

ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА РАЦІОНАЛЬНИХ ВИТРАТ ЛАТЕКСНОГО РЕАГЕНТУ ПРИ СЕЛЕКТИВНІЙ ФЛОКУЛЯЦІЇ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ВУГІЛЛЯ

© П.В. Сергєєв¹

Донецький національний технічний університет, 85300, Донецька обл., м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2, Україна

О.А. Круть²

Державне підприємство "Державний науково-дослідний, проектно-конструкторський і проектний інститут вугільної промисловості "УКРНДПРОЕКТ", 03142, м. Київ, Святошинський район, просп. Академіка Палладіна, 46/2, Україна

*В.С. Білецький³

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, Україна

¹ Сергєєв Павло Всеволодович, докт. техн. наук., с.н.с., професор кафедри геології розвідки та збагачення корисних копалин² Круть Олександр Анатолійович, докт. техн. наук, директор, e-mail: post@ump.kiev.ua³ Білецький Володимир Стефанович, докт. техн. наук, проф., професор кафедри видобування нафти, газу та конденсату, e-mail: dngik@ukr.net

Статтю присвячено одній з найбільш складних проблем вугільних технологій – переробці тонкодисперсного (-100-200 мкм) і особливо ультратонкого (-50 мкм) вугілля. Ефективність традиційних гравітаційних та флотаційних технологій суттєво зменшується зі зменшенням крупності збагачуваного вугілля. Одним з перспективних напрямків вилучення такого вугілля з рядової вугільної маси в концентрат є флокуляційно-флотаційна технологія, яка передбачає селективну флокуляцію ультратонкого вугілля перед флотацією із застосуванням синтетичних латексних реагентів.

Авторами виконано теоретичний аналіз і аналітичну оцінку раціональних витрат латексного флокулянта в процесі селективної флокуляції ультратонкого вугілля у рамках флокуляційно-флотаційної технології його збагачення.

Поставлену задачу розв'язували в два етапи. На першому визначалася раціональна довжина латексних ланцюжків між вугільними частинками. Показано, що оптимальні витрати латексного флокулянта повинні забезпечувати середню довжину полімерних місточків між вугільними частинками в межах 100-300 нм. Більша довжина цих місточків недоцільна, оскільки не тільки не збільшує енергію зв'язку вугільних частинок у флокулі, але, і навпаки, ослаблює її, оскільки на великих відстанях зникає вторинний енергетичний мінімум, і відповідно, дальня взаємодія між частинками.

На другому етапі здійснювався вивід аналітичного виразу для витрати латексного флокулянта. При цьому виходили з того, що для визначення витрати латексного флокулянта, крім довжини його ланцюжків, необхідно визначити ступень покриття латексними ланцюжками вугільної поверхні відомої питомої площі. Одержаний аналітичний вираз дозволяє теоретично оцінити оптимальні межі витрат флокулянта залежно від властивостей вихідного вугілля, колоїдно-хімічних характеристик застосованого синтетичного латексу і довжини місточкових зв'язків.

Ключові слова: збагачення вугілля, флокуляційно-флотаційна технологія, селективна латексна флокуляція, раціональні витрати латексного флокулянта.

Постановка проблеми і стан її вирішення. Первинна переробка тонкодисперсного вугілля, яка передбачає виділення його у концентрат, є актуальною проблемою сучасного вуглезбагачення. Використання тради-

* Автор для кореспонденції

ційних технологій вичерпало себе, так як, по-перше, гравітаційні методи збагачення мають відоме обмеження застосування за нижнім рівнем крупності збагачуваного матеріалу: для відсадки 0,5-1,0 мм, для гвинтової сепарації і важкосередовищних гідроциклонів 0,1-0,2 мм, а, по-друге, флотація, найбільш застосовувана для збагачення вугілля крупністю 0-0,5 мм неефективна для класів крупності -50 мкм. Це обумовлює необхідність пошуку нетрадиційних методів збагачення вугільних шламів, особливо тонкодисперсних зі значним вмістом класів -50 мкм. Одним з перспективних напрямків є флокуляційно-флотаційна технологія, яка передбачає селективну флокуляцію ультратонкого (-50 мкм) вугілля перед флотацією із застосуванням синтетичних латексних реагентів [1-3].

