

УДК 622.765

**Н.А. ЗВЯГИНЦЕВА (ст. преподаватель)**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

**ИМИТАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНОГО АКТА ФЛОТАЦИИ**

Проведено имитационное исследование элементарного акта флотации угля. Показана зависимость образования флотационного комплекса и время его существования от условий столкновения частицы и пузырька. Установлено влияние прогиба поверхности пузырька на прочность закрепления частицы.

**Ключевые слова:** уголь, флотация, моделирование.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Флотационный процесс широко распространен при обогащении многих руд. Флотация также является наиболее эффективным методом для обогащения угольных шламов, особенно коксующихся углей. Тем не менее, до настоящего времени остаются вопросы, требующие изучения и уточнения. Особенно сложно исследовать процессы, происходящие при образовании флотационного комплекса и изменения его перемещения. Механическое и физико-химическое взаимодействие поверхностей контактирующих фаз при этом зависит от их состояния, которое определяется различными параметрами [1].

**Анализ исследований и публикаций.** Исследованиями установлено, что в момент столкновения угольной частицы и воздушного пузырька тангенциальная составляющая скорости частицы растет при увеличении угла встречи фаз [2, 3]. Эта составляющая при критических значениях вызывает проскальзывание частицы по поверхности пузырька и ее отрыв. При увеличении скорости движения частицы и пузырька уменьшается вероятность сохранения флотационного комплекса [4]. Снижение скорости частицы, скользящей по поверхности адсорбционного слоя воздушного пузырька обеспечивается в основном за счет вязкости этого слоя.

Моделирование элементарного акта флотации угольной частицы выполнено с помощью метода дискретных элементов [5, 6]. Данная модель учитывает свойства взаимодействующих фаз, прочность связей между ними, сопротивление среды, граничные и начальные условия. Более подробно исходные данные, принятые для моделирования, и методика исследования описаны в работе [7].

**Постановка задачи.** Целью данной работы является исследование влияния свойств поверхности воздушного пузырька на условия образования флотационного комплекса и время его существования.

В данном исследовании рассматривалось взаимодействие взвешенной в пульпе угольной частицы со всплывающим воздушным пузырьком при угле столкновения  $\varphi_0 = 5^\circ$  и высокой вязкости поверхностных слоев реагентов. Заданы параметры их движения, а также постоянный размер пузырька ( $R = 2,5$  мм). Размер частицы ( $r$ ) в ходе исследования изменялся от 0,25 до 0,75 мм. Количество итераций составило 80000, интервал времени при счете задан равным  $10^{-6}$  с.

**Анализ результатов исследования.** После выполнения имитационного моделирования были получены анимационные изображения на мониторе и цифровые файлы. Файлы содержат координаты центров тяжести частицы и пузырька в каждый момент времени счета [8]. При обработке цифровых файлов получены параметры движения элементов: их траектории, скорости и ускорения.

В момент столкновения частицы и пузырька происходит резкий толчок, после которого скорость и ускорение комплекса уменьшаются на несколько порядков. При этом флотационный комплекс продолжает всплывать.

Было установлено, что при столкновении частицы с пузырьком его поверхность прогибается на некоторую величину, пузырек при этом не разрушается. Похожие явления наблюдались при ускоренной киносъемке образования флотационного комплекса.

Траектории элементов приведены на рис. 1, траектория частицы ( $r = 0,4$  мм) в координатах пузырька – на рис. 2.

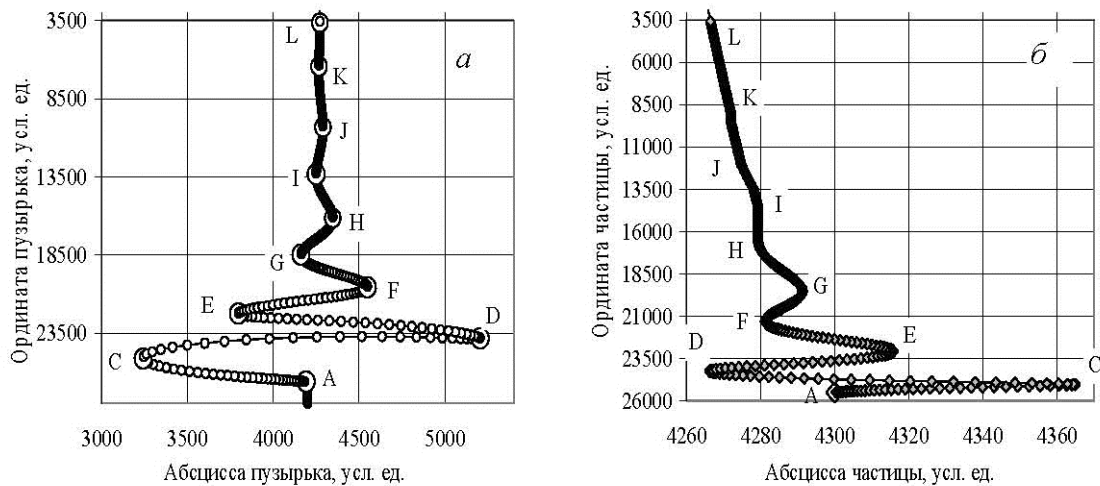


Рис. 1. Траектории движения: а – пузырька, б – частицы угля

На траекториях показаны точки, соответствующие положению частицы на поверхности пузырька и вызывающие отклонения его траектории (рис. 2).

