

УДК 622.794

**С.В. СЕРГЕЕВ, В.И. ЗАЛЕВСКИЙ**, кандидаты техн. наук  
(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ УГЛЕЙ ЛАТЕКСАМИ**

Как известно, традиционная технология флотационного обогащения угольных шламов не обеспечивает высокую селективность разделения при повышенном содержании в исходном питании тонкодисперсных частиц крупностью менее 50–60 мкм. Решением проблемы может стать применение флокуляционно-флотационного обогащения шламов с предварительной обработкой питания флотации синтетическими латексами. Латексы обеспечивают избирательную агрегацию тонких угольных частиц в микрофлокулы, которые успешно отделяются от минеральной компоненты в обычном флотационном режиме.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований технологии отражены в монографиях и диссертационных работах [1–4]. Технология апробирована на ряде углеобогащительных фабрик Украины [1].

По нашему мнению, дальнейшее совершенствование технологии флокуляционно-флотационного обогащения требует более глубокого изучения факторной взаимосвязи и, в частности, исследования кинетических закономерностей. Оптимизация процесса по фактору "время флокуляции" позволит существенно повысить его производительность, а также качество продуктов разделения.

Цель этой работы – как обобщение и анализ имеющихся данных о кинетике процесса, так и дальнейшие исследования в указанной области.

Эффективность селективной флокуляции углей латексами в турбулентных потоках суспензии во многом зависит от прочности микрофлокул: если она недостаточна, происходит разрушение флокул. В работе [5] исследована зависимость прочности флокул от времени флокуляции, которая оценивалась по величине предельного статического напряжения сдвига в коагуляционных углелатексных структурах, образующихся в суспензии (рис. 1). Здесь прочность коагуляционной структуры сначала резко увеличивается, достигая максимальных значений при времени флокуляции 30–40 с, а затем падает за счет разрушения флокул. Следовательно, максимальная прочность флокул может быть достигнута при времени селекции не менее 30–40 с.

Нами исследована кинетика агрегатообразования при селективной флокуляции углей синтетическими бутадиен-стирольными латексами [4, 6].

Установлено, що залежність крупності флокул від часу флокуляції при расходах латекса до 100 г/т носить двухступенчатый характер. С расходом латекса более 100 г/т отмеченная зависимость приобретает экспоненциальный характер. Подобные изменения в кинетических кривых при различных расходах флокулянта обусловлены особенностями коллоидных свойств латексов, а также механизма формирования углелатексных структур [6].

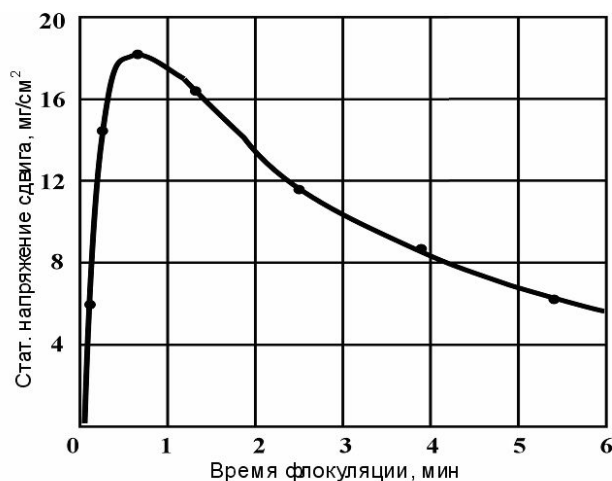


Рис. 1. Влияние на прочность углелатексных структур продолжительности перемешивания (флокуляции)

С использованием программ регрессионного анализа SigmaPlot и DataFit проведены исследования по определению наиболее оптимальных регрессионных зависимостей, описывающих кинетические кривые флокулообразования. На рис. 2 представлены экспериментальные кинетические кривые флокуляции углей латексами, а также графики аппроксимирующих их функций. Адекватность уравнений регрессии исследуемым процессам подтверждается не только графически, но и высокими значениями коэффициентов детерминации R, а также малыми значениями стандартной ошибки оценки S.