Дослідження показали, що серед великої різноманітності технологічних чинників, що впливають на ефективність процесу селективної флокуляції, найважливішими є витрати латексного флокулянта [1- 3]. У разі недостатньої кількості флокулянта різко знижується вихід концентрату і якість продуктів флотації за рахунок втрати тонких вугільних фракцій з відходами, при його надлишку – спостерігається забивання латексним коагулятом жолобів, трубопроводів, робочих поверхонь сит вакуум-фільтрів, грохотів і іншого устаткування.

В той же час більшість досліджень цього параметра носить частковий, емпіричний характер. Рекомендовані оптимальні межі витрат латексного флокулянта змінюються в широких межах – від 50-100 [1] до 300-400 г/т [2], погано ув'язуються з їх специфічними колоїдно-хімічними характеристиками і властивостями флокулюючого матеріалу і не мають достатнього теоретичного обґрунтування.

Мета роботи – теоретичний аналіз і аналітична оцінка раціональних витрат латексного флокулянта в процесі селективної флокуляції ультра тонкого (-50 мкм) вугілля у рамках флокуляційно-флотажної технології його збагачення.

При цьому ставилася задача отримання аналітичної залежності, що пов'язує цей параметр з основними властивостями флокулянта і збагаченого матеріалу.

Вклад основного матеріалу. Поставлена задача розв'язувалася в два етапи – спочатку визначалася раціональна довжина латексних ланцюжків між вугільними частинками, а потім здійснювався вивід аналітичного виразу для витрати латексного флюклянтя.

1. Визначення раціональної довжини латексних ланцюжків у вуглелатексній флокулі

Об'єктом селективної флокуляції латексами є водні суспензії вугільних шламів, представлені переважно частинками крупністю менше 50-100 мкм. Подібні гетерогенні системи розглядаються в колоїдній хімії як грубодисперсні, яким властиве багато ознак істинно

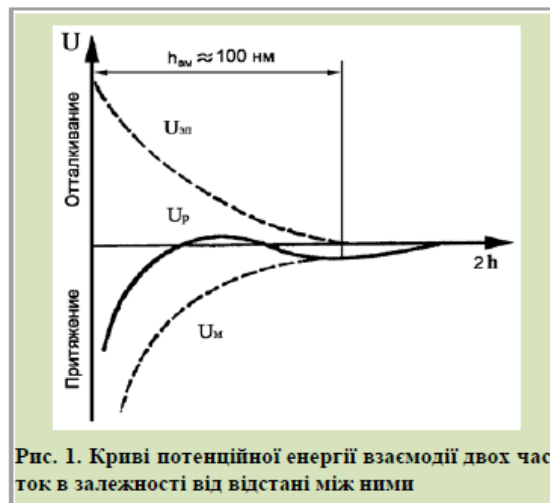
колоїдних структур. Зокрема, на поверхні вугільних частинок у воді формується подвійний електричний шар іонів (ПЕШ), їх поведінка в суспензії добре описується з позицій теорії стійкості гідрофобних колоїдів (теорії ДЛФО) [5].

Згідно цієї теорії, агрегативна стійкість водовугільної суспензії визначається результатом сумісної дії міжмолекулярних Ван-дер-Ваальсових сил притягання та іонно-електростатичних сил відштовхування між одноімменно зарядженими вугільними частинками [5]. Залежно від балансу цих сил в зоні контакту виникає або позитивний розклинюючий тиск, що перешкоджає коагуляції вугільних частинок, або негативний, що сприяє цій коагуляції.

Вираз для сумарної енергії взаємодії двох вугільних частинок крупністю більше 1 мкм (радіус яких набагато перевищує товщину дифузного шару ПЕШ) і потенціалом поверхні в декілька десятків мілівольт має наступний вигляд:

$$U_p = U_{3,1} + U_M = \frac{64 \cdot c \cdot R \cdot T}{\gamma} \cdot \gamma^2 \cdot \exp(-2 \cdot \chi \cdot h) - \frac{A}{h^3}, \quad (1)$$

де U_{33} – енергія іонно-електростатичної взаємодії; U_m – енергія міжмолекулярної Ван-дер-Ваальсової взаємодії; c – концентрація в суспензії електроліту, що визначає характеристики ПЕШ; χ і γ – параметри, залежні від заряду вугільних частинок і протяжності ПЕШ; R – газова постійна; T – абсолютна температура; A – константа Гамакера.



