

УДК 622.765.4

**Н.А. ЗВЯГИНЦЕВА**, ст.преподаватель,  
(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЧАСТИЦ И ПУЗЫРЬКОВ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ФЛОТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА**

*Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.* Уголь представляет собой ценное сырье для дальнейшей химической переработки с целью получения необходимых для промышленности продуктов, а также является одним из главных источников получения тепловой энергии [1]. Современные углеобогащательные предприятия постоянно сталкиваются с проблемой обогащения шламов.

Флотация является в настоящее время единственным эффективным способом обогащения тонких классов каменного угля. Широкое промышленное развитие флотации угля обуславливается главным образом резким увеличением содержания этих классов в добываемом угле вследствие механизации его добычи.

Современный флотационный процесс, основанный на использовании физико-химических и физических явлений и регулируемый взаимодействием многих факторов, является одним из наиболее актуальных научно-технических исследований.

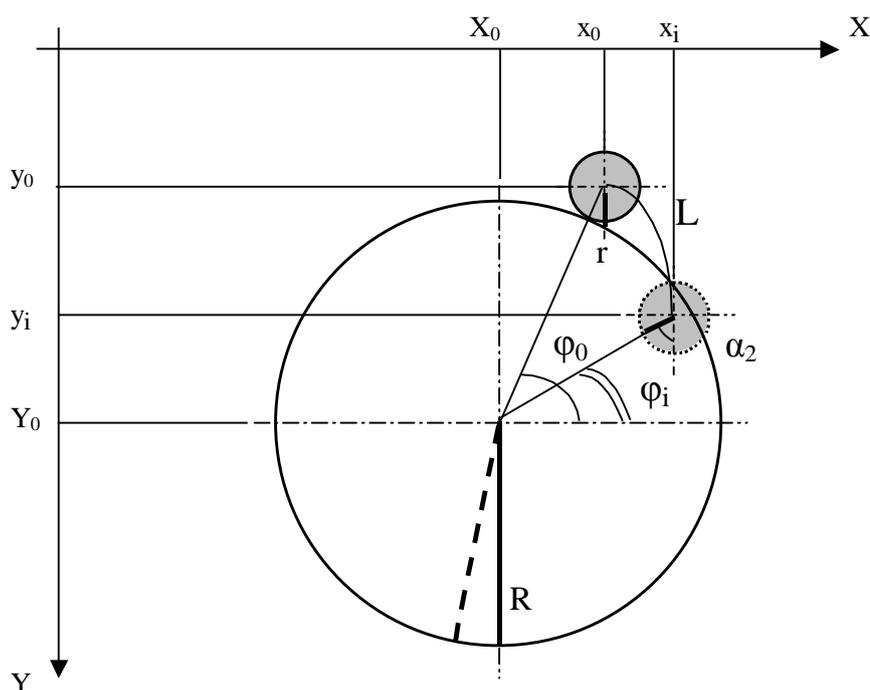
*Анализ исследований и публикаций.* Одним из важных факторов, определяющих вероятность протекания собственно флотации является образование флотационного комплекса «воздушный пузырек - угольная частица». При этом характер движения твердой фазы и воздушных пузырьков в значительной мере влияет на вероятность столкновения частиц с пузырьками, образование и успешное всплывание флотационных комплексов, что определяют в свою очередь скорость процесса сепарации при флотации.

Исследования многих авторов прошлых лет посвящены развитию теоретических основ процесса и разработке параметров процесса флотационного обогащения различного минерального сырья [2-4]. В настоящее время появился цикл работ, посвященных флотации углей [5-8]. Изучение элементарного акта флотации затрудняется высокой скоростью образования флотационного комплекса и влиянием большого числа различных параметров на этот процесс, особенно на микроуровне. Развитие компьютерных методов моделирования и исследования таких процессов позволяет лучше понимать природу многих явлений [6, 9].

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является исследование на микроуровне взаимодействия частиц угля с воздушными пузырьками при различных скоростях движения взаимодействующих элементов.

