

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНОГО АКТА ФЛОТАЦИИ

Journal of the Polish Mineral Engineering Society - 2013. – Rocznik XIV - №1(31) - p. 43-48.

*Елена НАЗИМКО*<sup>1)</sup>, *Наталья ЗВЯГИНЦЕВА*<sup>2)</sup>, *Алена НАДЬ*<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Проф., д.т.н., Горный институт, Горный факультет, ДВНЗ Донецкий национальный технический университет,; 56 Артема, 83001, Донецк, Украина; e-mail: ele-nazimko@ukr.net

<sup>2)</sup> Инж., ст. преп., Горный институт, Горный факультет, ДВНЗ Донецкий национальный технический университет,; 56 Артема, 83001, Донецк, Украина; e-mail:

<sup>3)</sup> магистр, аспирантка

*РЕЦЕНЗЕНТЫ:*

## *Аннотация*

*Статья посвящена имитационному исследованию элементарного акта флотации угля с помощью пакета компьютерных программ. Показано, что образование флотационного комплекса и время его устойчивого существования зависит от условий столкновения угольной частицы и воздушного пузырька при постоянных принятых параметрах взаимодействующих элементов. Установлено влияние прогиба поверхности пузырька на прочность закрепления частицы.*

*Ключевые слова: уголь, флотация, моделирование*

## **Введение**

Флотационный метод является наиболее производительным процессом для обогащения угольной мелочи, особенно для коксующихся углей. Флотация также имеет широкое распространение при обогащении многих руд. Тем не менее, до настоящего времени остаются вопросы, требующие изучения и уточнения.

В частности сложно исследовать процессы, происходящие при взаимодействии фаз при образовании флотационного комплекса, изменения его перемещения. При этом происходит механическое и физико-химическое взаимодействие поверхностей контактирующих фаз, зависящее от их состояния, которое определяется различными параметрами [1, 2].

Исследования позволили установить, что при столкновении воздушного пузырька и угольной частицы тангенциальная компонента скорости частицы растет при увеличении угла встречи фаз [3, 4]. Эта компонента при критических значениях вызывает проскальзывание частицы относительно поверхности пузырька и в итоге ее отрыв. Снижение скорости частицы, скользящей по поверхности адсорбционного слоя воздушного пузырька обеспечивается в основном за счет вязкости этого слоя.

### Метод моделирования

Моделирование выполнено с помощью метода дискретных элементов [5, 6]. Модель учитывает свойства фаз, прочность связей между ними, сопротивление среды, граничные и начальные условия. Настройка модели выполнена для исследования элементарного акта флотации угольной частицы.

Более подробно методика исследования и исходные данные, принятые для моделирования, описаны в работе [7]. Исходное и текущее состояние модели показаны на рис. 1.

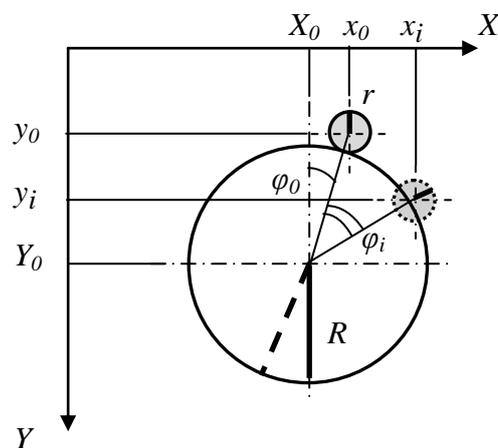


Рис. 1. Модель взаимодействия угольной частицы и воздушного пузырька

Fig. 1.

При решении данной задачи рассматривалось взаимодействие

всплывающего вверх пузырька со взвешенной в пульпе частицей при высокой вязкости поверхностных слоев реагентов и угле столкновения  $\varphi_0 = 5^\circ$ . Задан постоянный размер пузырька ( $R = 1000$ ), параметры движения, свойства поверхности для элементов. Размер угольной частицы в ходе имитационного исследования изменялся от 135 до 300 усл. ед., которые в пакете программ задаются как пиксели при сохранении масштабного коэффициента. Интервал времени при счете задан равным  $10^{-6}$ с, количество циклов счета составило 80000.

### **Анализ результатов исследования**

После выполнения моделирования получены анимационные изображения на мониторе и цифровые файлы. Эти файлы содержат координаты центров тяжести пузырька и частицы в каждый момент времени счета [8].

