

Выявленная зависимость ионного состава оборотной воды от кристаллохимических свойств и растворимости минералов позволила разработать метод его регулирования. Применение этого метода даст возможность получать показатели флотации руды, аналогичные показателям для условий прямого водоснабжения.

### Список литературы

1. Разработка технологии обогащения бедных боросиликатных руд с применением нейтроннорадиометрической сепарации / В.А.Мокроусов, Б.С. Лагов, В.А.Лиосев и др. – В кн. Обогащение бедных руд. – М.: Наука, 1973. – С. 97–100.
2. **Светкина Е.Ю.** Интенсификация процесса выщелачивания путем виброударной активации минералов // С.. науч. Тр. Национального горного университета. – Д.: Навчальна книга. – 2005. – №21. – Т.5. – С. 277–285.
3. **Франчук В.П., Светкина Е.Ю., Якубович Л.А.** Влияние виброударной активации на адсорбционные свойства минералов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": Зб. Наук. пр.. Темат. Вип.: Хімія, хімічна технологія і екологія. – 2005. – №40. – С.126–132
4. **Павлов П.В., Белов Н.В.** Кристаллическая структура гердерита, дато лита и гадолинита // Докл. АН ССР. – 1957. – Т.114, №4. – С. 884–887.

© Светкина Е.Ю., Франчук В.П., 2006

*Надійшла до редколегії 27.04.2006 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*

УДК 622.794

**Е.И. НАЗИМКО**, д-р техн. наук, **И.Н. ДРУЦ**, **Л.И. СЕРАФИМОВА**,  
**Н.А. ЗВЯГИНЦЕВА**, **Ю.В. ШЕВЧЕНКО**  
(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИИ КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ

В энергетическом балансе Украины уголь еще длительное время будет оставаться одной из основных составляющих, определяя стратегическую политику государства по развитию горнодобывающей и перерабатывающей

промышленности. Первой стадией процессов переработки ископаемых углей с целью дальнейшего использования является обогащение, которое имеет ряд технологических особенностей на современном этапе развития. К таким основным особенностям относится поступление на обогатительные предприятия рядового угля, в котором повышено количество шламов по отношению к другим классам крупности. Одной из причин этого является переработка крупных машинных классов на обогатительных установках при шахтах [1].

За последние годы вследствие ряда процессов, происходящих в угольной промышленности, качество углей, поступающих на коксование, заметно ухудшилось. Кроме того, ощущается нехватка углей коксующихся марок [2].

Для обогащения шламов одним из широко применяющихся процессов на современном этапе развития техники и технологии является процесс флотации. Применение флотации в технологических схемах фабрик позволяет не только регенерировать оборотную воду, освобождая ее от твердой фазы с целью повторного многократного использования, но и получать дополнительное количество шламового концентрата. Последнее особенно важно именно для углей, используемых в шихте для коксования.

Следует подчеркнуть, что флотационный метод является наиболее производительным для обогащения угольной мелочи. В настоящее время несколько расширилась номенклатура применяемых для флотации углей реагентов, и проводятся определенные исследования в этом направлении [3–5]. Однако только единичные работы посвящены нахождению оптимальных сочетаний реагентов, обеспечивающих высокую скорость флотации различных классов крупности, находящихся в составе питания операции.

Целью данной работы является исследование реагентного режима флотации углей коксующихся марок.

Исследования, проведенные ранее с применением компьютерного моделирования взаимодействия частицы и воздушного пузырька на микроуровне, позволили установить, что при столкновении тангенциальная компонента скорости частицы возрастает с увеличением эксцентриситета между центром пузырька и точкой встречи с частицей [6]. Именно эта компонента скорости при увеличении до критического значения вызывает проскальзывание частицы относительно поверхности пузырька и в итоге ее отрыв [7].

Кроме того, при взаимодействии воздушного пузырька и частицы возникает вращение их друг относительно друга с чередованием ускорения и торможения. Суммарное ускорение вращения и пузырька и частицы имеет положительное значение во всем исследованном диапазоне изменения величины эксцентриситета, при чем ускорение для частицы больше, чем для пузырька. Это свидетельствует о том, что ускоренное вращение преобладает над

торможением и в итоге с течением времени частица соскальзывает с поверхности пузырька [8, 9]. Отсюда следует, что необходимо уделять внимание поиску таких реагентов или их сочетаний (собиратель плюс вспениватель) и режимов ведения процесса, которые регулировали бы тангенциальную скорость частицы при скольжении по поверхности пузырька.

Для экспериментов был принят шлам углей марки К крупностью 0–0,5 мм. Исследования выполнялись на лабораторной флотационной установке по общепринятым методикам с ведением дробной флотации. Опыты дублировались и определились средние показатели из нескольких опытов. Для исследования были приняты наиболее широко применяемые в последнее время в промышленных условиях реагенты. В качестве собирателей использовались ААР-2 и керосин, в качестве вспенивателей – Т-66 и масло ПОД. Расход собирателя принят равным 1600 г/т, вспенивателя – 60 г/т.

