

УДК 622.763

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ НА МИКРОУРОВНЕ**

Назимко Е.И., докт. техн. наук, проф.,  
Друц И.Н., инж., Серафимова Л.И., соискат.  
Донецкий национальный технический университет

*Приведена методика и результаты моделирования минерализации воздушных пузырьков при флотации углей*

*The method and results of simulation of air bubbles mineralization during coal flotation are present*

***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

В процессах обогащения разделение ценных минералов и сопутствующих пород основано на различии в их свойствах. При этом происходит механическое, физико-химическое и химическое взаимодействие участвующих фаз: твердой, жидкой и газообразной. Одним из сложных процессов является флотационное обогащение, показатели которого зависят в основном от поверхностных свойств фаз, участвующих в нем.

Многолетние исследования, проводившиеся ранее, способствовали широкому применению флотации для обогащения многих руд. В угольной практике роль этого процесса обогащения в последние годы снизилась в основном из-за необходимости глубокого обезвоживания продуктов разделения, особенно глинистых отходов, и повышения стоимости реагентов. Вместе с тем получение качественных угольных концентратов для целей коксования без обогащения тонких угольных частиц методом флотации на данном этапе развития техники и технологии не представляется возможным.

В соответствии со сказанным дальнейшие исследования процесса на микроуровне с целью его совершенствования является актуальной научно-практической задачей.

***Анализ исследований и публикаций.*** Обзор публикаций по результатам теоретических исследований флотационного процесса позволил определить, что наибольшую трудность представляют явления, происходящие на микроуровне [1]. К таким явлениям можно отнести в первую очередь взаимодействия трех фаз при их столкновении и образовании флотационного комплекса в ходе элементарного

акта флотации. Особый интерес представляют изменения, происходящие с образовавшимся комплексом «твердая минеральная частица-пузырек воздуха» при его всплывании в пенный слой.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является исследование флотации угольных частиц на микроуровне.

В ходе проведения имитационного эксперимента поставлена задача определения параметров взаимодействия частиц и воздушных пузырьков при образовании флотационного комплекса.

**Изложение материала и результаты.** Для решения поставленной задачи применен метод компьютерного моделирования с использованием дискретных элементов. Данный метод позволяет определять координаты центра тяжести взаимодействующих элементов, приращения этих координат, а также угол поворота их радиусов и его приращения в радианной мере. Более подробно методика исследования и исходные данные, принятые для моделирования, описаны в работе [2]. Исходное и текущее состояние модели показаны на рис. 1.

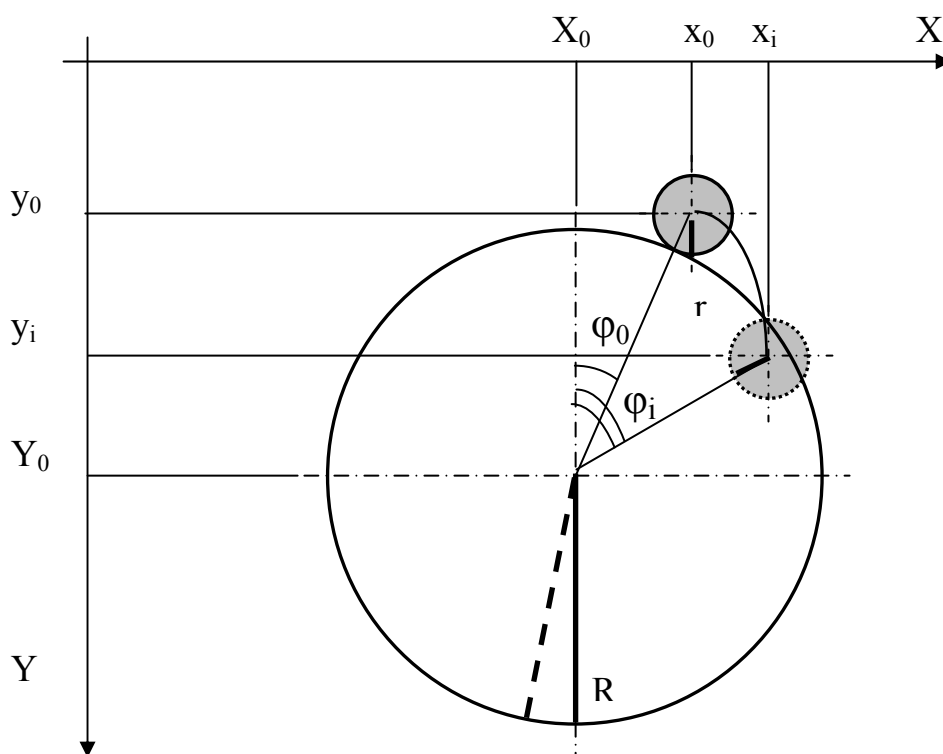


Рис. 1 – Исходная модель взаимодействия частицы и пузырька

Моделирование взаимодействия твердой минеральной частицы, падающей на поверхность всплывающего вверх пузырька, выполня-

