

УДК 622.765.4

Л.И. СЕРАФИМОВА

(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЧАСТИЦ И ПУЗЫРЬКОВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ
ФЛОТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА**

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Восток Украины является наиболее крупным угледобывающим и углеперерабатывающим регионом. Качество добываемого угля определяется условиями залегания пластов и технологией их отработки. Разрабатываются в основном тонкие пласты, мощностью 0,51–1,3 м, количество которых составляет около 75%. [1]. Применение современной узкозахватной техники способствует повышению производительности работ, увеличению объемов добычи при одновременном ухудшении качества добытого угля.

В условиях непрерывного ухудшения качества обязательной стадией подготовки угля как топлива или сырья для коксохимии и металлургии с показателями, соответствующими требованиям потребителей, является полный цикл его обогащения. Это имеет особое значение в связи с развитием рыночных отношений, когда экономическое выражение получает не только потребительская ценность концентратов, но и полнота извлечения полезных компонентов в товарные продукты, которой невозможно добиться без обогащения и шламовых частиц. В связи с этим исследование флотации как одного из процессов обогащения шламов является актуальной научной и практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. Исследования многих авторов посвящены изучению флотационного обогащения различного минерального сырья и развитию теоретических основ процесса [2–4]. Однако имеется ряд трудностей в изучении быстропротекающих взаимодействий фаз на микроуровне, особенно при образовании флотационного комплекса в ходе элементарного акта флотации. Особый интерес представляют изменения, происходящие с образовавшимся комплексом "минерал-пузырек воздуха" при его всплывании в пенный слой.

Развитие компьютерных методов моделирования и исследования таких процессов позволяет лучше понимать природу многих явлений.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является исследование на микроуровне взаимодействия частиц твердой фазы с воздушными пузырьками при образовании флотационного комплекса.

Изложение материала и результаты. Для исследования применялось

численное моделирование с использованием дискретных элементов. Комплекс программ разработан в лаборатории Моделирования необратимых процессов ДонНТУ и получил достаточную апробацию для изучения целого спектра сложных явлений. Методика моделирования и исходные условия более подробно описаны в работе [5].

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

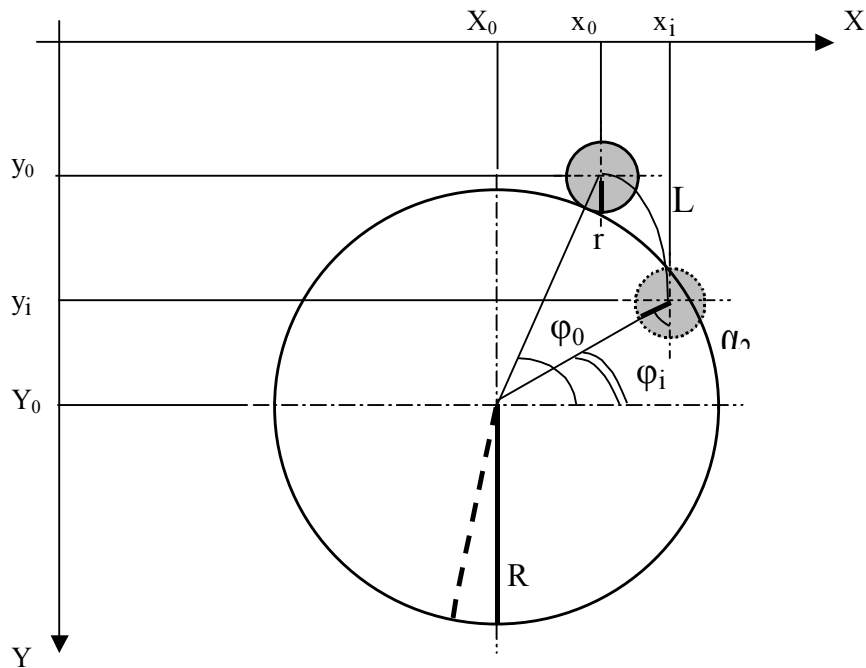


Рис. 1. Исходная модель и текущее положение частицы:
 X_0, Y_0 ; x_0, y_0 – координаты центров тяжести пузырька и частицы;
 φ_0, φ_i – начальный и текущий угол положения частицы;
 R, r – радиусы пузырька и частицы;
 L – дуговой путь частицы; α_2 – угол поворота радиуса частицы