По результатам дробной флотации вычислялись скорость флотации и селективность процесса для различных классов крупности. Эти два показателя можно рассматривать как взаимно противоположные, поэтому их использование даст наиболее объективную оценку процесса. Коэффициент скорости флотации по Белоглазову определялся из соотношения:

$$K_B = [ \lg ( 1 / ( 1 - \varepsilon_{gm}^k ) ) ] * 1 / t , \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{gm}^k$  – извлечение горючей массы в концентрат, доли ед.,  $t$  – время флотации, мин.

Для оценки результатов экспериментов использовался также показатель селективности процесса по Митрофанову, который вычислялся по формуле:

$$S_M = [ \lg ( 1 / ( 1 - \varepsilon_{gm}^k ) ) ] / [ \lg ( 1 / ( 1 - \varepsilon_A^k ) ) ] , \quad (2)$$

где  $\varepsilon_A^k$  – извлечение в пенный продукт золы, доли ед.

На базе экспериментов и вычислений получены зависимости скорости и селективности процесса флотации для разных классов крупности, представленные на рис. 1 и 2.

Данные, показанные на рис. 1, свидетельствуют о том, что к концу эксперимента скорость флотации практически для всех классов крупности снижается, т.к. кривые имеют выпуклую форму.

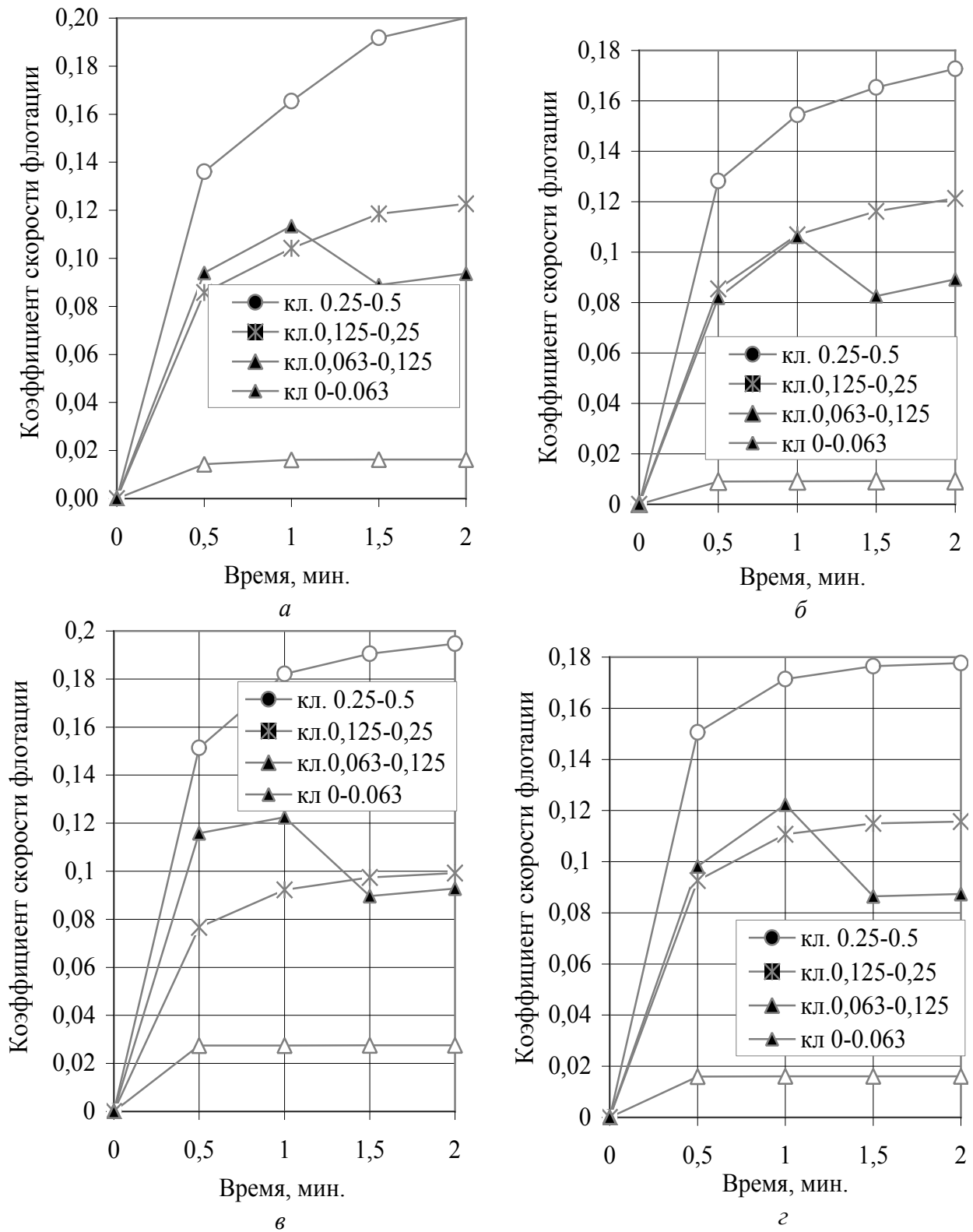


Рис.1. Скорость флотации для разных классов крупности при сочетаниях реагентов:

