продуктів коксохімії в

якості флотореагентів та флокулянтів і зв'язуючих при збагаченні вугілля.

**Мета дослідження** – комплексне дослідження рідких продуктів коксохімії як реагентів для флотації, селективної флокуляції та агломерації вугілля.

**Методика дослідження** – молекулярна ІЧ-спектроскопія вугілля і реагентів, технічний аналіз речовин, технологічний експеримент, математичні методи симплекс-центроїдного планування експерименту.

**Досліджувані об'єкти:** вугілля марок Г та К; рідкі продукти коксохімії, в т.ч. наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики масляних реагентів з вугілля, торфу і сланцю

Реагент	Щільність при 20°C г/см <sup>3</sup>	В'язкість		Елементний склад, %						Фракційний склад		Вміст фенолів %
		При 80°C	умовна ВУ при 50°C	C <sup>r</sup>	H <sup>r</sup>	S <sup>r</sup>	O <sup>r</sup> +N <sup>r</sup>	W <sup>r</sup> <sub>1</sub>	A <sup>r</sup>	% об'єму °C перегонки		
Смола - кам'яновугільна коксування	1,17-1,22	2,5-4,2 Енглера	24	90	7	1	2	5	1	$\frac{10-14}{230}$ $\frac{9-13}{300}$ $\frac{22-29}{360}$ залишок	1,4-3,2	
- кам'яновугільна напівкоксування	1,0-1,2		6,8	85-80	7-11	1	3	5	1		7 – 33	
- буровугільна	0,9-1,1		10 <sup>*1</sup> -55 <sup>*2</sup>	83-85	7-11	1	3	5	1	$\frac{17}{250}$ $\frac{18}{300}$ $\frac{42}{360}$ залишок	16	
- торф'яна	0,95-1,1		5 <sup>*1</sup> -26 <sup>*2</sup>	85-87	9-10	0,1	2 <sup>*1</sup> -10 <sup>*2</sup>	5	1		15 -22	
-сланцева	0,96-1,0		1,6-4,7	83-84	5-10	0,5-2	5-6	5	1			
Вбирне масло	1,05-1,09		1,04 сСТ	90,0	6,4	0,3	3	0,2	0,1	$\frac{2-3}{230}$ $\frac{95}{285}$	0,7-0,8	
Антраценове масло	1,1-1,14		1,4-2,7сСТ	91,0	5,6	0,1	3	0,2	0,1	$\frac{1}{210}$ $\frac{25}{300}$ $\frac{65}{360}$		
Полімери бензольного виробництва	1,2		(20°C) 43,410 м <sup>2</sup> /с						1,5	$\frac{10}{250}$ $\frac{20}{270}$ $\frac{44}{360}$		

Примітки: Спосіб отримання: <sup>\*1</sup> напівкоксування; <sup>\*2</sup> газифікація

Для порівняння досліджувалися також реагенти-нафтопродукти та вторинні масла: пастові відходи масложирового виробництва, фуси бавовникового масла; виробничі відходи нафтомаслозаводу; масло АМТ-300; мазут М100.

#### Вклад основного матеріалу

1. ІЧ-спектроскопія рідких продуктів коксохімії.

Методом ІЧ-спектроскопії нами досліджено ряд речовин, використовуваних як зв'язуючі в процесах флотації та селективної агрегації вугілля – продуктів і відходів нафтопереробного, коксохімічного та масложирового виробництв, вторинних масел. Запис

ІЧ-спектрів здійснювався на спектрофотометрах UR-20 та "Specord IP-75" в таблетках КВг для твердих зразків та в тонкій плівці для рідких в діапазоні хвильових чисел 400-4000 см<sup>-1</sup>.