**Изложение материала и результаты.** Для исследования применялось численное моделирование с использованием дискретных элементов. Комплекс программ разработан в ДонНТУ в лаборатории Моделирования необратимых процессов. Методика моделирования и исходные условия более подробно описаны в работах [5-8].

Исходное состояние модели и текущее положение частицы на поверхности пузырька при их контакте представлено на рис. 1.



$X_0, Y_0; x_0, y_0$  - координаты центров тяжести пузырька и частицы в начальный момент;  
 $R, r$  - радиусы пузырька и частицы;  $L$  - дуговой путь частицы;  $\varphi_0, \varphi_i$  - начальный и текущий угол положения частицы;  $\alpha_2$  - угол поворота радиуса частицы при движении по поверхности пузырька

Рис. 1. Исходная модель и текущее положение частицы

Базовыми условиями для моделирования были приняты параметры, установленные оптимальными для образования флотационного комплекса, которые были опубликованы в работах последних лет [7-9]. Как было установлено в этих исследованиях, существует критическое значение угла встречи частицы и пузырька. При значениях угла встречи менее критического флотационный комплекс существует достаточно долго, что обеспечивает возможность выноса угольной частицы в пенный слой при заданных свойствах поверхности взаимодействующих элементов. Поэтому эти параметры и были приняты в качестве исходных.

В ходе изучения исследовалось взаимодействие падающей угольной частицы и всплывающего воздушного пузырька путем компьютерного моделирования в течение 80000 итераций (циклов счета). Один цикл счета соответствовал  $10^{-6}$  с натурального времени. Координаты центров тяжести элементов накапливались в выходном файле через каждые 200 итераций, обработка цифровых данных позволяет определять состояние комплекса. Для расчетов принято взаимодействие воздушного пузырька и угольной частицы сферической формы с диаметрами 2,5 и 0,36 мм соответственно в выбранном масштабе в пикселях.

Численное моделирование дает возможность определять путем вычислений на базе обработки цифровых файлов изменение скорости и траектории движения участвующих во взаимодействии элементов. Таким образом можно моделировать поведение угольных частиц и воздушных пузырьков при их взаимодействии в процессе флотации.

Были рассчитаны параметры перемещения частицы относительно пузырька и комплекса в целом. Изучалось влияние ускорений частицы и пузырька на вероятность образования и сохранения флотационного комплекса.

Для расчетов приняты значения ускорений элементов в условных единицах; для воздушного пузырька:  $2e^8$ ;  $2,5e^8$ ;  $2,9e^8$ ;  $3e^8$ ;  $3,1e^8$ ; для угольной частицы:  $0,0001$ ;  $0,05$ ;  $0,5$ ;  $5e^1$ ;  $5e^2$ ;  $5e^3$ ;  $5e^4$ ;  $5e^5$ ;  $1e^6$ ;  $2e^6$ ;  $2,5e^6$ ;  $2,9e^6$ ;  $3e^6$ ;  $3,5e^6$ ;  $4e^6$ . Исследовались результаты взаимодействия элементов при различных сочетаниях скоростей и ускорений.

На основе данных моделирования построены графики изменения траектории перемещения частицы относительно пузырька в течение всего времени их взаимодействия в зависимости от ускорения частицы и пузырька, представленные на рис. 2-4.