В случае двухступенчатых кривых наиболее высокими статистическими характеристиками обладают сигмоидальные уравнения регрессии вида

$$d_{фл} = d_0 + \frac{A}{\left[ 1 + e^{-\frac{t-t_0}{B}} \right]}$$

где  $d_{фл}$  – диаметр флокул в произвольный момент времени  $t$ ;  $d_0$  – диаметр

исходных угольных частиц;  $A$ ,  $t_0$ ,  $B$  – параметры уравнения регрессии.

Кинетические кривые флокулообразования при расходе латекса более 100 г/т наиболее эффективно описываются полиномом третьего порядка:

$$d_{\text{фл}} = a \cdot t^3 + b \cdot t^2 + c \cdot t + d ,$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – параметры уравнения регрессии.

Как видно из рис. 2, максимальная крупность флокул достигается при времени флокуляции 60–70 с.

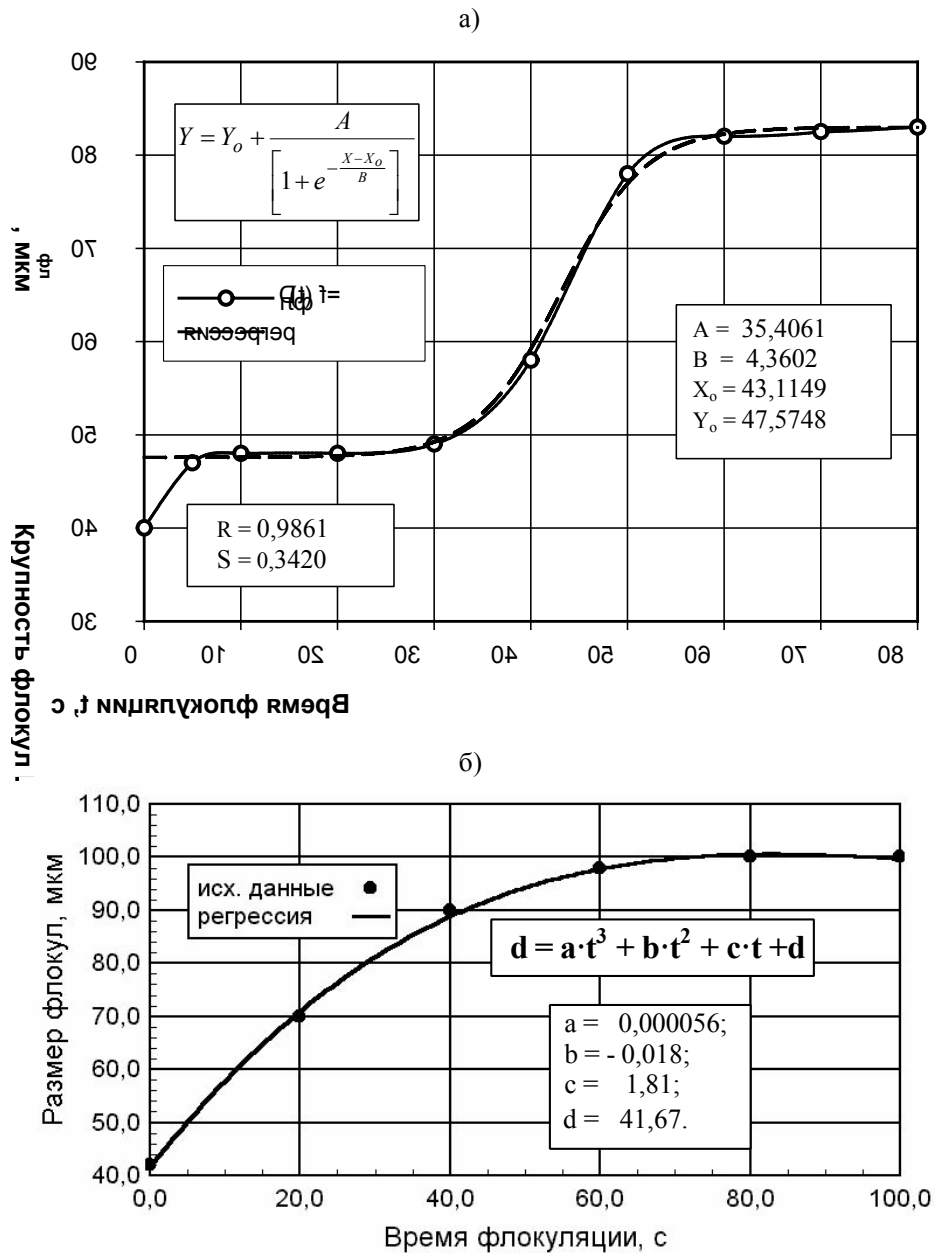


Рис.2 Кинетические кривые флокулообразования при расходе латекса: а – до 100 г/т ; б – более 100 г/т.

а)

