

УДК 622.765

П.В. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук
(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДЕЛЫ РАСХОДА ФЛОКУЛЯНТА ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ УГЛЕЙ МАСЛАМИ

Эффективность флотационного обогащения угольных шламов во многом определяется концентрацией в исходном питании тонкодисперсных частиц крупностью менее 30–50 мкм. При их повышенном содержании селективность разделения существенно снижается за счет значительных потерь органической массы с хвостами флотации [1].

Один из путей решения этой проблемы – применение технологий селективной флокуляции угольных шламов с использованием гидрофобных органических реагентов-флокулянтов [2]. В качестве последних чаще всего применяются синтетические латексы или масляные реагенты. Исследованиями установлено, что флокуляция масляными флокулянтами осуществляется в основном по пленочно-адгезионному [2], а латексами – по мостиковому механизму [3,4].

Независимо от природы флокулянта и механизма его флокулирующего действия важнейшим технологическим параметром процесса селективной флокуляции является его расход. В технической литературе приводятся многочисленные экспериментальные исследования этого параметра, носящие частный характер для того или иного вида сырья и не имеющие достаточного теоретического обоснования. Это не позволяет в полной мере раскрыть механизмы флокулообразования и правильно определить рациональные пределы этого параметра.

Исходя из вышесказанного цель данных исследований – теоретическая оценка рациональных пределов расхода масляных флокулянтов. При этом, во-первых, необходимо определить рациональную толщину пленки флокулянта на твердой поверхности, во-вторых, получить аналитическое выражение для удельной поверхности любого заданного класса крупности исходного материала и, в-третьих, вывести уравнение для расчета рационального предела расхода флокулянта.

Первую задачу выполним на основе анализа энергетического состояния пленки масляного флокулянта на угольной поверхности. В общем случае суммарная энергия разрыва адгезионной пленки флокулянта может быть представлена как сумма следующих слагаемых:

$$E_p = E_p^{ad} + E_p^k, \quad (2)$$

где E_p^{ad} и E_p^k – соответственно, энергия адгезионного и когезионного разрыва пленок флокулянта.

С учетом лиофобно-лиофильной гетерогенности (мозаичности) угольной поверхности и допуская наличие адгезионного разрыва на лиофобных участках и когезионного на лиофильных, для E_p^{ad} и E_p^k можно записать:

$$E_p^{ad} = \sigma_{фг} \cdot (1 + \cos \theta) \cdot S_{лфо} ; \quad (3)$$

$$E_p^k = 2 \cdot \sigma_{фг} \cdot S_{лфи} , \quad (4)$$

где $\sigma_{фг}$ – поверхностное натяжение на границе "флокулянт – газ"; θ – краевой угол смачивания твердой поверхности флокулянтом; $S_{лфо}$ и $S_{лфи}$ – соответственно, площади лиофобных и лиофильных участков на твердой поверхности.

Подставляя выражения (3) и (4) в уравнение (2), получим

$$E_p = \sigma_{фг} \cdot (1 + \cos \theta) \cdot S_{лфо} + 2 \cdot \sigma_{фг} \cdot S_{лфи} . \quad (5)$$

Практическую ценность представляет удельная величина E_{py} на единицу массы флокулянта $m_{фл}$ на твердой поверхности. Введем коэффициент лиофобности поверхности

$$K_l = \frac{S_{лфо}}{S_{общ}} ,$$

где $S_{общ} = S_{лфо} + S_{лфи}$.

Тогда с учетом того, что $m_{фл} = \rho_{фл} \cdot S_{общ} \cdot h_{нл}$, где $\rho_{фл}$ – плотность флокулянта; $h_{нл}$ – толщина пленки флокулянта на твердой поверхности, после преобразований запишем

$$E_{py} = \frac{(1 + \cos \theta) \cdot K_l \cdot \sigma_{фг}}{\rho_{фл} \cdot h_{нл}} + \frac{2 \cdot \sigma_{фг}}{\rho_{фл} \cdot h_{нл}} \cdot (1 - K_l) . \quad (6)$$

Проанализируем полученное выражение для случая селективной флокуляции тонкодисперсных углей из водоугольных суспензий аполярным реагентом – керосином. Исходя из физико-химических характеристик керосина, а также,

учитывая нормальные условия проведения экспериментов, примем: $\sigma_{\phi\kappa} = 30$ мН/м; $\Theta = 0 - 90^\circ$; $\rho_{\phi\lambda} = 800$ кг/м³; $h_{nl} = 50 - 1000$ нм.