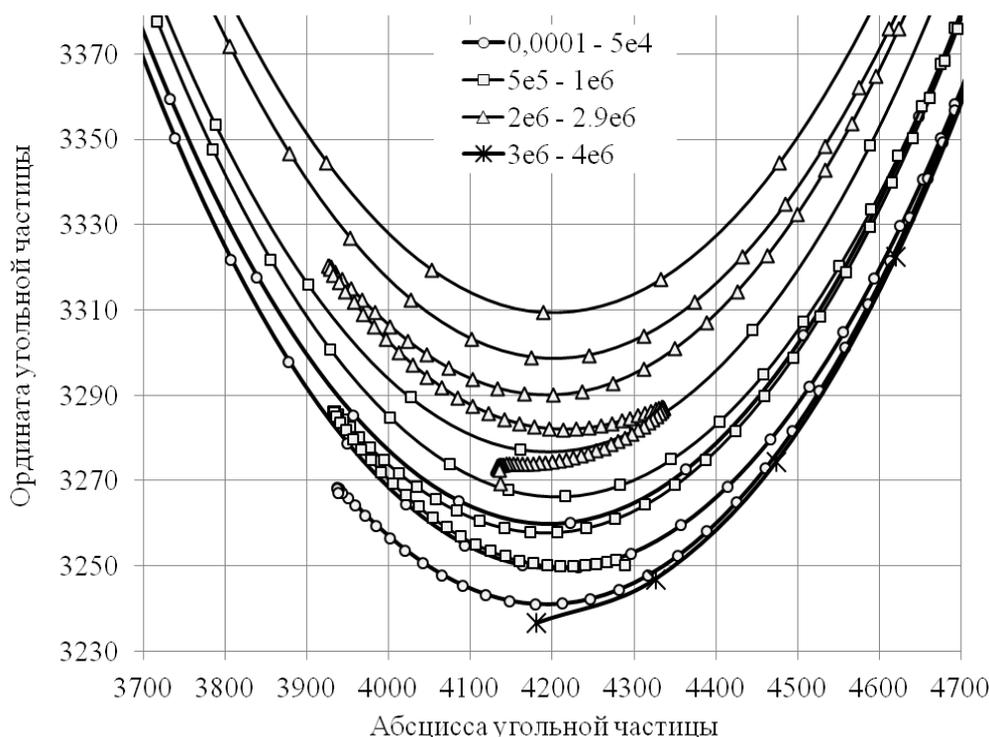


Рис. 2. Траектории перемещения угольной частицы относительно воздушного пузырька при его постоянном ускорении  $3e^8$  усл.ед.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что скорость движения пузырьков и частиц в пульпе значительно влияет на характер их перемещения и время существования флотационного комплекса. После падения на поверхность пузырька в верхней его части угольная частица скользит по его сферической поверхности и совершает колебания вправо-влево (витки) на нижней полусфере. При этом образовавшийся комплекс продолжает всплывать в пульпе вверх к пенному слою.

При постоянном ускорении пузырька равном  $3e^8$  и небольших ускорениях частицы от  $0,0001$  до  $5e^4$  угольная частица закрепляется на воздушном пузырьке, скользит по его нижней полусфере, постепенно уменьшая длину траектории, и отрывается на третьем витке. При повышении ускорений частицы до  $1e^6$  количество витков скольжения увеличивается до четырех, при ускорениях от  $2e^6$  до  $2,9e^6$  – до пяти витков. При относительно больших ускорениях от  $3e^6$  до  $4e^6$  частица скользит по воздушному пузырьку и отрывается, не закрепляясь. Время существования флотационного комплекса соответственно составляет  $0,264$ ;  $0,0288$ ;  $0,0358$ ;  $0,0092$ с.