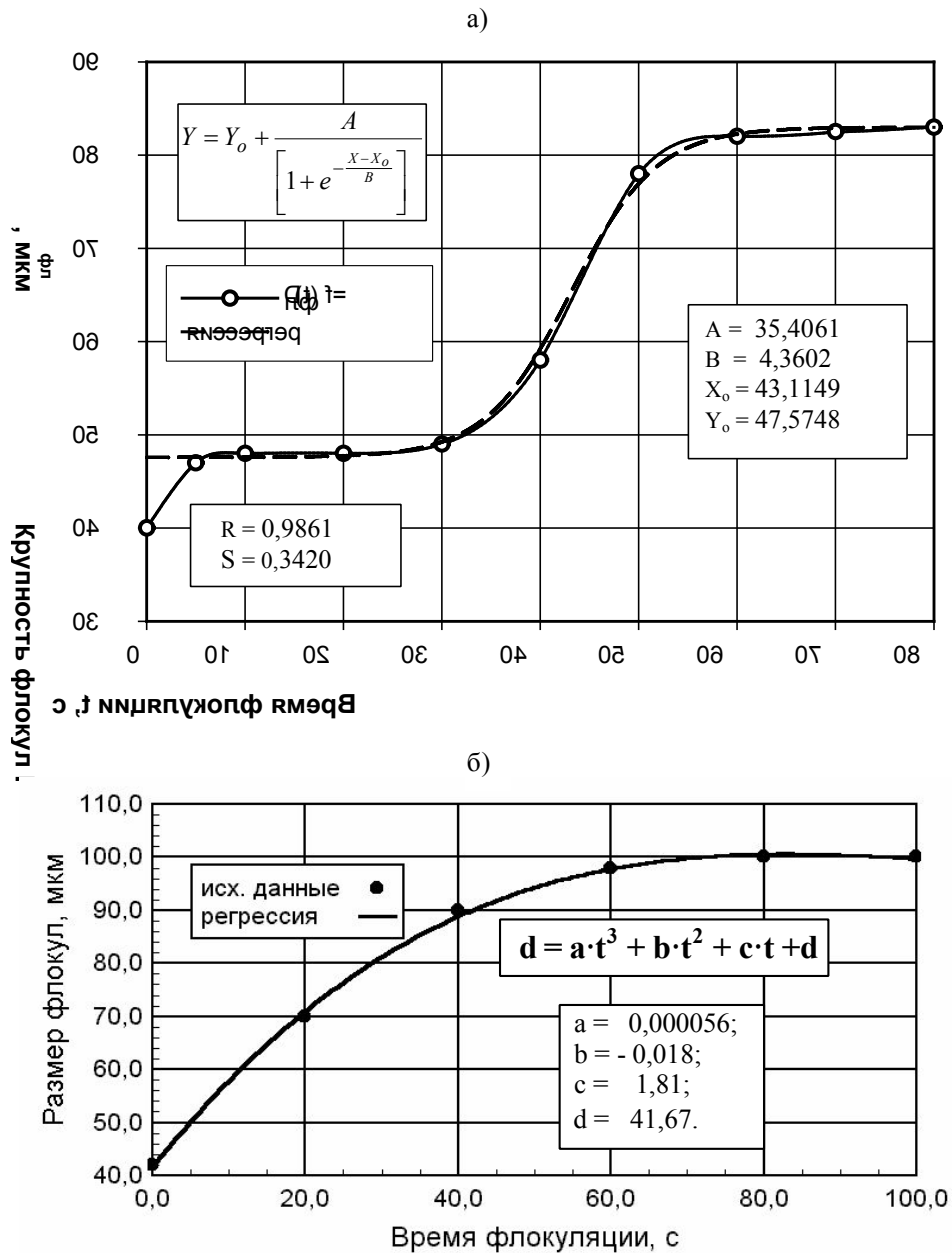


Рис.2 Кинетические кривые флокулообразования при расходе латекса: а – до 100 г/т ; б – более 100 г/т.

б)

Рис. 2. Кинетические кривые флокулообразования при расходе латекса: а – до 100 г/т; б – более 100 г/т

Поскольку основная цель селективной флокуляции латексами – максимально полное извлечение в сфлокулированный продукт органической

массы углей, важное значение приобретает исследование кинетических зависимостей извлечения угольных фракций в концентрат  $E$ . Величина  $E$  определялась из выражения:

$$E = \gamma_k (100 - A_k^d) / (100 - A_u^d),$$

где  $\gamma_k$ ,  $A_k^d$  – выход и зольность концентрата соответственно, %;  $A_u^d$  – зольность исходного шлама, %.

Исследования проводились на угольных шламах ЦОФ "Дзержинская" различной зольности при расходах латекса (БС-30Ф) 100, 200 и 300 г/т. На рис. 3 приведены зависимости извлечения  $E$  от времени флокуляции  $t$  при указанных расходах флокулянта и зольности шлама 17 и 32%.

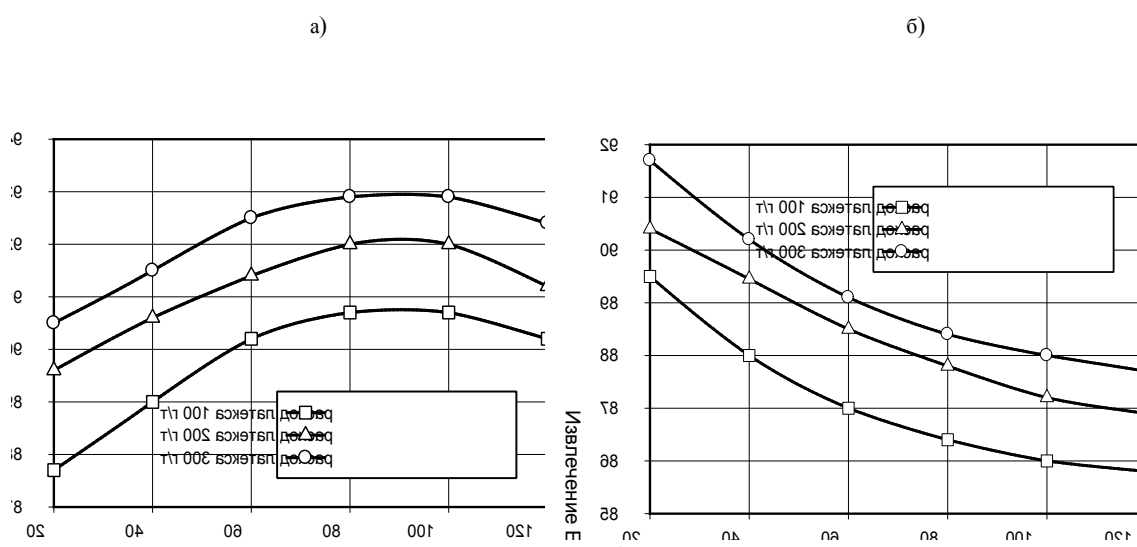


Рис.3 Зависимости извлечения  $E$  от времени флокуляции для углей различной зольности: а - 17 %; б - 32 %.