Аналіз ІЧ-спектрів показує, що продукти і відходи коксохімічного виробництва, нафтопродукти, смола напівкоксування відрізняються значним вмістом ароматичних (смути поглинання 1950-1900, 1770, 1600, 900-700 см<sup>-1</sup>) і неароматичних (смути 3040, 2920, 2850, 1450, 1380 см<sup>-1</sup>) вуглеводнів, містять функціональні групи (смути 3460, 2100 – 2000, 1700, 1320, 1270, 1240, 1180, 1030, 1010, 620 – 600 см<sup>-1</sup>) [1, 13-15].

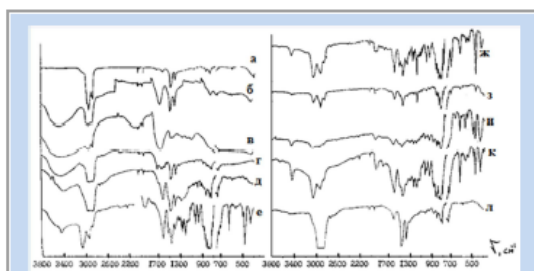


Рис. 1 ІЧ-спектри реагентів і зв'язуючих: а – масло АМГ-300; б – пасткові відходи, в – фуси бавовникового масла; г – виробничі відходи нафтомаслозаводу; д – смола напівкоксування вугілля; е – масло для омаслювання шихти (МОШ); ж – вбирне масло; з – полімери бензольного виробництва (ПБВ); п, к – антраценові фракції І і 2; л – мазут М100

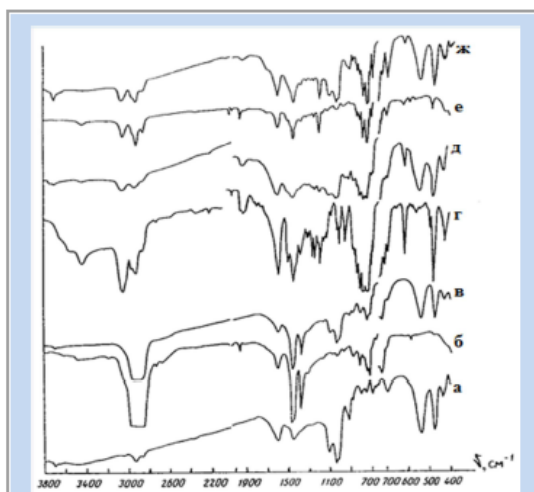


Рис. 2 ІЧ-спектри агрегатів та їх компонентів: а – вугілля марки К; б – мазут М100; в – агрегат «мазут-вугілля»; г – МОШ; д – агрегат «МОШ-вугілля»; е – ПБВ; ж – агрегат «ПБВ-вугілля»

Водночас, ІЧ-спектроскопією були досліджені явища у міжфазній зоні «вугілля-реагент». Характер виявлених змін у спектрі агломерату коксівного вугілля з мазутом (рис. 2.) свідчить, що поряд з неспецифічними взаємодіями у міжфазній зоні виникають водневі зв'язки. Це, зокрема, підтверджує зміна відносної інтенсивності піків поглинання при 3460 і в області 3200-3100  $\text{cm}^{-1}$ , які належать до валентних коливань груп ОН, зв'язаних

міжмолекулярним водневим зв'язком [13-15]. Зникнення в спектрі вугільно-мазутного агломерату (рис. 2, в) піку поглинання середньої інтенсивності при 2730  $\text{cm}^{-1}$ , який є в спектрі мазуту (рис. 2, б), за даними [13] можна пояснити розривом внутрішньоконкомплексних Н-зв'язків у мазуті при взаємодії зв'язаних груп ОН з функціональними групами вугілля. Що стосується змін у характері поглинання в області 1950-1900, 720-700  $\text{cm}^{-1}$ , то, ймовірно, вони пов'язані з накладанням піків поглинання вугілля та мазуту. В міжфазній зоні «коксівне вугілля – МОШ» кількість піків з різким зниженням інтенсивності та зсувом смуг поглинання значно більше, ніж в зоні «коксівне вугілля – мазут». Як видно з ІЧ-спектрів (рис. 2, а, г, д), адгезійні зв'язки МОШ з вугіллям обумовлені специфічними контактами, в першу чергу такими, як Н-зв'язки, а також, можливо, донорно-акцепторними і ковалентними полярними зв'язками. Про це свідчать зміни в спектрі агломерату при 3460, 3040, 1620, 1740  $\text{cm}^{-1}$ .