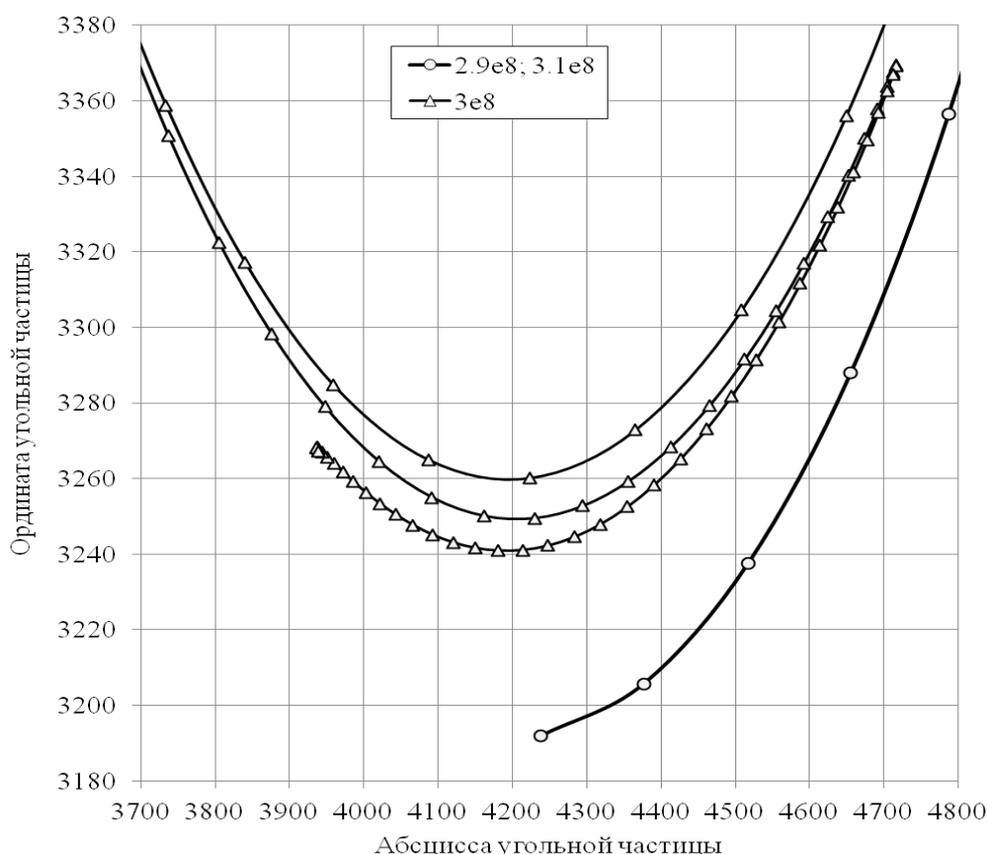


Рис. 3. Траектории перемещения угольной частицы относительно воздушного пузырька при постоянном ускорении частицы  $0,05$  усл. ед.

Анализируя данные, также следует отметить, что ускорение воздушного пузырька в большей мере влияет на время взаимодействия пузырька и частицы. При значениях ускорения угольной частицы  $0,05$  и  $2,9e^6$  и ускорении пузырька  $3e^8$  флотационный комплекс образуется, существует некоторое время. При

таких же ускорениях частицы, но различных ускорениях пузырька (от  $2e^8$  до  $3,1e^8$ ) закрепления не происходит, частица только перемещается по поверхности воздушного пузырька и соскальзывает с него на нижней полусфере.

Из приведенных данных (см. рис. 3 и 4) следует, что при принятых условиях (угол встречи, размер элементов и др.) и свойствах поверхностей взаимодействующих элементов имеет место определенный интервал значений скоростей элементов, при которых обеспечивается образование флотационного комплекса и его существование в течение некоторого времени.