Як витікає з рівняння (1), залежність $U(h)$ для $U_{\text{эл}}$ має експоненціальний, а для U_v – зворотно степеневий

характер. Тому сумарна залежність $U_p(h)$ має складний характер.

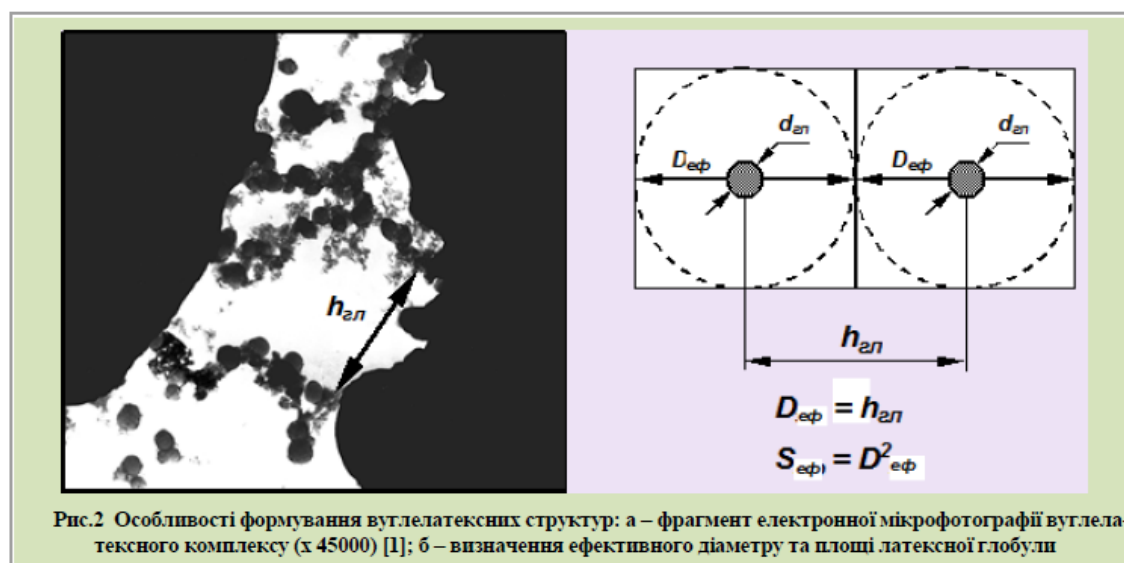
Типовий приклад залежності $U_p(h)$ приведений на рис.1. Як видно, на дуже малих відстанях (десяті частки нанометра) між частинками виникає притягання, що обумовлює необоротну їх коагуляцію в первинному енергетичному мінімумі. На середніх відстанях ($h \approx 1-100$ нм) між вугільними частинками виникає електростатичний бар'єр відштовхування. На великих відстанях виникає вторинний енергетичний мінімум, обумовлений тим, що степенева функція (U_d) убуває значно повільніше, ніж експонента (U_{st}). В результаті між частинками виникає дальня взаємодія – притягання. Частинки при цьому фіксуються на відстані h_{em} , що відповідає вторинному енергетичному мінімуму. Як наголошується в роботі [5], в більшості випадків $h_{em} \approx 100$ нм, і як видно з рис.1, перевищує подвоєний радіус дії іонно-електростатичних сил відштовхування.

Необоротна коагуляція вугільних частинок можлива лише при зникненні (або істотному зниженні) енергетичного бар'єру відштовхування за рахунок стиснення ПЕШ при збільшенні концентрації електроліту-коагулянту. Подібний метод агрегації неефективний, оскільки, по-перше, не забезпечує вибіркової коагуляції тільки вугільних частинок, і, по-друге, відрізняється високими витратами реагентів-електролітів.

Дальня коагуляція частинок у вторинному мінімумі також не ефективна, оскільки не відрізняється високою вибірковістю по відношенню до вугільних частинок. Крім того, просторові коагуляційні структури, що утворюються, нестійкі і легко руйнуються в турбулентних потоках суспензії. Все це свідчить про необхідність застосування флокуляційного методу агрегації частинок, який відрізняється селективністю і відносно високою міцністю флокул.

Проведений аналіз дозволяє сформулювати важливий теоретичний висновок для процесу селективної флокуляції вугілля латексом. Як відомо, вибіркова агрегація вугільних частинок у флокули забезпечується за рахунок полімерних місточків, що складаються з латексних глобул, що коагулювали (рис.2 а). При цьому витрати флокулянту визначаються числом латексних ланцюжків, а також їх довжиною.