лось в течение 80000 циклов счета. Один цикл соответствовал  $10^{-6}$  с натурального времени. Координаты центров тяжести элементов и состояние комплекса накапливались в выходном файле каждые 200 циклов. Для расчетов принято взаимодействие воздушного пузырька диаметром 2.5 мм (2000 пикселей) и угольной частицы размером 0.36 мм (290 пикселей) правильной сферической формы. На рис. 1 показаны радиусы пузырька и частицы  $R$  и  $r$ , а также  $\varphi$  – угол, определяющий положение частицы на пузырьке.

Часть результатов моделирования уже была опубликована в ряде работ [3]. При рассмотрении данных было установлено, что после столкновения с пузырьком оба элемента не только изменяют свою траекторию, но и начинают вращаться друг относительно друга. В данной работе определялись параметры вращения взаимодействующих элементов после их столкновения. Результаты исследования представлены в графической форме на рис. 2 и 3.

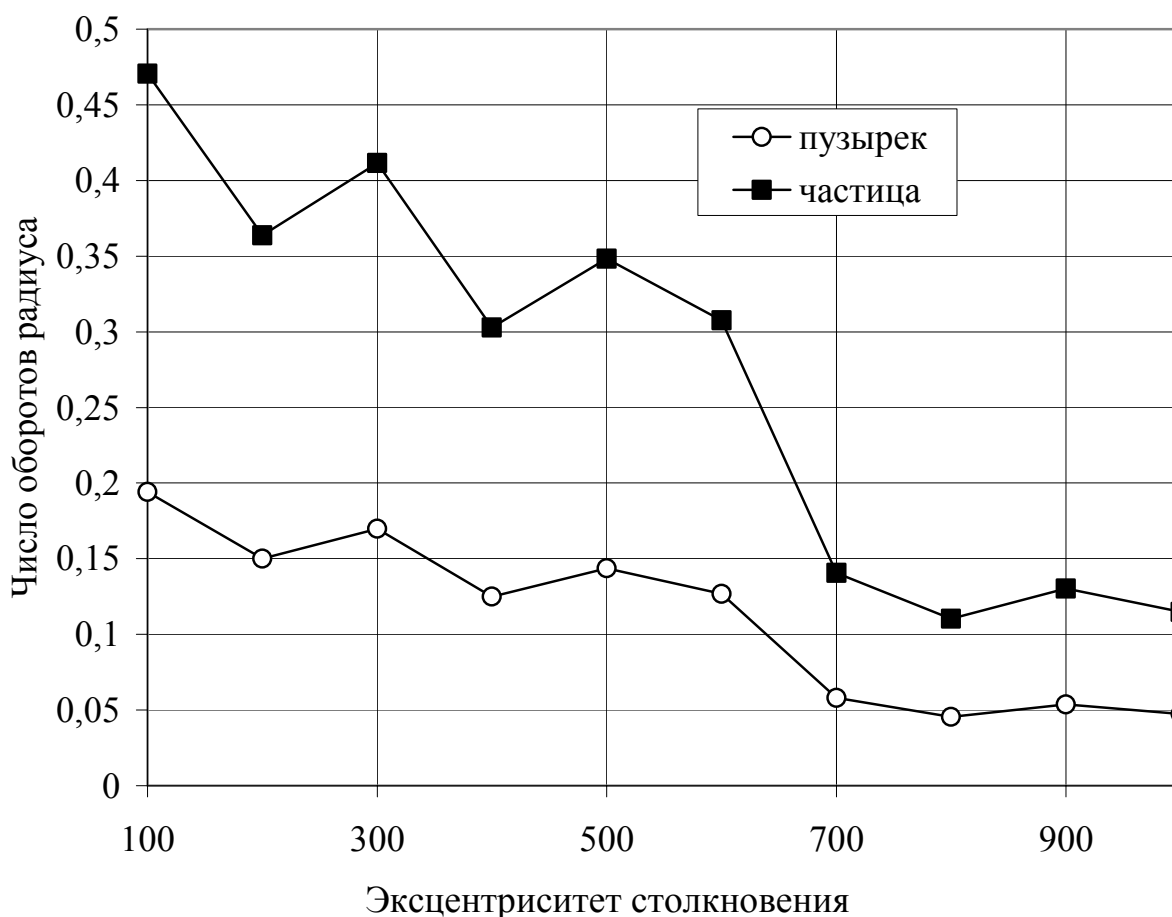


Рис. 2 – Параметры вращения в зависимости от условий столкновения элементов

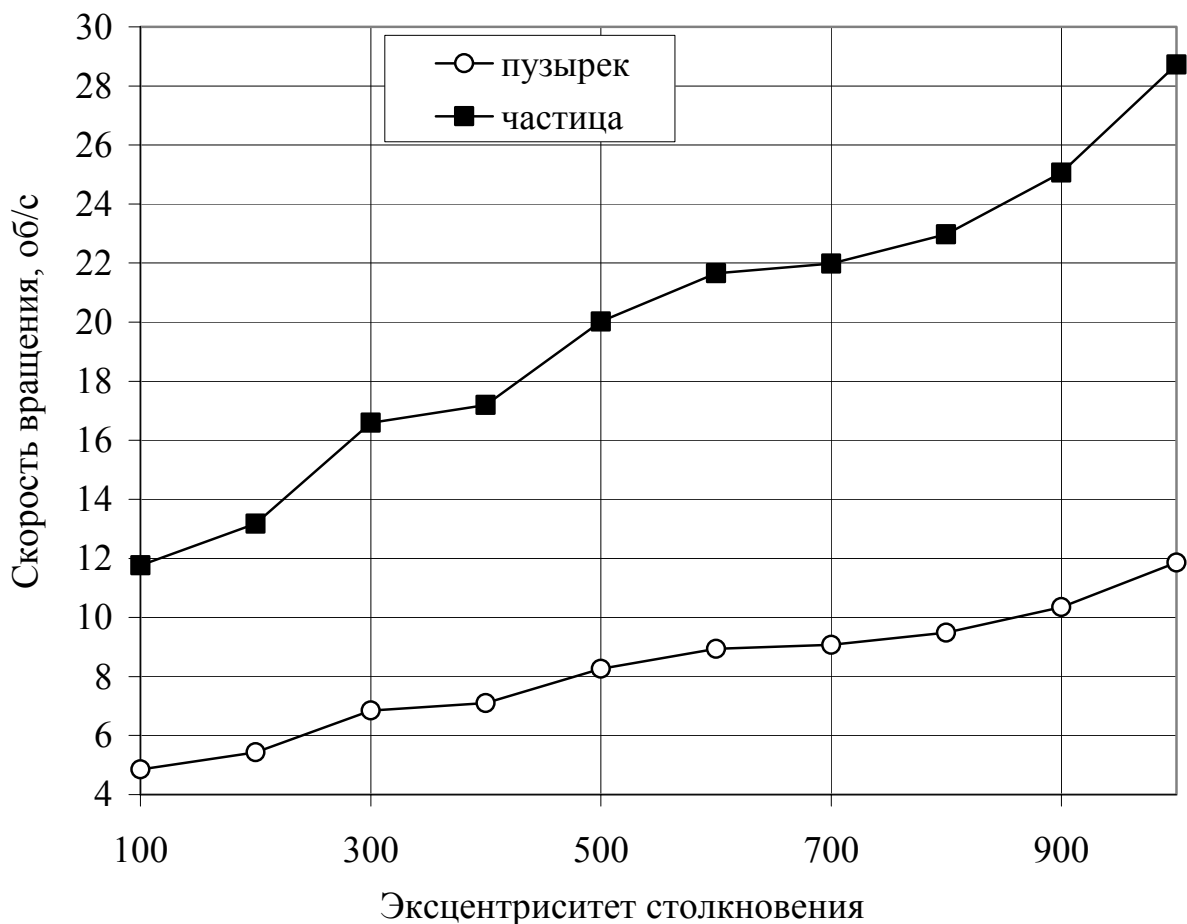


Рис. 3 – Швидкість обертання елементів в залежності від ексцентриситету зіткнення

Число оборотів радіуса повітряного бульбашки і угольної частинки визначалося на момент руйнування утвореного флотаційного комплексу через значення кута повороту радіусів, які вивчаються комп'ютерною програмою в ході моделювання і записуються в окремий файл.