С помощью программы MathCAD получены графики зависимостей $E_{py}(K_n) | h_{nl} = var$ и $E_{py}(h_{nl}) | \theta = var$.

Как видно из рис.1, лиофобно-лиофильный баланс угольной поверхности влияет на E_{py} только в области малых значений h_{nl} (до 50–100 нм). При больших значениях h_{nl} энергия разрыва E_{py} фактически не изменяется, так как в "толстых" пленках флокулянта практически не ощущается энергетическое воздействие твердой поверхности.

Кривая $E_{py}(h_{nl})$ имеет гиперболическую форму с перегибом в области $h_{nl} = 50-200$ нм (рис.2). При этом влияние краевого угла смачивания Θ незначительно, а область перегиба можно считать критической, поскольку дальнейшее увеличение толщины пленки флокулянта практически не сказывается на величине энергии разрыва E_{py} . Следовательно, рациональные пределы расхода масла должны обеспечивать толщину пленки флокулянта на угольной поверхности не более 50–200 нм. Исходя из этого положения найдем аналитическое выражение для расчета удельного расхода масляного флокулянта $Q_{\phi\lambda}$ и его рациональных пределов.

Масса флокулянта, закрепившегося на твердой поверхности, может быть определена как

$$m_{\phi\lambda} = \rho_{\phi\lambda} \cdot K_n \cdot S_o \cdot h_{nl}$$

где K_n –коэффициент(степень) покрытия угольной поверхности флокулянтном, д.е.; S_o – суммарная поверхность угольных частиц, м². Отсюда можем записать, что

$$S_o = \frac{m_{\phi\lambda}}{\rho_{\phi\lambda} \cdot K_n \cdot h_{nl}}$$

С другой стороны, $S_o = S_{y\delta} \cdot m_{y\zeta}$, где $S_{y\delta}$ и $m_{y\zeta}$ –удельная поверхность и масса флокулируемого угля, соответственно. Тогда с учетом этого имеем:

$$S_{y\delta} \cdot m_{y\zeta} = \frac{m_{\phi\lambda}}{\rho_{\phi\lambda} \cdot K_n \cdot h_{nl}}$$

Разделим обе части уравнения на $m_{y\zeta}$:

$$S_{y\partial} = \frac{Q_{\phi\lambda}}{\rho_{\phi\lambda} \cdot K_n \cdot h_{n\lambda}},$$

где $Q_{\phi\lambda} = m_{\phi\lambda} / m_{y\partial}$,

и получим

$$Q_{\phi\lambda} = S_{y\partial} \cdot \rho_{\phi\lambda} \cdot K_n \cdot h_{n\lambda} . \quad (7)$$

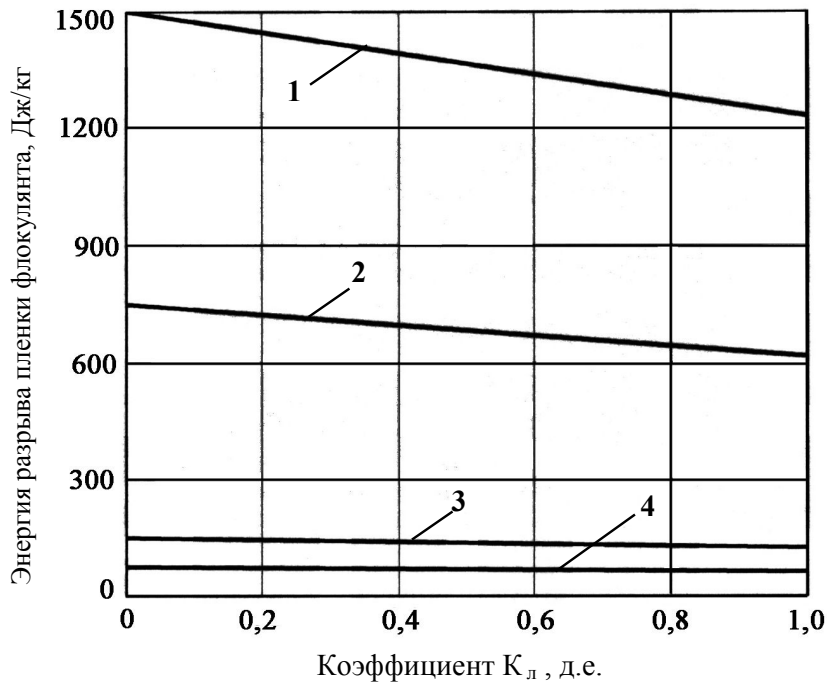


Рис.1 Зависимость энергии разрыва пленки масляного флокулянта от коэффициента лиофобности ($K_{л}$) при различных значениях толщины пленки ($h_{пл}$): 1-50 нм; 2- 100 нм; 3- 500 нм; 4- 1000 нм.