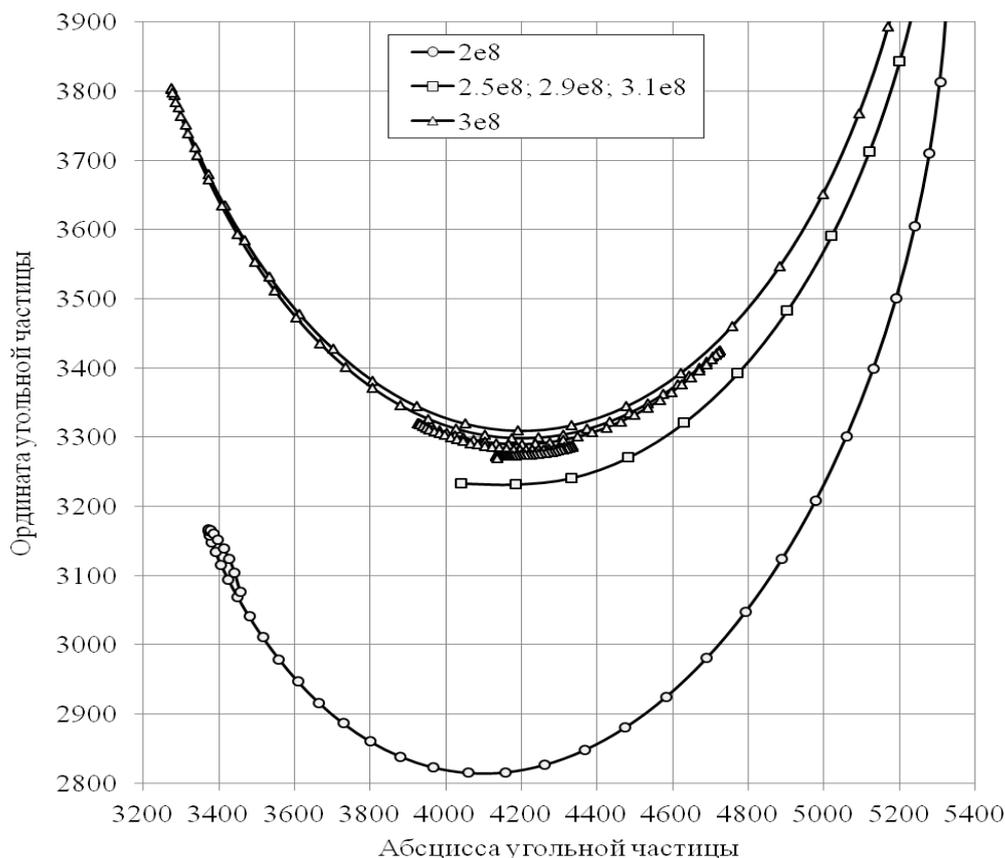


Рис. 4. Траектории перемещения угольной частицы относительно воздушного пузырька при постоянном ускорении частицы  $2,9e^6$

**Выводы и направления дальнейших исследований.** На основании выполненных исследований можно заключить, что данная компьютерная модель на базе дискретных элементов дает представление о процессах, происходящих в ходе взаимодействия разных фаз при флотации, и может быть использована для их изучения на микроуровне.

При изменении динамических параметров участвующих в процессе элементов изменяется характер их перемещения и взаимодействия в среде.

При увеличении ускорений движения угольной частицы и воздушного пузырька уменьшается вероятность сохранения флотационного комплекса.

Наблюдаются определенные сочетания скоростей и ускорений элементов системы, при которых не происходит образование флотокомплекса.

Существуют критические значения скорости движения пузырьков и частиц, при которых процесс флотации становится маловероятным.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение практических последствий полученных эффектов.

### Список литературы

1. **Гарковенко Е.Е.** Уголь в топливно-энергетическом балансе Украины и перспективы повышения его качества / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.Н. Корчевский, Т.А. Моцак, Е.Е. Грицунова // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2007. – вип. 29(70)-30(71). – С. 14-19.

2. **Богданов О.С.** 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.

3. Физико-химические основы теории флотации. М.: Наука. – 1983. - 264 с.

4. **Рубинштейн Ю.Б.** Кинетика флотации. / Ю.Б. Рубинштейн, Ю.А. Филиппов М.: Недра. - 1980. - 376с.

5. **Назимко Е.И.** Исследование процесса флотации с помощью компьютерной модели. Настройка модели. / Е.И. Назимко, И.Н. Друц, В.П. Решетов // Труды международной научно-технической конференции «Горная энергомеханика и автоматика», посвященной 100-летию В.Г. Гейера. Донецк. – 2003. - Т.1. – С. 191-195.

6. **Гарковенко Е.Е. и др.** Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов. / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Самойлов и др. Донецк: Норд-Пресс. – 2002. – 266 с.

7. **Назимко Е.И.** Исследование процесса флотации угольных частиц на микроуровне / Е.И. Назимко, И.Н. Друц, Л.И. Серафимова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Вип. 15(131), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – С. 115-121.

8. **Назимко О.І.** Моделювання впливу властивостей поверхні частинок на утворення флотаційного комплексу / О.І. Назимко, Л.І. Серафимова // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. вип. 38 (79) . – 2009. - С. 104-110.

9. **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. - pp. 775-781.