Виходячи з уявлень про вторинний енергетичний мінімум на кривих $U_p(h)$, можна припустити, що довжина латексних ланцюжків-містків L_q повинна бути не менше h_{em} . Дійсно, якщо $L_q \geq h_{em}$, то енергія зв'язку двох вугільних частинок латексним ланцюжком доповнюється енергією дальнього притягання частинок, що знаходяться у вторинному мінімумі. Якщо $L_q < h_{em}$, то енергія зв'язку вугільних частинок зменшується за рахунок виникнення між ними електростатичних сил відштовхування.



Отже, для отримання стійких флокуляційних структур необхідно виконувати умову: $L_q \geq h_{em}$, тобто $L_q \geq 100$ нм. Оскільки поверхня тонких вугільних частинок не ідеально гладенька, а шорстка, і висота виступів і западин на їх поверхні може досягати, згідно [5], декількох десятків нанометрів, то оптимальна довжина

латексних ланцюжків, очевидно, повинна знаходитися в межах

$$L_q = (1-3) \cdot h_{em} = 100-300 \text{ нм.}$$

Таким чином, оптимальні витрати латексного флокулянту повинні забезпечувати середню довжину полімерних місточків між вугільними частинками в межах

100-300 нм. Більша довжина цих містків недоцільна, оскільки не тільки не збільшує енергію зв'язку вугільних частинок у флокулі, але, і навпаки, ослаблює її, оскільки на великих відстанях зникає вторинний енергетичний мінімум, і відповідно, дальня взаємодія між частинками.

2. Одержання аналітичного виразу для визначення раціональних витрат латексного флокулянту необхідного для флокуляції ультратонкого вугілля

Для визначення витрати латексного флокулянту $Q_{\text{фл}}$, крім довжини його ланцюжків, необхідно знати їх загальну кількість в мікрофлокулах. Остання задача, по суті, зводиться до визначення ступеня покриття латексними ланцюжками вугільної поверхні відомої питомої площі.

Вивчення фотографій вуглелатексних комплексів, одержаних в роботі [1] за допомогою електронної мікроскопії при збільшеннях $\times 20000-60000$, показує, що середня відстань між окремими латексними містками $h_{\text{ст}}$ в площині вугільної поверхні в середньому складає близько 1 мкм (див. рис. 2а). Введемо поняття "ефективного діаметру глобули $D_{\text{еф}}$ " як діаметру ділянки вугільної поверхні, за яку "відповідальна" латексна глобула, що закріпилася на цій поверхні (див. рис. 2б). Як випливає з геометричних побудов, наведених на рис. 2б, $D_{\text{еф}} = h_{\text{ст}}$. Тоді площу квадрата $S_{\text{еф}} = D_{\text{еф}}^2$ можна вважати "ефективною" площею латексної глобули (або ланцюжка).

Загальну кількість глобул, що припадають на одиницю маси вугілля, можна визначити з виразу:

$$N = \frac{S_{\text{мтл}}}{S_{\text{еф}}} \cdot \frac{L_{\text{л}}}{d_{\text{ст}}}, \quad (2)$$

де $S_{\text{мтл}}$ – питома поверхня вугілля, $\text{м}^2/\text{кг}$; $d_{\text{ст}}$ – середній діаметр латексних глобул, м ; $L_{\text{л}}$ – довжина латексного ланцюжка, м ; $S_{\text{еф}}/S_{\text{еф}}$ – кількість латексних ланцюжків; $L_{\text{л}}/d_{\text{ст}}$ – кількість глобул в ланцюжку.

Тоді витрати флокулянту $Q_{\text{фл}}$ (у кг на тону вугільного шламу) складуть:

$$Q_{\text{фл}} = 1000 \cdot N \cdot V_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{фл}}, \quad (3)$$

де $V_{\text{ст}}$ – об'єм глобули; $\rho_{\text{фл}}$ – густина флокулянту.