На нижней полусфере пузырька возникает относительное движение частицы вправо-влево при чередовании торможения и ускорения. Частица скользит от точки С до точки D, затем поднимается по поверхности до точки E и т.д. Такие колебания повторяются до 9 раз, что показано на рис. 2, б. Постепенно скорость частицы затухает и частица радиусом 0,34 – 0,4 мм надежно закрепляется на пузырьке (точка L).

При увеличении радиуса частицы всего на 0,01 мм закрепления не происходит, траектории элементов имеют другой вид (рис. 3).

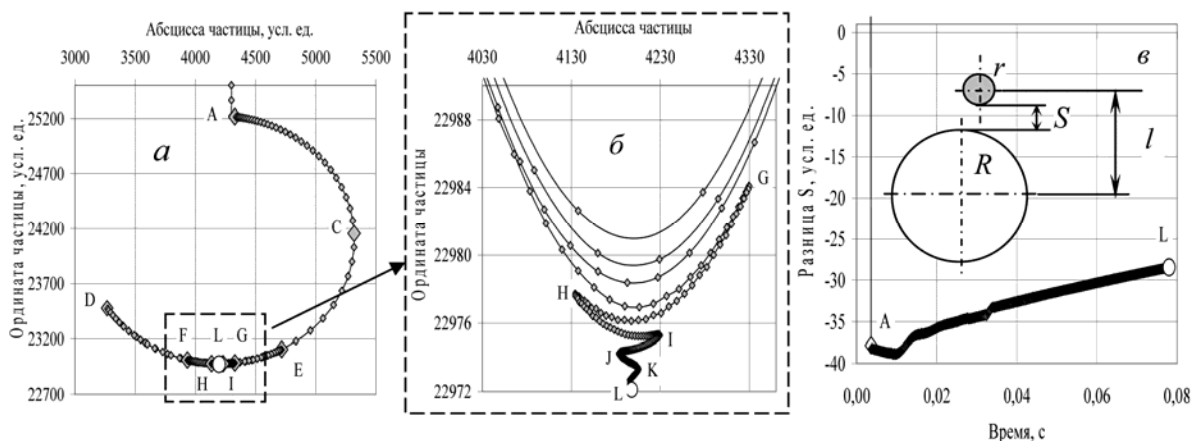


Рис. 2. Траектория движения частицы ( $r = 0,4$  мм) относительно пузырька:  
а – полная траектория, б – конечный участок, в – разница  $S$

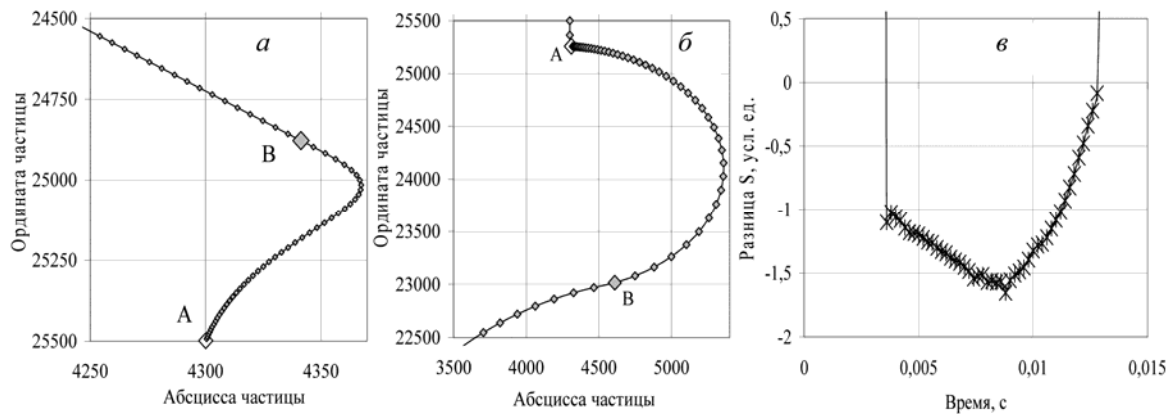


Рис. 3. Траектория частицы ( $r = 0,66$  мм) и величина  $S$ :  
 а – с комплексом и после его разрушения; б – относительно пузырька; в – разница  $S$

После столкновения (точка А) (рис. 3, а, б) частица движется по поверхности пузырька, отрывается (точка В) и, постепенно замедляясь, продолжает всплывать вслед за ним. Время взаимодействия частицы с пузырьком резко снижается (рис. 3, в). Аналогичные результаты получены для частиц радиусом от 0,41 до 0,66 мм.

При росте радиуса частиц до 0,67 – 0,74 мм образование флотационного комплекса возобновляется и наблюдается его продолжительное существование.