а)

б)

Рис. 3. Зависимости извлечения  $E$  от времени флокуляции для углей различной зольности: а – 17%; б – 32%

Как вытекает из рис. 3, по мере роста зольности исходного питания характер кривых  $E = f(t)$  существенно изменяется. В случае низкозольного угля зависимость  $E = f(t)$  – возрастающая с экстремумом в области  $t = 80 - 100$  с. Дальнейшее увеличение времени флокуляции приводит к некоторому снижению извлечения  $E$ . По-видимому, это вызвано разрушением части флокул в турбулентных потоках водоугольной смеси и связанной с этим потерей органической массы с отходами флотации.

С увеличением зольности питания характер кривых  $E = f(t)$  изменяется на противоположный – наблюдается существенное снижение извлечения  $E$  по мере роста продолжительности турбулентного перемешивания. По нашему мнению, это обусловлено негативным влиянием минеральной компоненты на процесс флокуляции латексами.

Во-первых, увеличение зольности исходного шлама сопровождается уменьшением концентрации в суспензии собственно угольных частиц, подлежащих флокуляции. В результате снижается вероятность столкновений типа "угольная частица – латексная глобула" с последующим связыванием угольных частиц по мостиковому механизму.

Во-вторых, минеральная компонента вследствие высокой удельной поверхности тонких породных частиц вызывает резкое снижение концентрации эмульгатора на поверхности латексных глобул за счет его адсорбции на породных частицах. Это приводит к потере латексными глобулами агрегативной устойчивости еще до закрепления на угольной поверхности. В результате селективность процесса флокуляции резко снижается.

В-третьих, с увеличением продолжительности флокуляции возрастает вероятность механического "захвата" во флокулы минеральных частиц, что также снижает селективность разделения.

Из представленных на рис. 3 кинетических зависимостей также видно, что с увеличением расхода латексного флокулянта извлечение угольных фракций в концентрат  $E$  возрастает независимо от зольности исходного материала. Однако следует отметить, что при расходах флокулянта 300 г/т и более наблюдается существенное (на 1,5–2%) увеличение зольности флотоконцентрата за счет вовлечения во флокулы минеральных частиц избыточным количеством латекса. Многочисленные эксперименты показывают, что максимальный расход латексного флокулянта не должен превышать 200–250 г/т в случае каменных углей и 250–300 г/т при переработке антрацитовых шламов [1, 4].