При обработке цифровых файлов получены параметры движения элементов: траектории, скорости и ускорения. В момент столкновения происходит резкий толчок, после которого скорость и ускорение комплекса уменьшаются на несколько порядков. При этом флотационный комплекс продолжает всплывать. Время существования комплекса определялся с помощью расчета разницы  $S$ : расстояние между центрами тяжести элементов минус сумма их радиусов. Эта разница вычислялась по соотношению:

$$S = l - (R + r), \quad (1)$$

где  $S$  – разница (рис. 2);  $l$  – текущее расстояние между центрами тяжести элементов;  $R$  и  $r$  – радиусы пузырька и частицы, соответственно.

Установлено, что при столкновении частицы и всплывающего пузырька его поверхность прогибается на некоторую величину (см. рис. 2).

Данные рис. 2 показывают, что происходит прогиб поверхности

пузырька без его разрушения. Похожее явления наблюдались при ускоренной киносъемке образования флотационного комплекса.

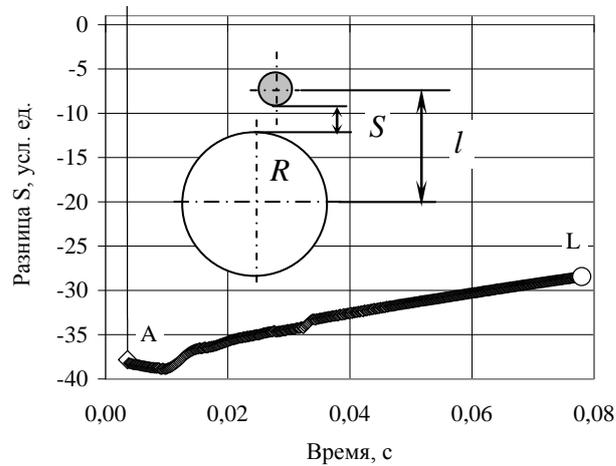


Рис. 2.  
Разница  $S$  для частицы радиусом 160 усл.ед.

Fig. 2

Траектории элементов приведены на рис. 3, на рис 4 – траектория частицы в координатах пузырька. После столкновения (точка А) частица скользит по поверхности пузырька, одновременно всплывая с ним (рис. 3). На траекториях показаны точки, соответствующие положению частицы на поверхности пузырька (рис. 4), что вызывает отклонения его траектории.

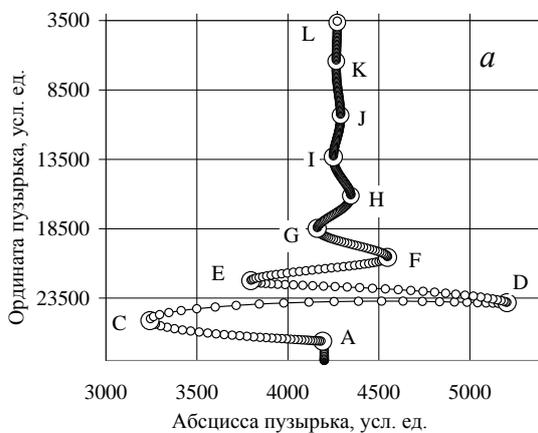


Рис. 3.  
Траектории движения:  
 $a$  – пузырька,  $b$  – частицы угля

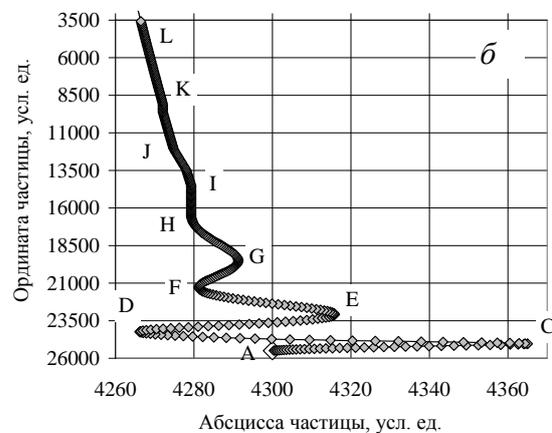


Fig. 3.