В агломератах «коксівне вугілля – полімер» (рис. 2, а, е, ж) специфічні контакти шляхом Н-зв'язків проявляються дещо слабкіше, але збільшуються зміни інтенсивності поглинання в ароматичній області, що важко пояснити тільки накладанням смуг поглинання. Напевно, в цьому комплексі є суттєвою взаємодія електродонорних фрагментів масла з електроакцепторними групами на поверхні вугілля. Останніми можуть виступати хіноїдні групи, катіони солей металів та ін.

Загалом, ІЧ-спектроскопія показує, що рідкі продукти коксохімії відрізняються значним вмістом ароматичних і неароматичних вуглеводнів, містять функціональні групи, що спричиняє їх адгезійну активність. Характер виявлених змін у спектрі агрегатів коксівного вугілля з рідкими продуктами коксохімії свідчить, що поряд з неспецифічними взаємодіями у міжфазній зоні «вугілля – реагент» виникають водневі зв'язки.

Це суттєво посилює міцність адгезійного зв'язку «вугілля – реагент» (енергія Н-зв'язку складає 5-6 ккал/моль, тоді як енергія фізичної, ван-дер-ваальсівської адгезії складає 0,1-2,4 ккал/моль).

Для визначення впливу різноманітних інгредієнтів зв'язуючих речовин на їх агрегаційну здатність в процесах флотації та селективної масляної агрегації вугілля нами співставлені хімічний склад зв'язуючих матеріалів і результати технологічного дослідження [16]. Для одержання представницьких даних технологічний експеримент був виконаний на вугіллі різних стадій метаморфізму. Режимні параметри агрегації: частота обертання валу мішалки  $n_v = 50 \text{ c}^{-1}$ ; витрати зв'язуючого  $Q_{sv} = 30 \%$  за масою; температура гідросуміші  $t_c = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ; Т:Р = 1:1; рН = 7. Критеріями агрегаційної здатності прийняті: час від початку процесу до руйнування

«амальгами»  $\tau_{ра}$  (за рекомендацією [17]) і діаметр вуглемасляних комплексів, що утворюються за час  $d_a$ .

Співставлення одержаних даних ІЧ-спектроскопічних та технологічних досліджень (табл. 2) показує, що висока агрегаційна здатність притаманна зв'язуючим із значним вмістом ароматичних вуглеводнів і полярних груп, а низька – неароматичним структурам зі слабкою поверхневою активністю. Підвищення агрегаційної здатності зв'язуючого за рахунок одно- та багатоядерних ароматичних сполук пов'язане, імовірно, з специфікою будови і

властивостей бензольних ядер – їх компланарністю і ненасиченістю С=C зв'язків.

2. Визначення оптимального складу реагента на основі продуктів коксохімії.

Розглянемо тепер визначення оптимального складу масляних реагентів на основі продуктів переробки кам'яновугільної смоли коксохімічного виробництва. Як вихідні компоненти композиційного реагента (флотореагента, селективного флокулянта, реагента для агломерації вугілля) в наших експериментах застосовувалися: вбирне масло ( $X_1$ ), друга антраценова фракція ( $X_2$ ) і пековий дистилат ( $X_3$ ).