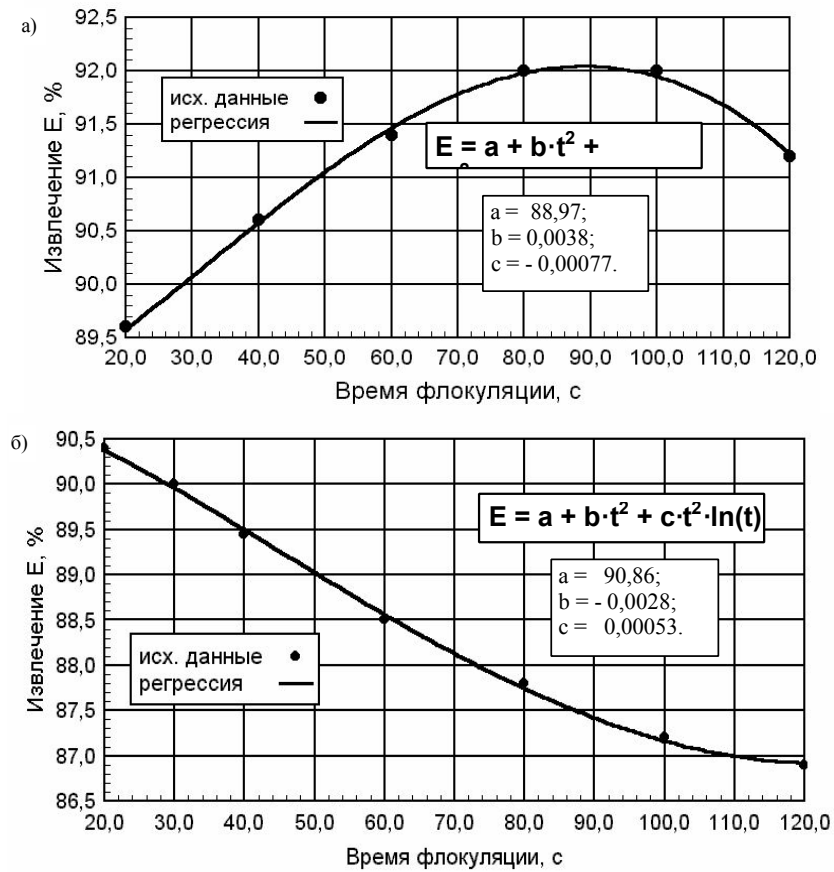


Рис.4 Регрессионный анализ кинетических зависимостей  $E = f(t)$  при зольности угля:

а – 17% ( $R = 0,9980$ ,  $S = 0,0533$ );

б – 32% ( $R = 0,9988$ ,  $S = 0,0577$ ).

а)



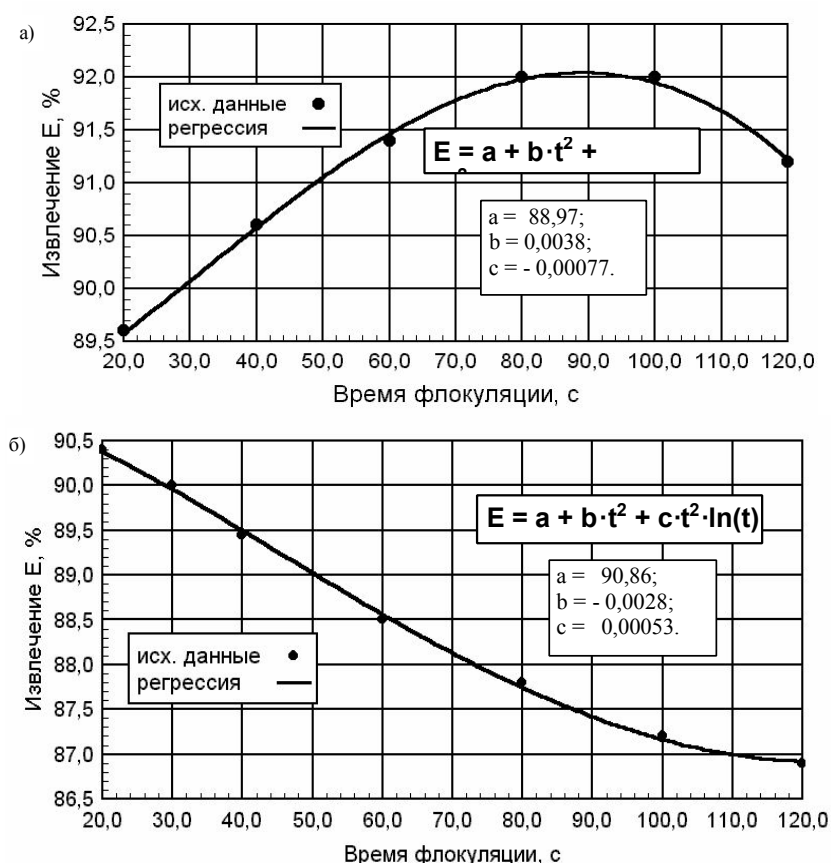


Рис.4 Регрессионный анализ кинетических зависимостей  $E = f(t)$  при зольности угля:  
 а – 17% ( $R = 0,9980$ ,  $S = 0,0533$ );  
 б – 32% ( $R = 0,9988$ ,  $S = 0,0577$ ).