$a$  – ААР-2 + Т-66;  $b$  – ААР-2 + ПОД;  
 $v$  – керосин + Т-66;  $z$  – керосин + ПОД

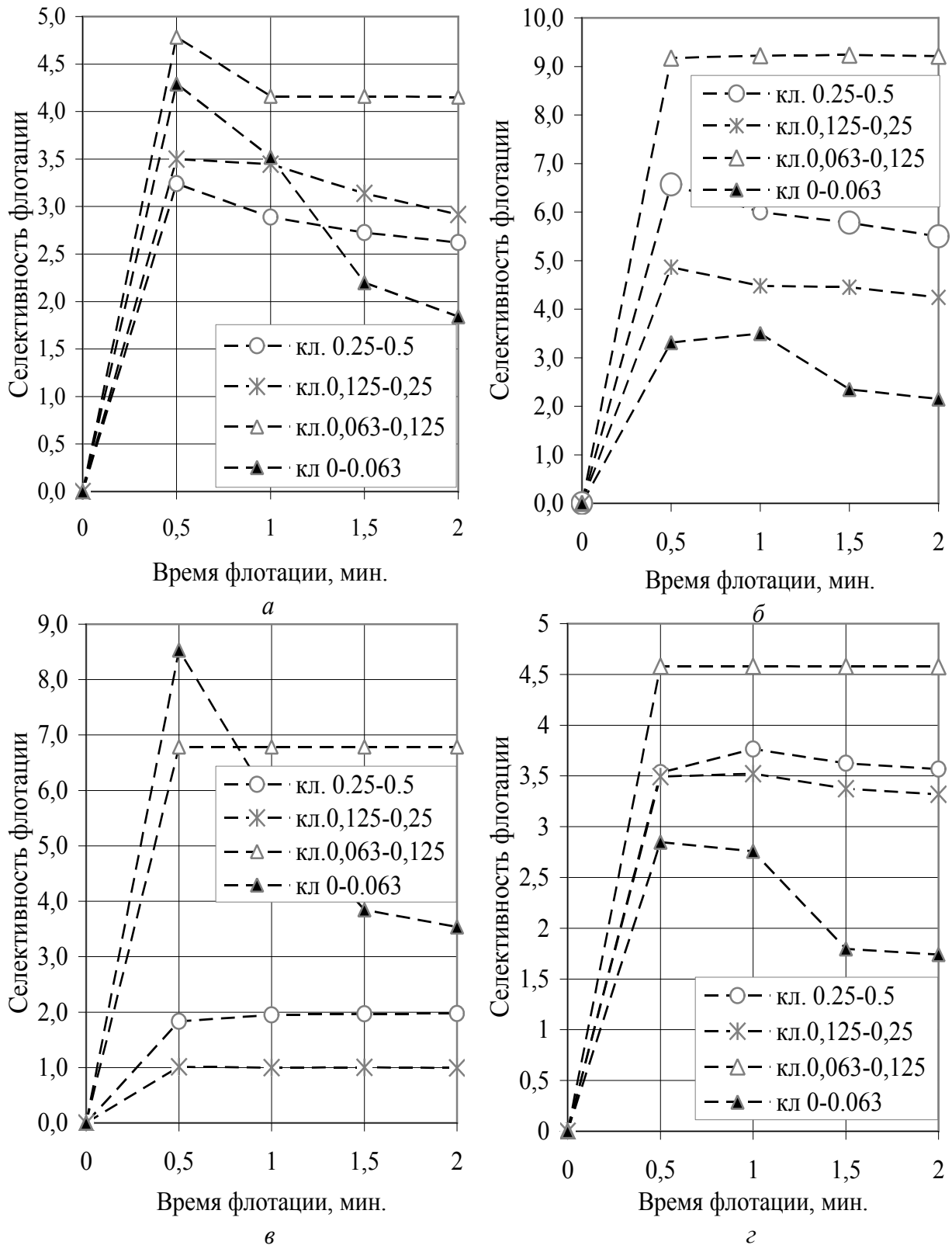


Рис. 2. Селективность процесса для разных классов крупности

при сочетаниях реагентов:  
*a* – ААР-2 + Т-66; *б* – ААР-2 + ПОД;  
*в* – керосин + Т-66; *г* – керосин + ПОД

При исследованных расходах реагентов максимальная скорость выхода в пенный продукт отмечена для класса 0,25–0,5 мм, минимальная – для класса 0,063–0,125 мм для всех сочетаний реагентов. Последнее вызвано большим количеством породных частиц в этом классе крупности, которые повышают его зольность и затрудняют флотацию.