Таблиця 2

Оцінка агрегаційної здатності різних пар «вугілля – зв'язуюче» (чисельник – діаметр вугільно-реагентних агрегатів, мм; знаменник – час руйнування вугле-реагентної «амальгами», с

Вугілля - зв'язуюче	Марка «К» ш. «Карагандинська» $A^d=29,0\%$	Марка «К» ш. «Кочегарка» $A^d=34,5\%$	Марка П ш. ім. «К.Маркса» $A^d=31,2\%$	Марка «Г» ш. «Абашевська» $A^d=25,0\%$	Марка «Г» ш. «Інська» $A^d=19,2\%$	Марка «Ж» ш. «Варгашорська» $A^d=19,2\%$	Буре вугілля КАБа $A^d=10,5\%$
Масло для омаслювання шихти	0,3 20	0,3 90	0,5 35	0,3 25	0,3 20	0,3 45	0,3 20
Вбирне масло	0,4 5	0,2 15	0,3 10	0,3 5	0,3 7	0,2 12	0,2 7
Антраценова фракція № 1	0,3 17	0,2 30	0,3 22	0,3 18		0,2 20	0,2 20
Полімери бензольного відділку	0,3 15	0,2 120	0,3 20	0,3 20	0,3 15	0,3 40	0,3 15
Мазут М100	0,3 55	0,3 120	0,3 75	0,4 60	0,3 90	0,3 75	0,3 90
Гас	0,2 50	0,2 110	0,2 60	0,3 40	0,2 50	0,2 60	0,2 80
ААР-2	0,3 17	0,3 23	0,3 15	0,3 12	0,3 15	0,3 20	0,3 11
Суміш ААР-2 (70%) та бітуму БН-3 (30%)	0,4 21	0,3 32	0,3 17	0,3 15	0,3 19	0,3 20	0,3 15
Дизельне паливо	0,3 45	0,3 120	0,3 65	0,3 45	0,2 70	0,2 65	0,2 85
Пастові відходи	0,1 10	0,1 30	0,1 15	0,1 15	0,1 20	0,1 15	0,1 20
ФВМ	0,1 300	флокул нет	0,1 720	0,1 720	0,1 1200	0,1 1200	флокул немає
Виробничі відходи	0,2 7	0,1 15	0,2 10	0,3 10	0,3 15	0,3 12	0,3 10
Смола напів-коксування	0,2 10	0,1 30	0,2 75	0,3 10	0,4 7	0,2 10	0,2 10
Вторинні масла	0,1 280	0,1 1000	0,1 900	0,1 900	флокул немає	флокул немає	0,1 1250

Як відомо, груповий хімічний склад більшості масляних реагентів являє собою суміш різноманітних вуглеводних речовин, співвідношення між якими може коливатися в дуже широких межах [1, 18, 19]. Тому визначення раціонального складу масляних реагентів є

актуальним питанням розробки промислової технології флотажі та селективної агрегації вугілля маслами.

Подібні дослідження найбільш доцільно проводити методами симплекс-решітчатого або симплекс-центроїдного планування для систем «склад-властивість». У даній роботі був використаний симп-

лекс-центроїдний план Шеффе, що забезпечує рівномірний розкид експериментальних точок у багатомірному просторі [20].

Суть досліджень полягала у визначенні впливу складу композиційного флокулянта на показник вилучення вугільних фракцій у концентрат,  $\varepsilon$ . Цей параметр виступав як цільова функція і визначався з виразу:

$$\varepsilon = \frac{A_0^d - A_k^d}{A_0^d - A_k^d} \cdot \frac{100 - A_n^d}{100 - A_n^d} \cdot 100, \% \quad (1)$$

де  $A_0^d, A_k^d$  і  $A_n^d$  – зольності відходів, концентрату і вихідного вугілля відповідно.

Дослідження проводилися на шламах крупністю – 0,1 мм таких чотирьох марок донецького вугілля:

- марки Д (ш. Трудівська), довгополум'яне,  $A_n^d = 34,2\%$ ;
- марки Г (ш. Куйбишевська), газове,  $A_n^d = 35,7\%$ ;
- марки К (ш. ім. Леніна), коксівне,  $A_n^d = 33,7\%$ ;
- марки П (ш. «Комсомолец Донбасу»), пісне,  $A_n^d = 35,1\%$ .