б)

Рис. 4. Регрессионный анализ кинетических зависимостей  $E = f(t)$  при зольности угля:  
 а – 17% ( $R = 0,9980$ ,  $S = 0,0533$ );  
 б – 32% ( $R = 0,9988$ ,  $S = 0,0577$ )

На рис. 4 – результаты регрессионного анализа кинетических зависимостей  $E = f(t)$  для случая расхода флокулянта 200 г/т. Из нескольких сотен проанализированных в рамках программы DataFit возможных зависимостей наиболее высокими статистическими характеристиками обладает полином второй степени с логарифмической функцией вида

$$E = a + b \cdot t^2 + c \cdot t^2 \cdot \ln(t), \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – параметры уравнения регрессии.

Приведенное уравнение регрессии (1) хорошо описывает зависимость  $E = f(t)$  во всем исследуемом диапазоне зольности исходного угольного шлама. Статистическая значимость полученных результатов также подтверждается высокими значениями коэффициентов детерминации моделей  $R$ , а также низкими значениями стандартной ошибки их оценки  $S$ . Уравнение регрессии – адекватно изучаемой кинетической зависимости при любых расходах флокулянта.

#### *Выводы*

1. При селективной флокуляции углей латексами кинетические кривые флокулообразования  $d_{фл} = f(t)$  в случае расхода латекса до 100 г/т описывается сигмоидальными уравнениями регрессии. При расходах латекса более 100 г/т отмеченная зависимость имеет характер полинома третьей степени.

2. Кинетическая зависимость извлечения угольных фракций в концентрат  $E = f(t)$  изменяет характер от экстремальной при низкой до убывающей при высокой зольности угля. В обоих случаях она эффективно описывается полиномом второй степени с логарифмической функцией.

3. Рациональное время флокуляции лежит в пределах 30–80 с. Для низкозольных углей этот предел составляет 60–80 с, высокозольных – 30–40 с.

#### Список литературы

1. Нікітін І.М., Сергєєв П.В., Білецький В.С. Селективна флокуляція вугільних шламів латексами. – Донецьк: ДонДТУ, "Східний видавничий дім", 2001. – 152 с.
2. Сергєєв П.В., Білецький В.С. Селективна флокуляція вугілля. – Донецьк: ДонДТУ, – 1999. – 136 с.
3. Никитин И.Н. Разработка флокуляционно-флотационного способа обогащения угольных шламов с применением латексного флокулянта. – Автореф. дис. канд. техн. наук. – Люберцы: ИОТТ, 1986. – 16 с.
4. Залевський В.І. Селективна флокуляція вугільних шламів синтетичними латексами. – Автореф. дис. канд. техн. наук. – Дніпропетровськ: ДНГА, 2001. – 20 с.
5. Исследование процесса селективной коагуляции угольных шламов: Отчет о НИР /ДГИ, № ГР 76016361. – Днепропетровск, 1977. – 89 с.
6. Сергєєв П.В., Залевский В.И. Исследование кинетики флокулообразования при селективной агрегации углей латексами / Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Донецк: ДонГТУ, 1996. – С. 56–58.

© Сергєєв П.В., Залевский В.И., 2005

*Надійшла до редколегії 03.11.2005 р.  
Рекомендовано до публікації к.т.н. Ю.Л. Папушиним*

УДК 622.794

**Е.И. НАЗИМКО**, д-р техн. наук,

53

**Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 24(65)**