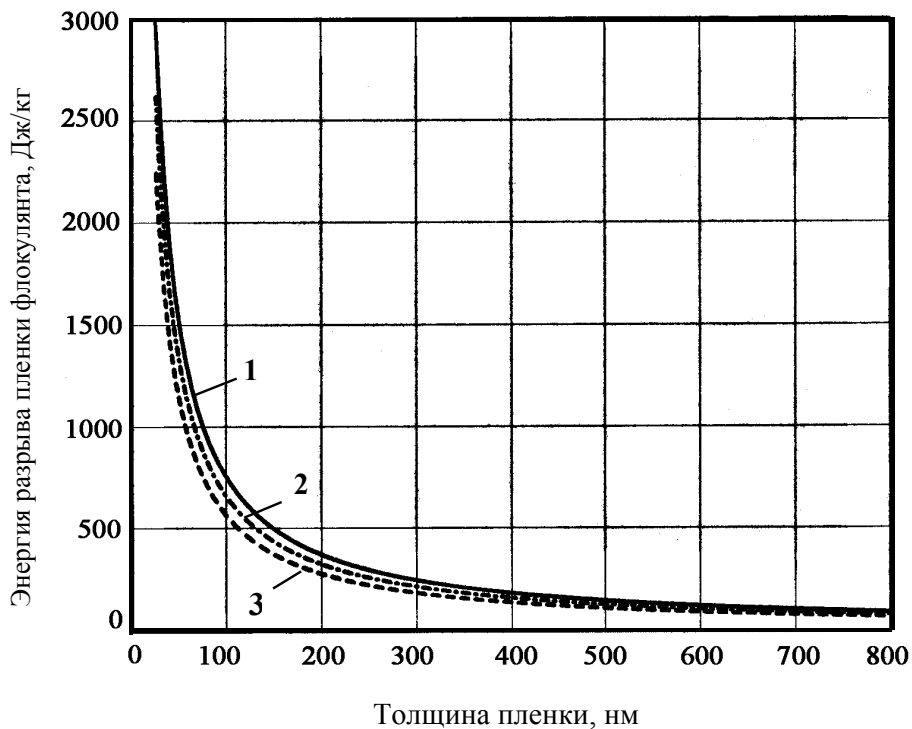


Рис.2 Зависимость энергии разрыва пленки масляного флокулянта от ее толщины ($h_{пл}$) при различных значениях краевого угла смачивания (Θ): 1-0°; 2- 60°; 3- 90°.

Рис. 1. Зависимость энергии разрыва пленки масляного флокулянта от коэффициента лиофобности K_d при различных значениях толщины пленки $h_{пл}$:
1 – 50; 2 – 100; 3 – 500; 4– 1000 нм

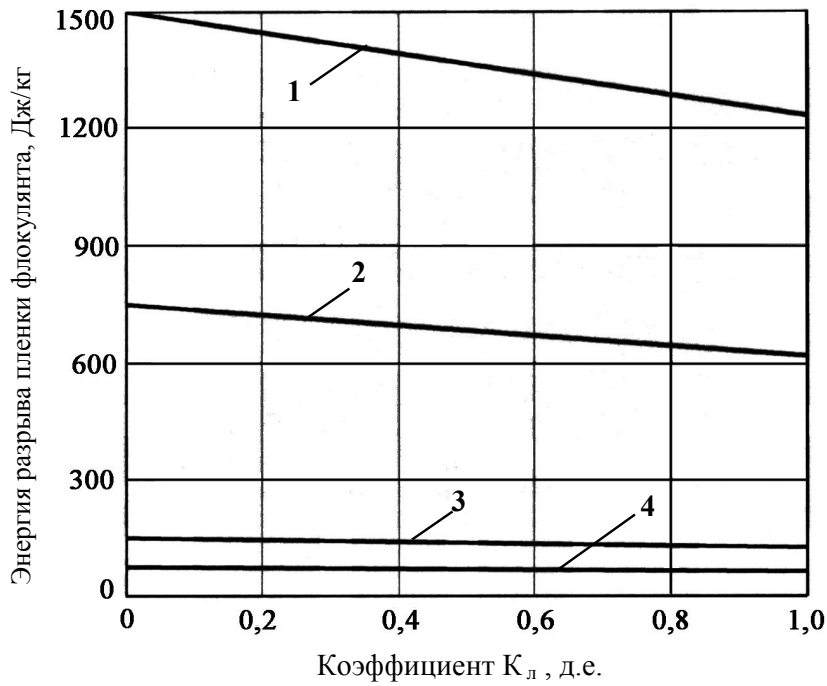


Рис.1 Зависимость энергии разрыва пленки масляного флокулянта от коэффициента лиофобности ($K_{л}$) при различных значениях толщины пленки ($h_{пл}$): 1-50 нм; 2- 100 нм; 3- 500 нм; 4- 1000 нм.