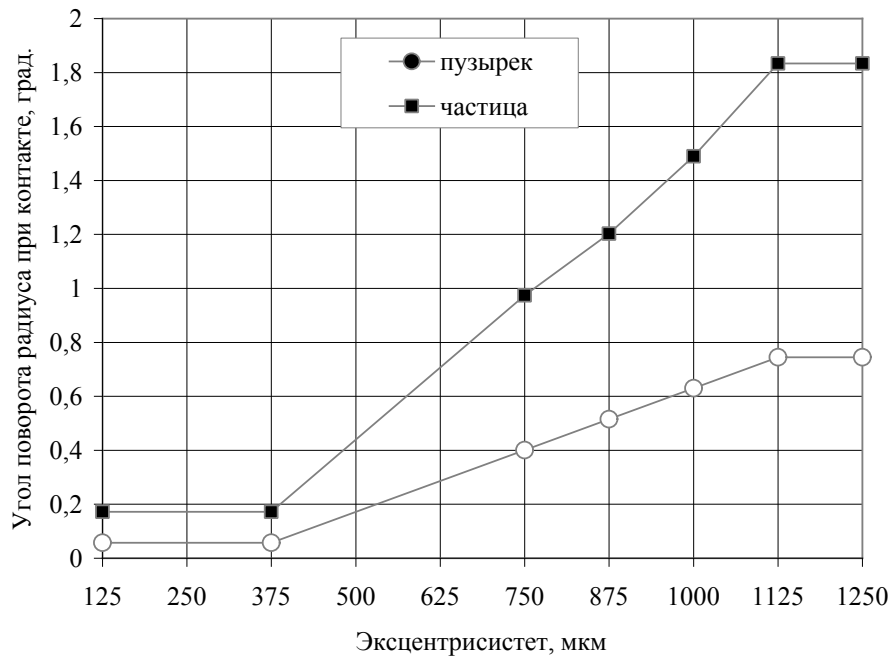


Рис. 2 – Изменение угла поворота радиуса взаимодействующих фаз в момент образования флотационного комплекса

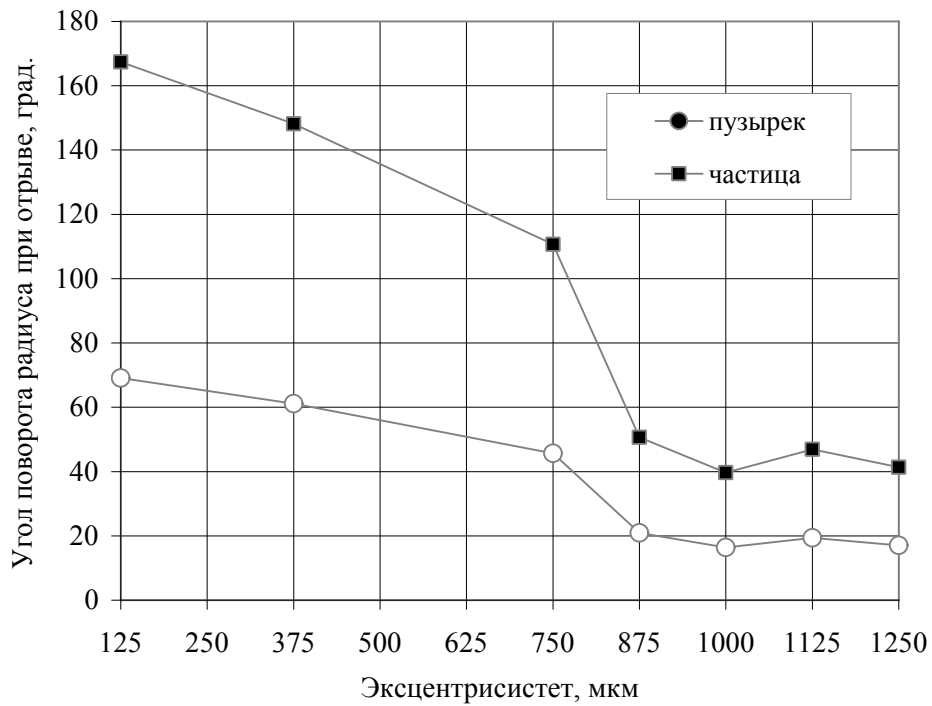


Рис. 3 – Угол поворота радиусов элементов при разрушении флотационного комплекса

Рис. 2. Изменение угла поворота радиуса взаимодействующих фаз в момент образования флотационного комплекса