Рівняння регресії розроблялися окремо для кожної марки вугілля. В усіх експериментах, що реалізують матрицю трикомпонентного симплекс-центроїдного плану, витримувалась умова:

$$\sum_{i=1}^3 X_i = 1 \quad (2)$$

де  $X_i$  – пайова участь у реагенті  $i$ -го компонента. Витрати реагента в усіх дослідках складали 1% від маси вихідного шламу.

Дослідження проводилися на лабораторній установці, що включає високошвидкісний імпульсний змішувач з камерою обсягом 750 см<sup>3</sup> і лабораторну флотомашину ФЛ-1 з таким же обсягом камери. Вихідна водовугільна суспензія густиною 150 кг/м<sup>3</sup> оброблялася в змішувачі реагентом, склад якого відповідав необхідному згідно плану експерименту. Після турбулентного перемішування протягом 60 с при частоті  $n = 2500$  хв<sup>-1</sup> зфлокульований продукт піддавався наступному флотатійному розділенню за рахунок аероефекту в камері флотомашини без подачі додаткових реагентів. Продукти розділення висушувалися і піддавалися аналізу на зольність. За даними аналізів згідно рівняння (1) розраховувалися значення цільової функції – вилучення  $\varepsilon$ .

Розробка планів експериментів, оцінка значимості коефіцієнтів і адекватності регресійних моделей у цілому, а також аналіз отриманих рівнянь здійснювалися за допомогою модуля «Планування експерименту» програми Statgraphics Plus.

Попередня оцінка показала, що серед пропонуваного модулі регресійних моделей сумішей (лінійною, квадратичною, кубічною і спеціальною кубічною) найбільш високими статистичними характеристиками володіє модель другого порядку, що описується поліномом:

$$\varepsilon_p = \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i \neq j}^3 b_{ij} x_i x_j \quad (3)$$

Тому всі наступні розрахунки й оцінки здійснювалися на основі цієї моделі. Усі регресійні моделі статисти-

чно значимі. Про це свідчать високий рівень значимості ( $p < 0,05$ ) і великі (понад 90%) значення коефіцієнта детермінації  $R^2$  для усіх без винятку моделей. Це дозволяє вважати ці моделі адекватними досліджуваному процесові.

Отримані рівняння регресії для різних марок вугілля мають такий вигляд:

$$\text{марка Д: } \varepsilon = 91,1235 \cdot X_1 + 88,1962 \cdot X_2 + 80,9508 \cdot X_3 + 5,03952 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,94861 \cdot X_1 \cdot X_3 + 13,4941 \cdot X_2 \cdot X_3 - 4,76443 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

$$\text{марка Г: } \varepsilon = 88,4826 \cdot X_1 + 88,1008 \cdot X_2 + 80,9372 \cdot X_3 + 11,9668 \cdot X_1 \cdot X_2 + 12,8395 \cdot X_1 \cdot X_3 + 13,2759 \cdot X_2 \cdot X_3 - 13,7644 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

$$\text{марка К: } \varepsilon = 88,4178 \cdot X_1 + 90,836 \cdot X_2 + 80,836 \cdot X_3 + 4,50744 \cdot X_1 \cdot X_2 + 9,30744 \cdot X_1 \cdot X_3 + 7,3438 \cdot X_2 \cdot X_3 + 41,0827 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

$$\text{марка П: } \varepsilon = 88,3531 \cdot X_1 + 90,7712 \cdot X_2 + 80,9712 \cdot X_3 + 4,24861 \cdot X_1 \cdot X_2 + 17,4486 \cdot X_1 \cdot X_3 + 15,485 \cdot X_2 \cdot X_3 - 6,56441 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

На рис. 3 представлені тернарні тривимірні графіки поверхонь відгуку, а на рис. 4 – контурні криві (карти ліній рівня) цих поверхонь. На основі представлених графіків виконаємо оцінку впливу складу композиційних реагентів на їх флокулюючу здатність.