Аналіз отриманих даних (рис. 2) дозволяє зробити висновок, що при збільшенні ексцентриситету зіткнення частинки з повітряною бульбашкою від 100 до 1000 пікселів зменшується число оборотів їх радіусів. Це зниження пов'язано з зменшенням часу існування флотаційного комплексу з 40 до 6-4 мілісекунд, яке визначалося по різниці моменту відриву частинки від бульбашки і моменту її первинного контакту з нею і представлено на рис. 4. На рис. 2 і 4 можна помітити значне зниження числа оборотів радіусів і часу існування флотаційного комплексу при ексцентриситеті зіткнення  $e = 700$  пікселів, що дозволяє визначити це значення як критичне.

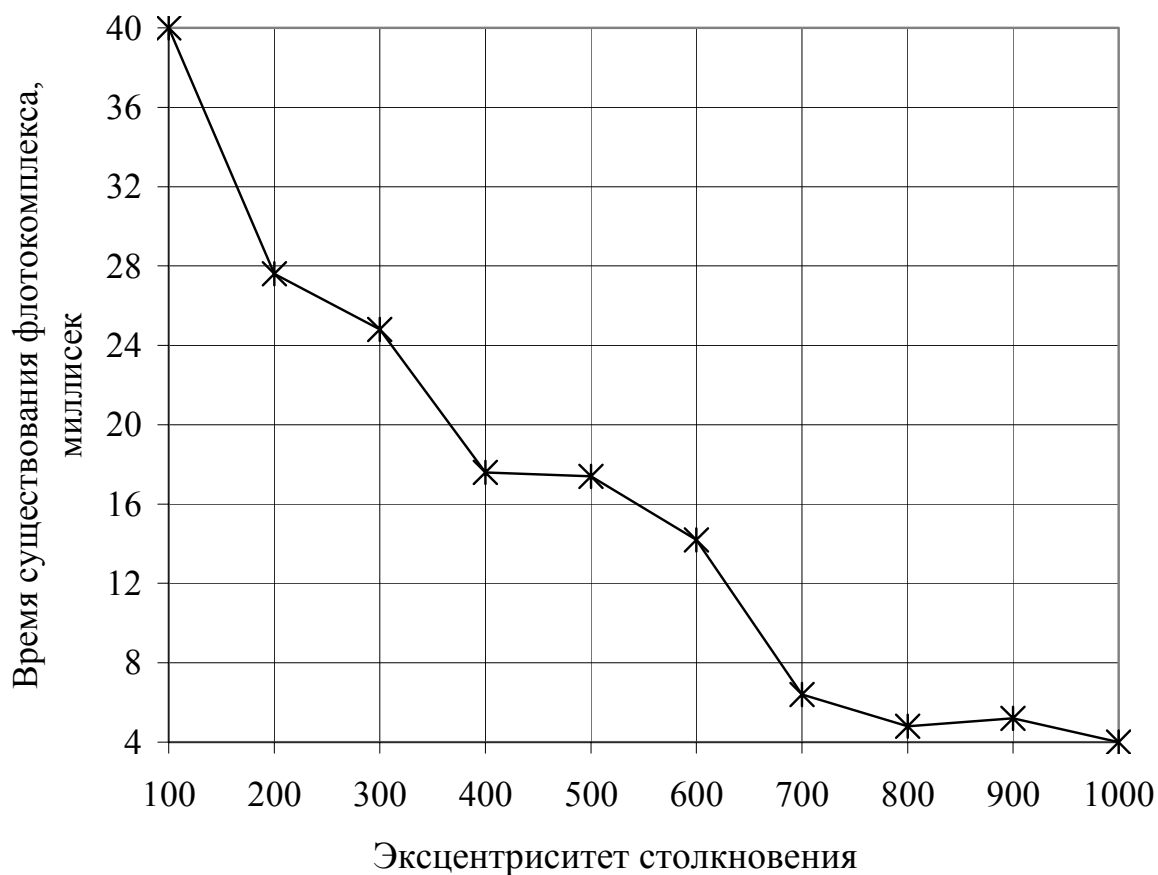


Рис. 4 – Время существования флотационного комплекса

Скорость вращения элементов (рис. 3) также увеличивается после достижения критического значения эксцентриситета столкновения ( $e=700$  пкс). По данным моделирования определялись ускорения изменения скорости вращения элементов, и было отмечено, что значения имеют колебания. Это позволило сделать вывод о неравномерности не только линейного перемещения, но и вращения элементов с чередованием ускорения и торможения.