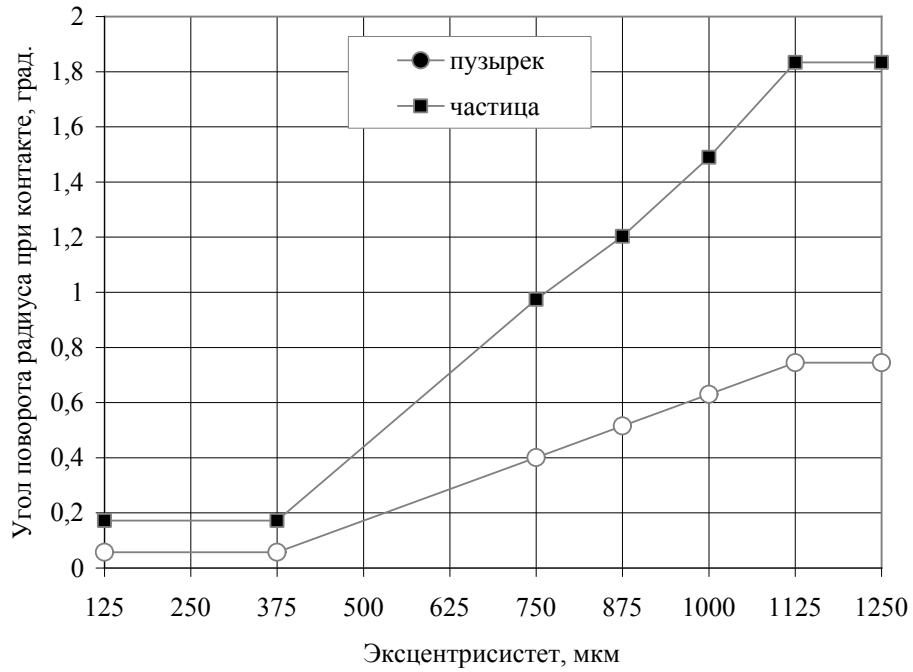


Рис. 2 – Изменение угла поворота радиуса взаимодействующих фаз в момент образования флотационного комплекса