Все классы имеют наибольший прирост скорости за первые 30 с опыта. Затем для частиц крупностью 0,25–0,5 мм скорость увеличивается примерно в 1,47 раза при использовании сочетания собирателя ААР-2 и вспенивателя Т-66. При сочетании ААР-2 и ПОД увеличение скорости ниже и составляет 1,35 раза. При применении в качестве собирателя керосина в сочетании с Т-66 и ПОД увеличение скорости для этого класса крупности также снижается и составляет 1,29 и 1,18 раз, соответственно. Таким образом, вспениватель ПОД обеспечивает условия для более низкой скорости флотации.

Для всех других классов крупности прирост скорости флотации гораздо ниже, а для класса 0,063–0,125 мм практически не наблюдается. Это связано с высокой зольностью данного материала в питании флотации. Гранулометрический состав питания показан в таблице.

Таблица

Классы крупности, мм	Выход, %	Зольность, %
0,25–0,5	37,9	21,5
0,125–0,25	24,26	24,5
0,063–0,125	4,93	53,3
0–0,063	32,91	36,8
Всего	100,0	28,5

Для класса 0–0,063 мм, имеющего выход в питании около 33%, по истечении 60с флотации скорость выхода в пенный продукт уменьшается. При этом скорость флотации мало изменяется при изменении сочетания реагентов "собиратель+вспениватель". Следовательно, для данной пробы шлама углей марки К скорость флотации при разных режимах реагентов в основном определяют классы крупности 0,125–0,25 и 0,25–0,5 мм. Из анализа полученных значений скорости флотации вытекает, что оптимальным для данных условий является использование сочетания собирателя ААР-2 и вспенивателя Т-66.

Анализ данных, представленных на рис. 2, позволяет отметить, что наибольшая селективность флотации достигается в первые 30 с эксперимента. Затем этот показатель снижается или остается постоянным для всех классов крупности.

Максимальные значения селективности процесса отмечены для класса

0,063–0,125 мм, что связано с его высокой зольностью в питании операции. При чем наибольшая селективность для этого высокозольного материала получена при использовании сочетания собирателя ААР-2 и вспенивателя ПОД. Однако, количество частиц этой крупности в питании флотации незначительно, т.е. они не являются определяющими ход процесса в целом.

Для класса 0–0,063 мм наибольшую селективность обеспечивает сочетание собирателя керосина и вспенивателя Т-66. Но такое сочетание реагентов для суммарного класса крупностью более 0,125 мм, которого в питании операции содержится около 62%, не дает высоких значений селективности флотационного разделения. По этому параметру показатели наиболее низкие в данном случае и составляют всего 1–2 единицы. Для частиц этой крупности предпочтительно сочетание собирателя ААР и вспенивателя ПОД.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют заключить, что из необходимости обеспечения высокой скорости процесса следует принять для данного шлама углей марки К сочетание собирателя ААР-2 и вспенивателя ПОД. Этот режим обеспечивает максимальные значения селективности для большинства классов и близкие значения скорости флотации к режиму собиратель ААР-2 и вспениватель Т-66.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния различных расходов реагентов и других параметров с целью оптимизации процесса флотации.

### Список литературы

1. **А.Д. Полулях.** Особенности современных технологий углеобогащения // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2003. – Вип. 17(58). – С. 3–6.
2. **И.Д. Дроздник.** К вопросу обеспечения металлургического комплекса коксующимися углями необходимого качества // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 8–12.
3. **А.И. Аровин, В.И. Саранчук.** Исследование влияния пенообразователя ПОД на качественные характеристики процесса флотации // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 73–83.
4. **В.В. Жура, С.В. Майкова.** Поверхнево-активні властивості спінювачів "Оксаль" і масло "ПОД" // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 83–88.
5. **А.А. Золотко, Л.А. Морозова, О.А. Морозов, Г.А. Мавренко, В.А. Спинеєв.** Опыт и перспективы развития техники и технологи разделения угольных шламов методом флотации // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2005. – Вип. 23(64). – С. 94–103.
6. **Е.И. Назимко, И.Н. Друц.** Исследование кинетики взаимодействия мелких частиц с пузырьками воздуха в процессе флотации // Обогащение полезных ископаемых. Днепропетровск. – 2003. – № 18(59). – С. 95–102.
7. **Е.И. Назимко, И.Н. Друц.** Исследование кинетики взаимодействия фаз в динамической среде при обогащении минералов // Горный информационно-аналитический