Средние значения ускорений за весь период существования флотационного комплекса, которые показаны на рис. 5, имеют положительные значения. Это свидетельствует о преобладании ускоренного вращения и является одной из причин разрушения образовавшегося в ходе элементарного акта флотации комплекса «пузырек-частица».

Анализ данных, представленных на рис. 5, подтверждает сделанный ранее вывод о наличии критического значения эксцентриситета столкновения, равного 700 пкс. Если перейти на соотношение радиусов пузырька и частицы, то критическим будет являться столкновение при положении центра тяжести частицы на

расстоянии 0,7 радиуса пузырька от его центра, что соответствует углу встречи  $39^{\circ}39'$ .

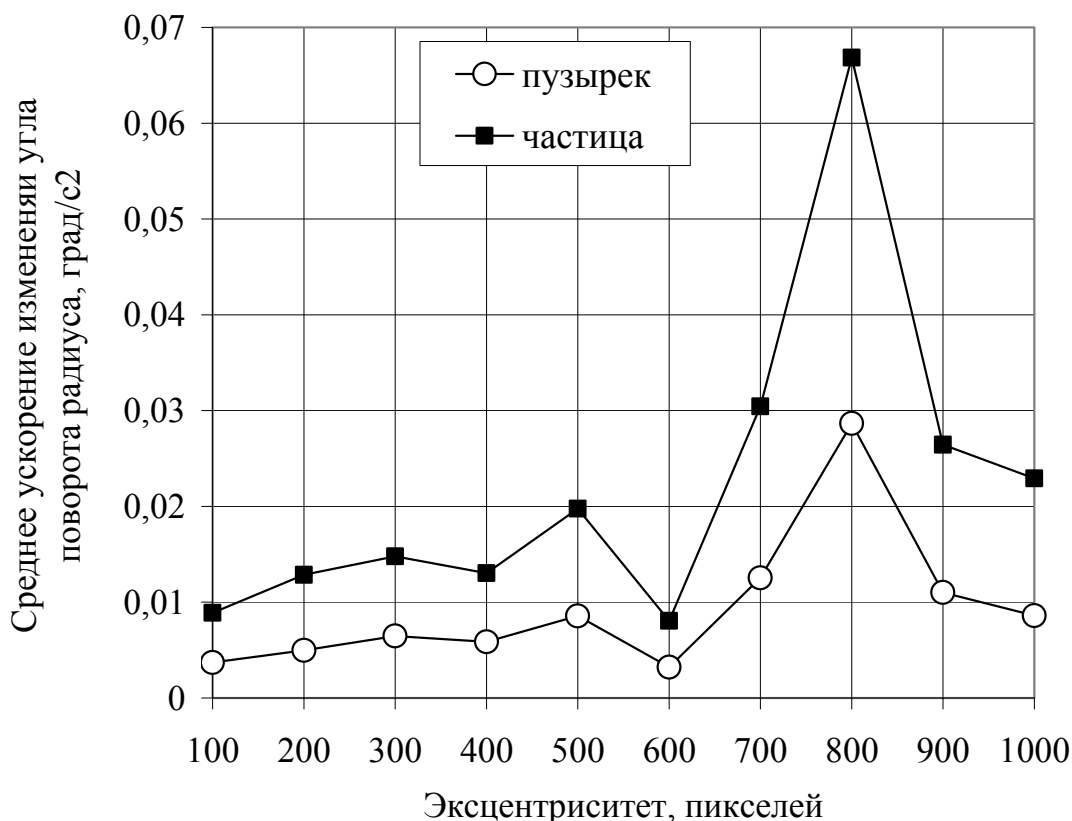


Рис.5 - Средние значения ускорений вращения за весь период существования флотационного комплекса

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, результаты исследования и компьютерного моделирования взаимодействия частиц и пузырьков при флотации на микроуровне свидетельствуют о наличии критического значения угла встречи равного  $39^{\circ}39'$  и неравномерности движения с чередованием ускорения и торможения. Дальнейшие исследования могут быть направлены на поиски реагентов и их сочетаний, способных погасить ускоренное движение частицы по поверхности пузырька.

Список источников

1. Теория и технология флотации руд. О.С. Богданов, И.И. Максимов, А.К. Поднек, Н.А. Янис. Под общей ред. О.С. Богданова. – М.: Недра. – 1990. – 364 с.
2. 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.
3. 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.

Дата поступления статьи в редакцию: 05.11.07