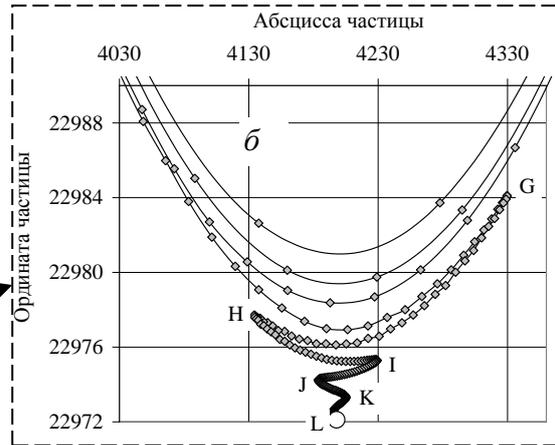
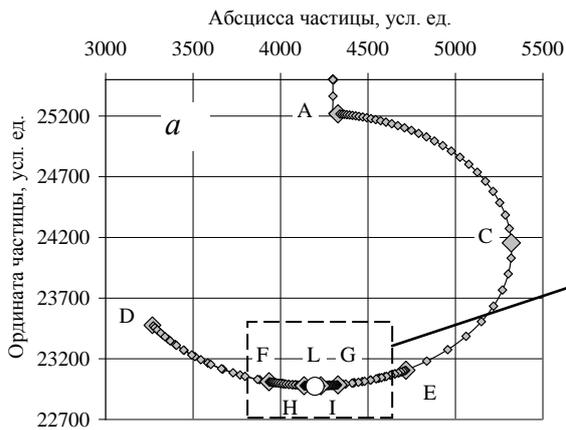


Рис. 4.  
Траектория движения частицы относительно пузырька: *a* – полная траектория, *б* – конечный участок

Fig. 4.

На нижней полусфере пузырька возникает относительное движение частицы вправо-влево при чередовании торможения и ускорения. Частица движется от точки С до точки Д, затем поднимается по поверхности до точки Е. Такие колебания-витки повторяются до 9 раз, что показано на рис. 4, б. Постепенно скорость частицы затухает и частица радиусом 135-160 усл. ед. надежно закрепляется на пузырьке в точке L.

При увеличении радиуса частицы всего на одну единицу закрепления не происходит, траектории элементов имеют другой вид (рис. 5). После столкновения в точке А частица скользит по пузырьку, отрывается в точке В и продолжает всплывать вслед за ним, постепенно замедляясь (рис. 5, а, б). Время присутствия частицы на поверхности пузырька резко снижается (рис. 5, в).

Аналогичные результаты получены для частиц радиусом 161-265 усл. ед. При росте радиуса частиц до 266-296 усл. ед. образование флотокомплекса и длительное его существование возобновляется. Из геометрических соотношений определен диаметр площадки контакта фаз и его связь с прогибом S (рис. 6).

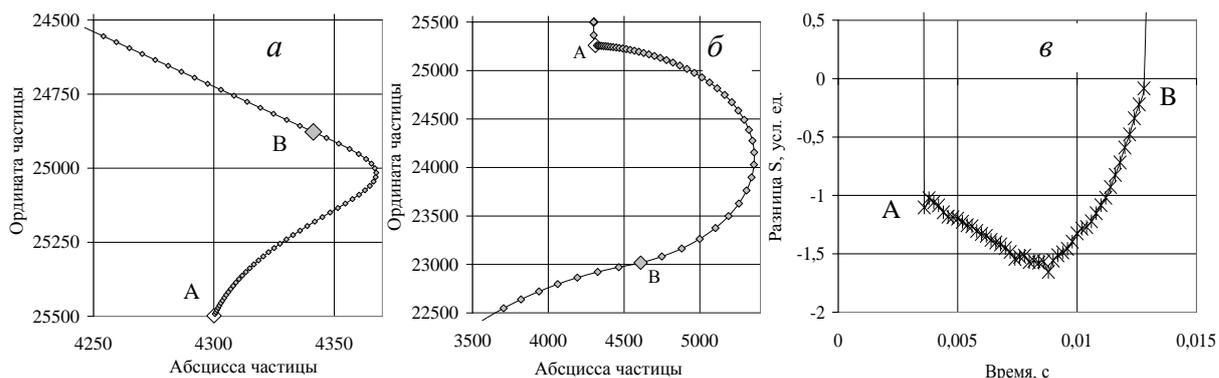


Рис. 5. Траектория частицы радиусом 161 усл. ед. и величина  $S$ :  $a$  – с комплексом и после его разрушения;  $b$  – относительно пузырька;  $c$  – разность (прогиб)  $S$

Fig. 5.