Підставимо вираз (2) в рівняння (3) і розкриємо величини $V_{\text{ст}}$ і $S_{\text{еф}}$:

$$S_{\text{мтл}} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{6}{\rho_{\text{зе}}} \cdot \frac{(1-e^{-b \cdot x^n})'}{x} dx = \frac{610^6 \cdot b \cdot n}{\rho_{\text{зе}}} \int_{x_1}^{x_2} x^{(n-2)} \cdot \exp(-b \cdot x^n) dx \quad (6)$$

Підставимо вираз (6) в рівняння (5):

$$Q_{\text{фл}} = \frac{1 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot \rho_{\text{фл}} \cdot L_{\text{л}} \cdot d_{\text{ст}}^2 \cdot b \cdot n}{D_{\text{еф}}^2 \cdot \rho_{\text{зе}}} \cdot \int_{x_1}^{x_2} x^{(n-2)} \cdot \exp(-b \cdot x^n) dx \quad (7)$$

$$Q_{\text{фл}} = 1000 \cdot \frac{S_{\text{мтл}}}{D_{\text{еф}}^2} \cdot \frac{L_{\text{л}}}{d_{\text{ст}}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ст}}^3}{6} \cdot \rho_{\text{фл}} \quad (4)$$

Після перетворень маємо:

$$Q_{\text{фл}} = \frac{1000 \cdot \pi}{6} \cdot \frac{S_{\text{мтл}} \cdot L_{\text{л}} \cdot d_{\text{ст}}^2}{D_{\text{еф}}^2} \cdot \rho_{\text{фл}} \quad (5)$$

Як вже встановлено вище, $L_{\text{л}} = 100-300$ нм; $D_{\text{еф}} = 1$ мкм; $S_{\text{еф}} = D_{\text{еф}}^2$. Діаметр латексних глобул змінюється в межах $d_{\text{ст}} = 10-200$ нм [11]. У разі бутадієн-стиролових латексів $d_{\text{ст}} = 40-80$ нм. Таким чином, для практичних розрахунків $Q_{\text{фл}}$ по рівнянню (5) необхідно знайти аналітичний вираз для $S_{\text{мтл}}$ початкового вугілля.

Для визначення $S_{\text{мтл}}$ скористаємося відомим рівнянням сумарної характеристики крупності Розіна-Раммлера. Як наголошується в роботах [6, 7], воно найбільш прийнятне для оцінки розподілу за крупністю дроблених і подрібнених продуктів – зливів млинів, класифікаторів і т.п., зокрема різних шламових матеріалів.

Рівняння сумарної характеристики крупності Розіна-Раммлера "по мінусу" має вигляд:

$$R^- = 1 - e^{-b \cdot x^n},$$

де R^- – вихід зерен менше діаметру x . Тоді вихід елементарного класу крупною від x до $x + dx$ складе:

$$dR^- = (1 - e^{-b \cdot x^n})' dx.$$

У одиниці маси матеріалу густиною $\rho_{\text{зе}}$ об'єм елементарного класу складе:

$$\frac{dR^-}{\rho_{\text{зе}}} = \frac{(1 - e^{-b \cdot x^n})' dx}{\rho_{\text{зе}}}.$$

Для одного зерна кубічної форми об'єм рівний x^3 , а поверхня $6x^2$. Тоді число зерен в елементарному класі

$$dN = \frac{dR^-}{\rho_{\text{зе}} \cdot x^3}, \text{ а поверхня зерен:}$$

$$dS = \frac{6x^2 \cdot dR^-}{\rho_{\text{зе}} \cdot x^3} = \frac{6 \cdot dR^-}{\rho_{\text{зе}} \cdot x}$$

Питома поверхня зерен $S_{\text{мтл}}$ в класі крупніше x_1 і дрібніше x_2 складе:

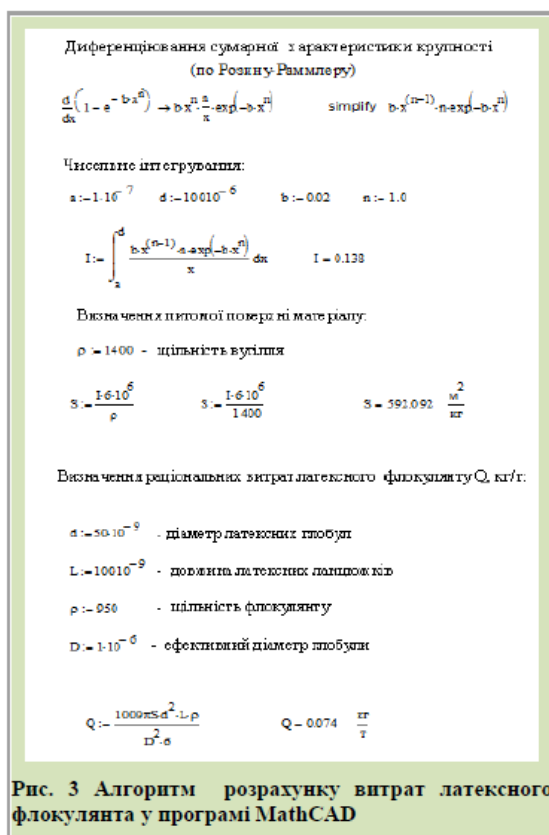


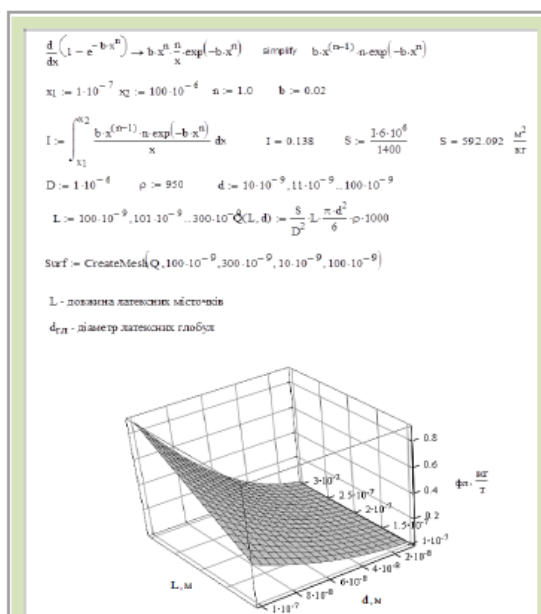
Рис. 3 Алгоритм розрахунку витрат латексного флокулянту у програмі MathCAD

Як видно, вираз (7) містить співмножник у вигляді певного інтеграла з підінтегральною функцією, що не має стандартного рішення. Рішення цього інтеграла в символьному вигляді в програмі MathCAD [8] можливе тільки для $n=1$, тобто у разі матеріалів, сумарні характеристики яких – прямі лінії на подвійній логарифмічній сітці з кутом нахилу $\alpha \approx 45^\circ$.

Інші загальновизнані математичні пакети Mathematica і Maple дають символьне рішення інтеграла у вигляді складного набору спеціальних математичних функцій, які через свою складність і громіздкість не мають практичного значення [9, 10]. Тому найприйнятнішим є рішення вказаного інтеграла в чисельному вигляді, тим більше, що це рішення в трьох зазначених

математичних програмах дає повністю ідентичні результати.

На рис. 3 представлений алгоритм розрахунку в програмі MathCAD витрат латексного флокулянту. Розрахунки виконувалися для вугілля з наступними характеристиками: крупність 0,1-100 мкм; густина $\rho_{\text{вг}} = 1400 \text{ кг/м}^3$; $b=0,02$; $n=1$. Характеристики флокулянту – бутадієн-стиролового латексу БС-30Ф виробництва Воронежського заводу СК – були прийняті наступними: густина $\rho_{\text{фл}} = 950 \text{ кг/м}^3$; діаметр глобул $d_{\text{гл}} = 50 \text{ нм}$; $D_{\text{эф}} = 1 \text{ мкм}$.

Рис. 4 Алгоритм розрахунку та за допомогою програми MathCAD графік поверхні $Q_{\text{фл}}(L, d_{\text{гл}})$ одержаний

На рис. 4 і 5 представлені одержані за допомогою програми MathCAD на підставі виразу (7) поверхня $Q_{\text{фл}}(d_{\text{гл}}, L_{\text{ч}})$ та залежність $Q_{\text{фл}}(d_{\text{гл}})$ при різних значеннях довжини латексних містків $L_{\text{ч}}$.

Таблиця 1

Довжина латексних ланцюжків, нм	100	200	300
Оптимальні витрати флокулянту, г/т	75-80	150-160	220-230

Визначені на підставі рис. 5 оптимальні витрати флокулянта БС-30Ф при різних довжинах латексних ланцюжків представлені в таблиці 1.

Оптимальні витрати флокулянту БС-30Ф

Знайдені теоретичні значення $Q_{\text{фл}}$ добре узгоджуються з експериментальними, які для подібних початкових параметрів знаходяться в межах 100-250 г/т.