Рис. 3 Тернарні графіки поверхонь відгуку

Як видно з рисунків та з рівняння регресії, у випадку флокуляції вугілля марки Д однокомпонентними флокулянтами їх ефективність зростає в ряду «пековий дистилат ( $X_3$ ) – друга антраценова фракція ( $X_2$ ) – вбирне масло ( $X_1$ )».

Найбільш високою ефективністю володіють двокомпонентні суміші на основі вбирного масла і другої антраценової фракції. Оптимальний склад двокомпонентного флокулянта має таке співвідношення складових:  $X_1 = 80\%$ ,  $X_2 = 20\%$ .



Рис. 4 Контурні криві поверхнь відгуку

У випадку вугілля марки Г відзначені вище особливості в основному зберігаються. Але слід відмітити значне зростання частки другої антраценової фракції ( $X_2$ ) в двокомпонентному флокулянті. В цьому випадку оптимальний склад флокулянта такий:  $X_1 = 52\%$ ,  $X_2 = 48\%$ .

При селективній флокуляції вугілля марки К однокомпонентними флокулянтами їх ефективність зростає в ряду «пековий дистилат ( $X_3$ ) – вбирне масло ( $X_1$ ) – друга антраценова фракція ( $X_2$ )». Таким чином, серед інших індивідуальних реагентів найбільш високу флокулюючу здатність на вугіллі К має друга антраценова фракція. В разі композиційних флокулянтів найбільш ефективна трикомпозиційна суміш такого складу:  $X_1 = 33\%$ ;  $X_2 = 54\%$ ;  $X_3 = 13\%$ .

Флокуляція індивідуальними і композиційними флокулянтами вугілля марки П (пісне) має ті ж самі тенденції, що і у випадку вугілля марки К – висока флокулююча здатність другої антраценової фракції, найбільша ефективність трикомпонентних флокулянтів. Оптимальний склад флокулянта такий:  $X_1 = 8\%$ ;  $X_2 = 75\%$ ;  $X_3 = 17\%$ . Особливістю в даному випадку можна вважати зростання частки у композиційному флокулянті другої антраценової фракції та пекового дистилату.

Узагальнюючи одержані результати, можна зазначити такі особливості селективної флокуляції вугілля широкого метаморфічного ряду композиційними флокулянтами на основі коксохімічних продуктів. По-перше, у випадку флокуляції вугілля малого ступеня вуглефікації (марок Д і Г) найбільшою ефективністю володіють двокомпонентні реагенти на основі вбирного масла і другої антраценової фракції. По-друге, при флокуляції вугілля середньої і високої стадії вуглефікації найбільш ефективними стають трикомпонентні суміші з додатком пекового дистилату.

В цілому слід відмітити, що по мірі зростання хімічної зрілості вугілля для його ефективної флокуляції

потрібно знижувати частку в композиційному реагенті вбирного масла та поступово підвищувати частку другої антраценової фракції і пекового дистилату. Для групового хімічного складу цих реагентів характерне зростання ступеня ароматичності в такому ряді: – вбирне масло – друга антраценова фракція – пековий дистилат.

Очевидно, специфічні особливості будови ароматичних кілець (компланарність, ненасиченість С-С зв'язків) обумовлюють високу активність кам'яновугільних масел до вугільної поверхні. Ця активність набуває вирішального значення у випадку флокуляції більш хімічно зрілого вугілля, оскільки його структурна одиниця – макромолекула – також відрізняється максимальною ароматичністю за рахунок домінування ядерної частини над периферійною.