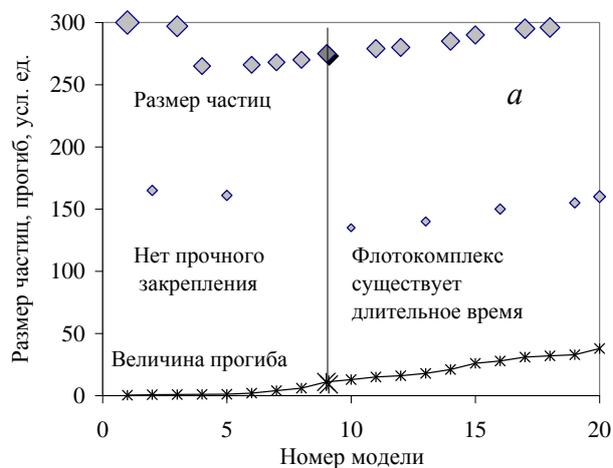
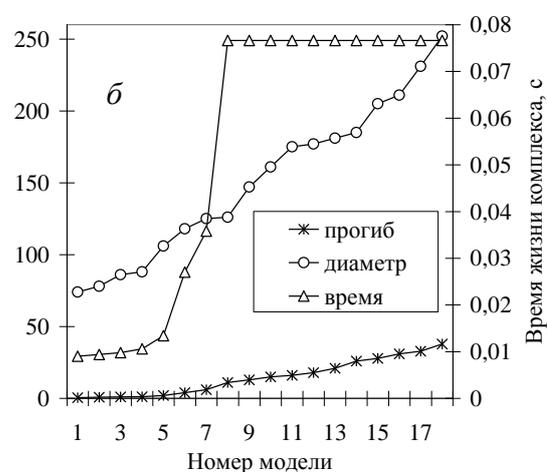


Рис. 6. Связь величины прогиба поверхности пузырька с размером частиц ( $a$ ), диаметром площадки контакта и временем жизни флотационного комплекса ( $b$ )

Fig. 6.



Данные рис. 6,  $a$  показывают, что прогиб поверхности пузырька  $S$  может иметь разные значения независимо от размеров частиц. Определяющими являются условия контакта фаз.

Из известного уравнения Фрумкина-Кабанова сила прикреплeния частицы к пузырьку  $F$  определяется как:

$$F = \pi a \sigma_{ж-г} \sin \theta, \quad (2)$$

где  $a$  - диаметр площадки контакта фаз,  $\sigma_{ж-г}$  – поверхностное натяжение на границе раздела «жидкость-газ»,  $\theta$  – краевой угол смачивания.

При постоянных значениях  $\sigma_{ж-г}$  и  $\theta$  сила приклепления  $F$  прямо пропорциональна величине  $a$ , которая связана с прогибом поверхности пузырька  $S$ . В свою очередь прогиб поверхности  $S$  зависит от момента и условий столкновения частицы и пузырька, эластичности оболочки пузырька, свойств адсорбционных слоев вспенивателя на ее поверхности. Поэтому при флотации частиц разной крупности необходимо подбирать вспениватели, обеспечивающие определенную вязкость адсорбционных слоев.

## Выводы

Проведенное имитационное исследование позволило определить влияние свойств поверхности воздушного пузырька на условия образования флотационного комплекса и время его существования.

## Литература

1. Чехия
2. Польша
3. Е.И. Назимко, И.Н. Друц. Исследование кинетики взаимодействия фаз в динамической среде при обогащении минералов // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. – 2004. - №1. - С.336-339.
4. Е.И. Назимко, И.Н. Друц. Исследование кинетики взаимодействия мелких частиц с пузырьками воздуха в процессе флотации // Обогащение полезных ископаемых. Днепропетровск. – 2003. – вып. 18(59). - С. 95-102
5. P. A. Cundall, O. D. L. Strack, A discrete numerical model for granular assemblies, *Geotechnique*, **29:1**, 47–65 (1979).
6. Bruno M. S. et al. 1996. Some influences of saturation and fluid flow on sand production: Laboratory and Discrete Element Model Investigations. SPE 36534, Proc. 1996 SPE Ann. Tech. Conf., Denver, Colorado, 6–9 October, 447–461.
7. Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Самойлов А.И., Папушин Ю.Л. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов. Донецк: Норд-Пресс. – 2002. – 266 с.
8. L.I. Nazimko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation // Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. pp. 775-781.