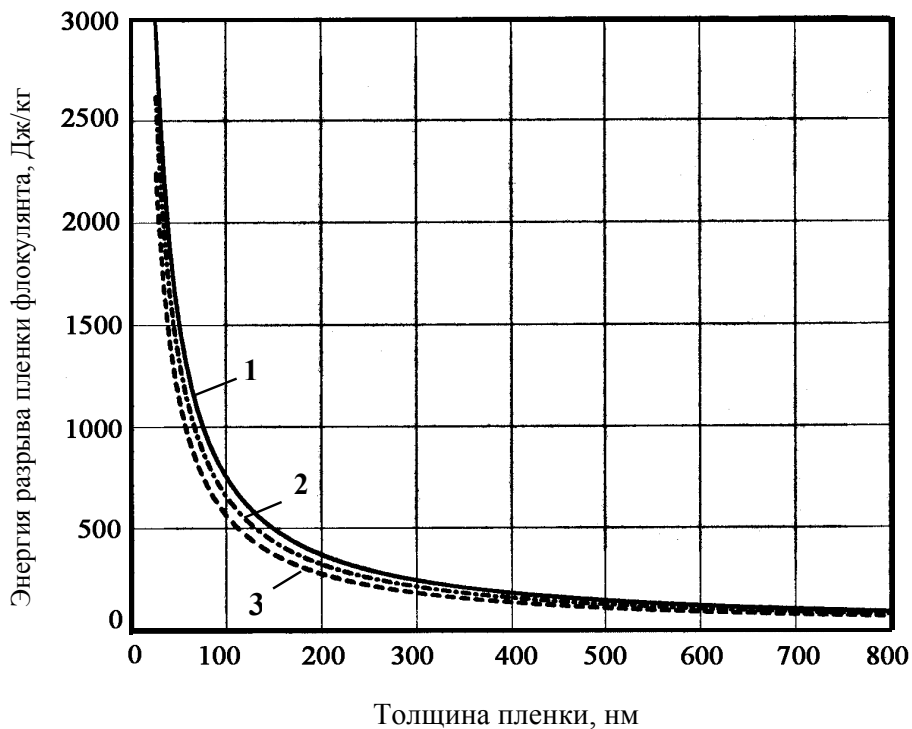


Рис.2 Зависимость энергии разрыва пленки масляного флокулянта от ее толщины ($h_{пл}$) при различных значениях краевого угла смачивания (Θ): 1-0°; 2- 60°; 3- 90°.

Рис. 2. Зависимость энергии разрыва пленки масляного флокулянта от ее толщины $h_{пл}$ при различных значениях краевого угла смачивания Θ : 1 – 0; 2 – 60; 3 – 90°

Для определения $S_{y\partial}$ воспользуемся известным уравнением суммарной характеристики крупности Розина-Раммлера. Как отмечается в работах [5,6], оно наиболее приемлемо для оценки распределения по крупности дробленых продуктов – сливок мельниц, классификаторов, в том числе различных шламовых материалов.

Уравнение суммарной характеристики крупности Розина-Раммлера "по минусу" имеет вид:

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

где R^- – выход зерен меньше диаметра x . Тогда выход элементарного класса крупностью от x до $x + dx$

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

В единице массы материала плотностью ρ_{yz} объем элементарного класса

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

Для зерна кубической формы объем равен x^3 , а поверхность – $6x^2$. Тогда

число зерен в элементарном классе $dN = \frac{dR^-}{\rho_{yz} \cdot x^3}$, а поверхность

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

Удельная поверхность зерен в классе крупнее x_1 и мельче x_2

$$S_{y\partial} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{6}{\rho_{yz}} \cdot \frac{(1 - e^{-b \cdot x^n})' dx}{x} = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot b \cdot n}{\rho_{yz}} \int_{x_1}^{x_2} x^{(n-2)} \cdot \exp(-b \cdot x^n) dx. \quad (8)$$