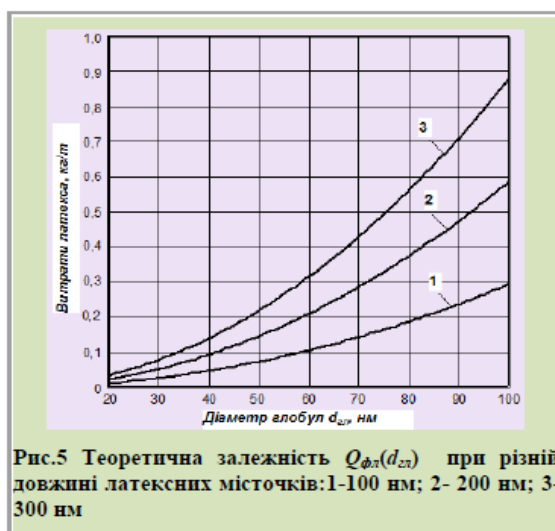


Рис.5 Теоретична залежність $Q_{\text{фл}}(d_{22})$ при різних довжинах латексних місточків: 1-100 нм; 2- 200 нм; 3-300 нм

Одержані залежності складають теоретичну основу розрахунку раціональних витрат латексного реагенту при селективній флокуляції тонкодисперсного вугілля.

Висновки

1. Для досягнення максимальної міцності вуглелатексних комплексів довжина латексних ланцюжків, які зв'язують вугільні частинки у флокулі, повинна становити 100-300 нм, що відповідає відстані другого енергетичного мінімуму кривих потенційної енергії взаємодії вугільних частинок. При довжині латексних місточків менше 100 нм можливе ослаблення зв'язків між вугільними частками у флокулі за рахунок посилення в зоні контакту іонно-електростатичних сил відштовхування. При довжині зв'язків більше 100-300 нм в зоні контакту зникають дальні взаємодії (притягання) вугільних часток у вторинному потенційному мінімумі за рахунок міжмолекулярних

Ван-дер-Ваальсових дисперсійних сил. Зменшення цієї довжини, і відповідно, витрат латексного флокулянта можна досягти введенням у водовугільну суміш реагентів-електролітів, які знижують електрокінетичний, або загальний потенціал вугільної поверхні.

2. Одержаний аналітичний вираз дозволяє теоретично оцінити оптимальні межі витрат флокулянта залежно від властивостей вихідного вугілля, колоїдно-хімічних характеристик застосованого синтетичного латексу і довжини місточкових зв'язків.

3. Розроблено алгоритм розрахунку оптимальних витрат латексного флокулянта у програмі MathCAD з урахуванням відзначених характеристик.

Бібліографічний список

1. Нікітін І.Н. Розробка флокуляційно-флотаційного способу обогачення угольних ішламів з применением латексного флокулянта / І.Н. Нікітін. Автореф. дисерт. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Львів: – ИОТТ, 1986. – 16 с.
2. Залевський В.І. Селективна флокуляція вугільних ішламів синтетичними латексами / В.І. Залевський. Автореф. дисерт. на здоб. учен. ступ. канд. техн. наук. – Дніпропетровськ: ДНГА, 2001. – 20 с.
3. Нікітін І.М. Селективна флокуляція вугільних ішламів латексами / І.М. Нікітін, П.В. Сергеев, В.С. Білецький. – Донецьк: ДонДТУ, Східний видавничий дім, 2001. – 152 с.
4. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы) / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1982. – 400 с.
5. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии / Д.А. Фридрихсберг. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.
6. Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования: Справочник. [Под ред. П.Е.Остапенко]. – М.: Недра, 1990. – 264 с.
7. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. – М.: Недра, 1982. – 366 с.
8. Гурский Д.А. Вычисления в MathCAD / Д.А. Гурский. – Минск: Новое знание, 2003. – 814 с.
9. Дьяконов В. Maple 6.0 / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2001. – 608 с.
10. Дьяконов В. Mathematica 4 / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
11. Нейман Р.Э. Коллоидная химия синтетических латексов / Р.Э. Нейман, О.Г. Киселева, А.К. Егоров, Т.М. Васильева. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. – 196 с.