Время существования комплекса определялось с помощью расчета разницы  $S$  (рис. 2, в). Эта разница вычислялась по соотношению:

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

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

Из геометрических соотношений определен диаметр площадки контакта фаз и его связь с прогибом  $S$  (рис. 4). Данные рис. 4, а показывают, что прогиб поверхности пузырька  $S$  может иметь разные значения независимо от размеров частиц. Определяющими являются условия контакта фаз.

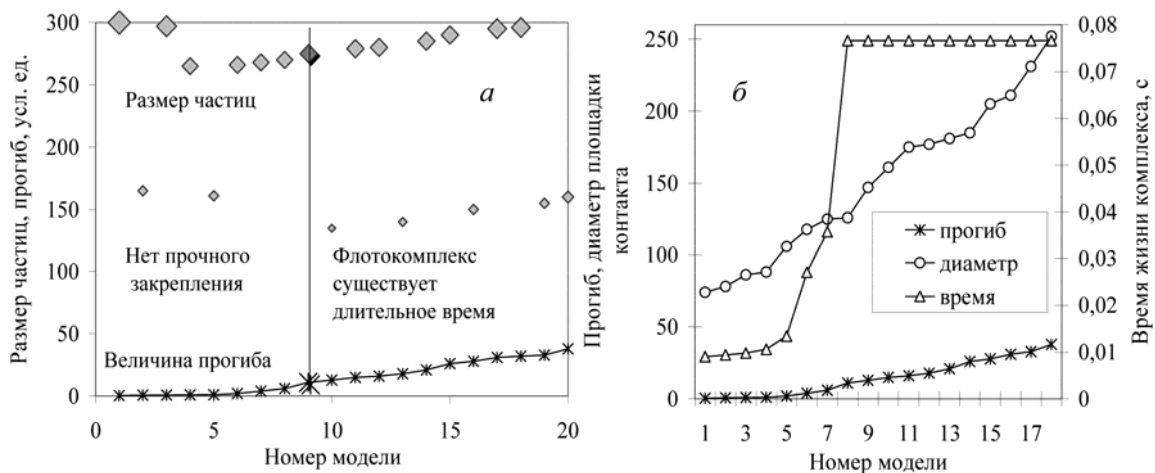


Рис. 4. Связь величины прогиба поверхности пузырька с размером частиц (а), диаметром площадки контакта и временем жизни флотационного комплекса (б)

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

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

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 прикрепления  $F$  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.

### Выводы и направления дальнейших исследований

Проведенное имитационное исследование позволило установить влияние свойств поверхности воздушного пузырька на прочность закрепления частицы и время существования флотационного комплекса. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение практических последствий полученных зависимостей. При флотации частиц разной крупности необходимо подбирать реагенты-вспениватели, обеспечивающие определенную вязкость адсорбционных слоев.

### Список использованной литературы

1. Basarova P. Theoretical description of a motion of a spherical bubble in neighborhood of a falling particle / P. Basarova, M. Hubicka, J. Vejrazka // XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC) 2012 Proceedings. – New Delhi, India. – 24–28 September 2012. – P. 165-170.
2. Назимко Е.И. Исследование кинетики взаимодействия фаз в динамической среде при обогащении минералов / Е.И. Назимко, И.Н. Друц // Горный информационно-аналитический бюллетень МГУ. – 2004. – №1. – С. 336-339.
3. Назимко Е.И. Исследование кинетики взаимодействия мелких частиц с пузырьками воздуха в процессе флотации / Е.И. Назимко, И.Н. Друц // Обогащение полезных ископаемых. – 2003. – вып. 18(59). – С. 95-102.
4. Звягинцева Н.А. Моделирование влияния скорости взаимодействующих частиц и пузырьков на возможность образования флотационного комплекса / Н.А. Звягинцева // Збагачення корисних копалин. – 2012. – вип. № 51(92). – С. 43-48.
5. Cundall P.A. A discrete numerical model for granular assemblies, *Geotechnique* / P.A. Cundall, O. D. L. Strack. – 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. – pp. 447–461.
7. Гарковенко Е.Е. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Самойлов. – Донецк: Норд-Пресс, 2002. – 266 с.
8. Nazimko L.I. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation / L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts, // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation*. – China. – 2006. – P. 775-781.

Надійшла до редакції 13.09.2013

Н.А. Звягинцева

### ІМІТАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНОГО АКТА ФЛОТАЦІЇ

Стаття присвячена імітаційному дослідженню елементарного акта флотації вугілля. Показана залежність утворення флотаційного комплексу і час його стійкого існування від умов зіткнення частки і повітряної

бульбашки при постійних прийнятих параметрах елементів. Встановлено вплив прогинання поверхні бульбашки на міцність закріплення частки.

Ключові слова: вугілля, флотація, моделювання.

N. Zviahintseva

#### SIMULATION RESEARCH OF FLOTATION ELEMENTARY ACT

The article deals with the simulation research of coal flotation elementary act. It was demonstrated that flotation complex formation and its stable lifetime depend on collision conditions of coal particle and bubble for constant agreed parameters of interacting components. Effect of bubble surface inward deflection on strength of particle attachment was determined.

Keywords: coal, flotation, modeling.