Подставив выражение (8) в уравнение (7), получим

$$Q_{фл} = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot \rho_{фл} \cdot K_n \cdot h_{нл} \cdot b \cdot n}{\rho_{уз}} \cdot \int_{x_1}^{x_2} x^{(n-2)} \cdot \exp(-b \cdot x^n) dx. \quad (9)$$

Как видим, выражение (9) содержит сомножитель в виде определенного интеграла с подинтегральной функцией, не имеющей стандартного решения. Решение этого интеграла в символьном виде в программе MathCAD возможно только для $n=1$, т.е. в случае материалов, суммарные характеристики которых – прямые линии на двойной логарифмической сетке с углом наклона $\alpha \approx 45^0$. Поэтому наиболее приемлемым представляется решение указанного интеграла в отмеченной программе в численном виде.

На основании анализа выражения (9) можно сделать вывод, что рациональный предел расхода масляного флокулянта прямо пропорционален плотности флокулянта $\rho_{фл}$, толщине его пленки на твердой поверхности $h_{нл}$, степени покрытия флокулянтом этой поверхности K_n и обратно пропорционален плотности твердой фазы $\rho_{уз}$. Кроме того, этот предел возрастает по мере увеличения содержания в твердом материале частиц крупностью менее 1 мкм и уменьшения крупности материала в целом, т.е. по мере роста параметров b и n уравнения Розина-Раммлера, соответственно.

Расчеты, выполненные в программе MathCAD для случая селективной флокуляции керосином угольного шлама крупностью менее 100 мкм и зольностью 27,2%, показывают, что при степени покрытия поверхности флокулянтом 10%, толщине пленки флокулянта 200 нм и его плотности около 1000 кг/м³ рациональный предел расхода флокулянта составляет 1,18%.

Экспериментальные исследования по селективной флокуляции этого материала в лабораторных условиях дают рациональный предел расхода флокулянта на уровне 1–1,25%.

Таким образом, близость экспериментальных и расчетных значений параметра $Q_{фл}$ позволяет сделать вывод о возможности использования полученного аналитического выражения как для теоретической, так и практической оценки рациональных пределов расхода флокулянтов при селективной флокуляции углей маслами.

Список литературы

1. Гаркушин Ю.К., Сергеев П.В., Білецький В.С. Стан та перспективи переробки вугільних шламів // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вип.17(58). – С.143–149.
2. Сергеев П.В., Білецький В.С. Селективна флокуляція вугілля. – Донецьк: ДонДТУ,

1999. – 136 с.

3. Нікітін І.М., Сергеев П.В., Білецький В.С. Селективна флокуляція вугільних шламів латексами.– Донецьк: ДонДТУ, 2001.– 152 с.

4. Никитин И.Н. Разработка флокуляционно-флотационного способа обогащения угольных шламов с применением латексного флокулянта: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Люберцы: ИОТТ, 1986. – 16 с.

5. Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых.–М.: Недра, 1990. – 301 с.

6. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы.– М.: Недра, 1982.– 366 с.

© Сергеев П.В., 2005

Надійшла до редколегії 26.04.2005 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.І. Назимко

УДК 622.794

А.Н. КОРЧЕВСКИЙ

(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУХОЙ СЕПАРАЦИИ МАТЕРИАЛОВ. НАСТРОЙКА МОДЕЛИ

В отечественной и, особенно, зарубежной практике наблюдается тенденция использования пневматических методов для разделения сыпучих материалов. Разделяемые зерна имеют разную форму, плотность, коэффициент трения и другие свойства, на различия которых и основан упомянутый выше метод, привлекающий внимание многих специалистов [1-3]. Для этих целей применяются в основном сухие методы разделения и пневматические сепараторы различных конструкций [4].

Исследования направлены на изыскание новых способов разделения сыпучих материалов по указанным признакам и создание новых наиболее эффективных машин. Проведенный анализ в этой области позволил выделить следующие группы машин: вибрационные, пневматические, пневмовибрационные, ферромагнитные.

В вибрационных сепараторах разделение сыпучей смеси происходит под действием вибрации за счет разницы в шероховатости частиц, что вызывает их перемещение по различным траекториям. Недостатком такого типа машин является низкое качество сепарации, обусловленное движением материала в общем потоке, и малая производительность.

В пневматических сепараторах материал разделяется за счет различной траектории движения зерен в воздушном потоке. К их недостаткам следует отнести низкую эффективность разделения, малую производительность,