Рукопис надійшов до редакції 22.11.2019

THEORETICAL EVALUATION OF THE RATIONAL USE OF LATEX REAGENT DURING SELECTIVE FLOCCULATION OF FINELY DISPERSED COAL

© P.V. Sergeyev, Doctor of Technical Sciences (DonNTU), O.A. Krut, Doctor of Technical Sciences (SE "UKRNIIIPROEKT"), V.S. Biletsky, Doctor of Technical Sciences (NTU "KhPI")

The article is devoted to one of the most difficult problems of coal technology - the processing of finely dispersed (-100-200 microns) and ultra fine (-50 microns) coal. The effectiveness of the traditional gravity and flotation technologies is decreasing significantly with a reduction in the size of the enriched coal.

One of the promising directions for the extraction of such coal from ordinary coal mass into concentrate is a flocculation-flotation technology, which provides a selective flocculation of ultrafine ($-50 \mu\text{m}$) coal before flotation using synthetic latex reagents. The authors have performed a theoretical analysis and an analytical assessment of the rational consumption of latex flocculant in the process of selective flocculation of ultrafine ($-50 \mu\text{m}$) coal in the framework of the flocculation-flotation technology for its enrichment.

The task was divided into two stages. At first, the rational length of latex chains between coal particles was determined. It is shown that the optimal costs of latex flocculant should provide an average length of polymer bridges between coal particles in the range of 100-300 nm. The large length of these bridges is impractical because it does not only increase the binding energy of coal particles into flocs, but also weakens it. The secondary energy minimum disappears at large distances, and, accordingly, the long-range interaction between particles.

At the second stage, the analytical expression for the consumption of the latex flocculant was derived. At the same time, it was assumed that in order to determine the latex flocculant consumption, in addition to the length of its chains, it is necessary to determine the degree of coverage of the coal surface of a known specific area with latex chains. The obtained analytical expression allows us to theoretically evaluate the optimal boundaries of flocculent consumption depending on the properties of the initial coal, colloid-chemical characteristics of the used synthetic latex and bond lengths.

Keywords: coal enrichment, flocculation-flotation technology, selective latex flocculation, rational consumption of the latex flocculant.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОГО РАСХОДОВАНИЯ ЛАТЕКСНОГО РЕАГЕНТА ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ ТОНКОДИСПЕРСНОГО УГЛЯ

П.В. Сергеев, д.т.н. (ДонНТУ), О.А. Круть, д.т.н. (ГП «УКРНИПРОЕКТ»), В.С. Билецкий, д.т.н., проф. (НТУ «ХПИ»)

Статья посвящена одной из самых сложных проблем угольных технологий – переработке тонкодисперсного ($-100-200 \mu\text{m}$) и ультратонкого ($-50 \mu\text{m}$) угля. Эффективность традиционных гравитационных и флотационных технологий существенно уменьшается с уменьшением крупности обогащаемого угля. Одним из перспективных направлений извлечения такого угля из рядовой угольной массы в концентрат является флокуляционно-флотационная технология, которая предусматривает селективную флокуляцию ультратонкого ($-50 \mu\text{m}$) угля перед флотацией с применением синтетических латексных реагентов. Авторами выполнен теоретический анализ и аналитическая оценка рациональных расходов латексного флокулянта в процессе селективной флокуляции ультратонкого ($-50 \mu\text{m}$) угля в рамках флокуляционно-флотационной технологии его обогащения.

Поставленную задачу решали в два этапа. На первом определялась рациональная длина латексных цепочек между угольными частицами. Показано, что оптимальные затраты латексного флокулянта должны обеспечивать среднюю длину полимерных мостиков между угольными частицами в пределах 100-300 нм. Большая длина этих мостиков нецелесообразна, поскольку не только не увеличивает энергию связи угольных частиц во флокулы, но и наоборот, ослабляет ее, поскольку на больших расстояниях исчезает вторичный энергетический минимум, и соответственно, дальнейшее взаимодействие между частицами.

На втором этапе осуществлялся вывод аналитического выражения для расхода латексного флокулянта. При этом исходили из того, что для определения расхода латексного флокулянта, кроме длины его цепочек, необходимо определить степень покрытия латексными цепочками угольной поверхности известной удельной площади.

Полученное аналитическое выражение позволяет теоретически оценить оптимальные границы расходов флокулянта в зависимости от свойств исходного угля, коллоидно-химических характеристик применяемого синтетического латекса и длины связей.

Ключевые слова: обогащение угля, флокуляционно-флотационная технология, селективная латексная флокуляция, рациональное расходование латексного флокулянта.