### Висновки

1. ІЧ-спектроскопія реагентів для флотажії, селективної флокуляції та агломерації вугілля на основі продуктів коксохімії, а також агрегатів «вугілля – реагент» показала що рідкі продукти коксохімії відрізняються значним вмістом ароматичних і неароматичних вуглеводнів, містять функціональні групи, що спричиняє їх високу адгезійну активність. Характер виявлених змін у спектрі агрегатів коксівного вугілля з продуктами коксохімії свідчить, що поряд з неспецифічними взаємодіями у міжфазній зоні «вугілля – реагент» виникають водневі зв'язки. Це суттєво посилює міцність адгезійного зв'язку «вугілля – реагент».

2. Співставлення одержаних даних ІЧ-спектроскопічних та технологічних досліджень показує, що висока агрегаційна здатність притаманна зв'язуючим із значним вмістом ароматичних вуглеводнів і полярних груп, а низька – неароматичним структурам зі слабкою поверхневою активністю. Підвищення агрегаційної здатності зв'язуючого за рахунок одно- та багатоядерних ароматичних сполук пов'язане, імовірно, з специфікою будови і властивостей бензольних ядер – їх компланарністю і ненасиченістю С=C зв'язків.

3. З використанням симплекс-центроїдного плану Шеффе одержані моделі «склад – властивість» для композиційного реагента «пековий дистилат – друга антраценова фракція – вбирне масло». Аналіз результатів симплекс-центроїдного моделювання дозволив виявити такі особливості селективної флокуляції вугілля широкого метаморфічного ряду композиційними флокулянтами на основі коксохімічних продуктів. По-перше, у випадку флокуляції вугілля малого ступеня вуглефікації (марок Д і Г) найбільшою ефективністю володіють двокомпонентні реагенти на основі вбирного масла і другої антраценової фракції. По-друге, при флокуляції

вугілля середньої і високої стадії вуглефікації найбільш ефективними стають трикомпонентні суміші з додатком пекового дистилату.

В цілому слід відмітити, що по мірі зростання хімічної зрілості вугілля для його ефективної флокуляції потрібно знижувати частку в композиційному реагенті вбирного масла та поступово підвищувати частку другої антраценової фракції і пекового дистилату. Для групового хімічного складу цих реагентів характерне зростання ступеня ароматичності в такому ряді: вбирне масло – друга антраценова фракція – пековий дистилат.

#### Бібліографічний список

1. Білецький В.С. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля / В.С. Білецький, П.В. Сергєєв, Ю.Л. Панушин. – Донецьк: Грань. – 1996. – 264 с.
2. Саранчук В.И. Флотирование углей реагентами из продуктов коксохимии / В.И. Саранчук, П.А. Арошин, Л.Я. Галушко. – Донецьк: Східний видавничий дім, Кальміус. – 2006. – 192 с.
3. Гиззатов А.А. Разработка флотационных реагентов для процесса обогащения высокозольных углей / А.А. Гиззатов [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2013. – Т. 20. – № 4. – С. 86-89.
4. Abramov A.A. Principles of physico-chemical optimization of mineral flotation Text. / A.A. Abramov // Proc. 20-th Int. Miner. Process. Congress (Aachen, 21-26 Sept., 1997). Claussthal-Zeleerfeld, 1997. – Vol. 3. – P. 328.
5. Ahmet Gürses, Kemal Doymuş, Samih Bayrakçeken. Selective oilagglomeration of brown coal: a systematic investigation of the design and process variables in the conditioning step // Fuewl. – V. 75. – Issue 10, August. – 1996. – Pages 1175-1180 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://elibrary.ru/keyword\\_items.asp?keywordid=165655](http://elibrary.ru/keyword_items.asp?keywordid=165655).
6. Білецький В.С. Кінетика агрегатоутворення при масляній агломерації вугілля / В.С. Білецький, П.В. Сергєєв, С.Ю. Потапенко // Збагачення корисних копалин. – 2014. – № 57(98). – С. 138-141.
7. Ahmet Gürses, Kemal Doymuş, Samih Bayrakçeken. Evaluation of response of brown coal to selective oil agglomeration by zeta potential measurements of the agglomerates / A. Gürses, K. Doymuş, S. Bayrakçeken // Fuewl. – V. 76. – Issues 14-15, November-December 1997. – P. 1439-1444.
8. Shrauti S.M., Arnold D.W. Recovery of waste fine coal by oil agglomeration / S.M. Shrauti, D.W. Arnold // Fuel. – 1995. – V. 74. – № 3. – P. 454-465.
9. Tovas D. Wheelock ea. The role of eir in oil agglomeration of coal at a moderate shear rate / D. Tovas // Fuel – 1994. – V. 73. – № 7. – P. 1103-1107.
10. Харата Т. Агломерация у рідинах / Т. Харата, Т. Мацуо / Ніхон Когьо Кайсі. – 1982. – № 1134. – С. 714-722.
11. Unal, I.; Gorgun Ersan, M. Factors affecting the oil agglomeration of Sivas-Divrigi Ulucayir lignite / I. Unal, M. Gorgun Ersan // Energy Sources. – 2007. – Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – V. 29. – Issue 11. – P. 893-993.
12. Сергєєв П.В. Селективна флокуляція вугілля / П.В. Сергєєв, В.С. Білецький. – Донецьк: ДонДТУ, УК-Центр, Східний видавничий дім, 1999. – 136 с.
13. Лазаров Л. Структура и реакции углей / Л. Лазаров, Г. Анселова. – София: Болгарская Академия наук, 1990. – 232 с.
14. Саранчук В.И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля / В.И. Саранчук, А.Т. Айруни, К.Е. Ковалев. – Київ: Наукова думка, 1988. – 192 с.
15. Білецький В.С. Розробка наукових основ і способів селективної масляної агрегації вугілля та вуглевізаючих продуктів. – Дисертація на здобуття вченого ступеня докт. техн. наук. – Донецьк, 1994. – 452 с.
16. Madhusudfm K.P. Effect of process variables on oil agglomeration of coal slurries / K.P. Madhusudfm, P. Bandopadhyay, T.C. Pao // Mining and Met. Div. – 1982. – № 1. – P. 72-74.
17. Саранчук В.И. Основы химии і фізики горючих копалин / В.И. Саранчук, М.О. Ілляшов, В.В. Ошовський, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – 640 с.
18. Смирнов В.О. Флотаційні методи збагачення корисних копалин / В.О. Смирнов, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. – 492 с.
19. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 296 с.
20. Сергєєв П.В. Комп'ютерне моделювання технологічних процесів переробки корисних копалин / П.В. Сергєєв, В.С. Білецький. – Маріуполь: Східний видавничий дім, 2016. – 119 с.

Рукопис надійшов до редакції 01.07.2016

---

**PRODUCTS OF COKEMAKING AS A REAGENTS FOR FLOTATION, SELECTIVE FLOCCULATION AND AGGLOMERATION OF COAL**

© Biletsky V.S., Doctor of Technical Sciences, Sergeev P.V., Doctor of Technical Sciences (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University)

*A comprehensive study has been fullfiled of liquid products of cokemaking as reagents for flotation, selective flocculation and agglomeration of coal.*

*In the first block of research infrared spectroscopy has been applied as well as the technological experiment. The comparison of the data obtained by IR-spectroscopic and technological research shows that high aggregative ability inherent for the reagents with a high content of aromatic hydrocarbons and polar groups, and a low aggregative ability – for nonaromatic structures with weak surface activity. The second block of studies using simplex Scheff-plan the models «structure – property» for composite reagent «coal pitch distillate – second anthracene fraction – absorbing oil» have been derived.*

Keywords: liquid products of cokemaking, the fine coal processing, simplex modeling of composite reagents.

---