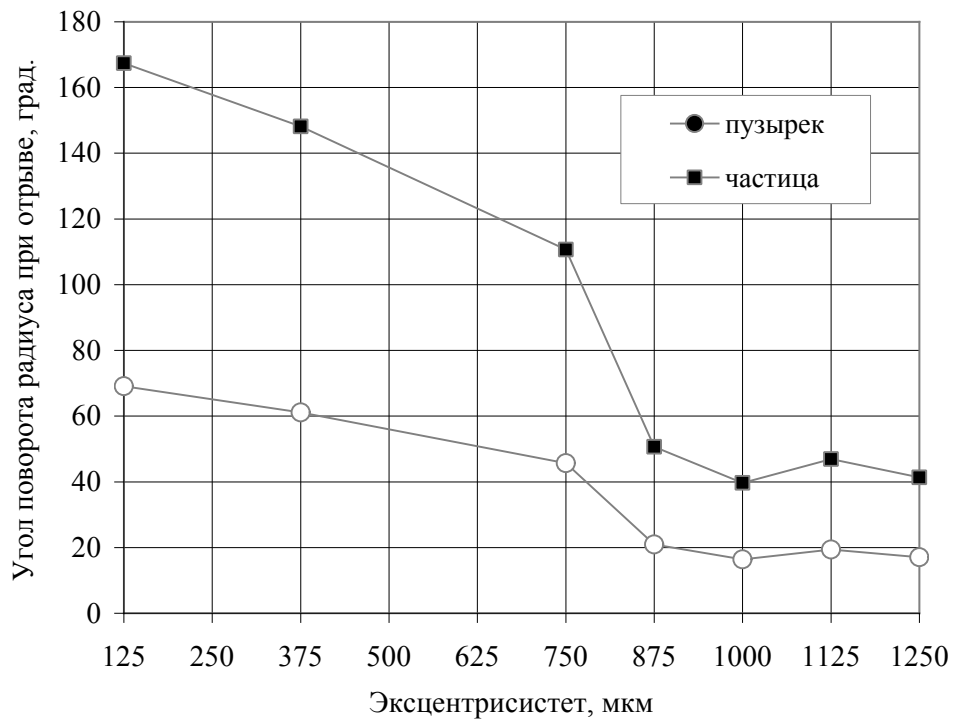


Рис. 3 – Угол поворота радиусов элементов при разрушении флотационного комплекса

Рис. 3. Угол поворота радиусов элементов при разрушении

флотационного комплекса

В ходе изучения выполнялось исследование взаимодействия падающей твердой частицы и всплывающего вверх воздушного пузырька путем компьютерного моделирования в течение 80000 циклов счета. Один цикл счета соответствовал 10^{-6} с натурального времени. Координаты центров тяжести элементов и состояние комплекса накапливались в выходном файле каждые 200 циклов. Для расчетов принято взаимодействие фаз: воздушного пузырька и частицы угля сферической формы с диаметрами в выбранном масштабе в пикселях, которые составляли 2,5 и 0,36 мм соответственно. Моделирование позволяет определять путем вычислений изменение положения центров тяжести участвующих во взаимодействии шарообразных элементов (координаты центров тяжести), а также углы поворота их радиусов – для пузырька α_1 и для частицы α_2 .

Параметры перемещения частицы относительно пузырька и комплекса в целом, полученные в ходе моделирования, описывались нами в работе [6].

На основе данных моделирования построены графики изменения углов поворота радиусов пузырька и частицы в начальный момент образования флотационного комплекса, в момент его разрушения и в течение всего времени взаимодействия в зависимости от эксцентриситета положения частицы относительно радиуса пузырька, представленные на рис. 2–4.

Проведенные исследования поведения флотационного комплекса на микроуровне позволили сделать вывод о том, что при соударении взаимодействующих элементов начинается их взаимное вращение. При этом угол поворота угольной частицы больше, чем угол поворота воздушного пузырька, как в момент контакта, так и при отрыве частицы от пузырька. Это свидетельствует о том, что частица вращается при скольжении по поверхности пузырька быстрее.

При увеличении эксцентриситета столкновения от 125 до 1250 мкм, что соответствует $0,1-1R$ (R – радиус пузырька), угол поворота обоих элементов в начальный момент после контакта также растет от 0,2 до 2 град, начиная с эксцентриситета в 375 мкм ($0,3R$). Скорость увеличения угла поворота для частицы выше по сравнению с воздушным пузырьком, о чем свидетельствует угол наклона линий на рис. 2.

При разрушении флотационного комплекса угол поворота элементов резко снижается при эксцентриситете первоначального столкновения, равном 875 мкм, что соответствует $0,7R$. Как указывалось ранее в других работах, такое значение эксцентриситета является критическим, так как при этом значении сокращается время существования флотационного комплекса [7, 8].

Таким образом, анализ данных моделирования еще раз подтверждает, что эксцентриситет, равный $0,7R$, является критическим и режим движения

элементов отличается от режима при меньших значениях эксцентриситета столкновения.

Снижение угла поворота элементов объясняется уменьшением времени существования флотационного комплекса после достижения критического эксцентриситета, и частица как бы "не успевает" повернуться на больший угол при своем скольжении по поверхности пузырька.

После разрушения флотационного комплекса взаимодействовавшие элементы продолжают свое вращение.

Таким образом, можно заключить, что параметры первоначального столкновения определяют режим скольжения минеральной частицы по поверхности воздушного пузырька и соответственно время существования флотационного комплекса, а также и результаты флотационного обогащения.

Данные моделирования, представленные на рис. 4, позволяют отметить снижение времени взаимодействия фаз при увеличении эксцентриситета столкновения, что уже упоминалось выше.

На рис. 4 все кривые совмещены в одну точку. За ноль принят момент контакта частицы и пузырька при столкновении, хотя в реальном времени моделирования это происходит в разные моменты и соответствует разным циклам счета. Например, при эксцентриситете $e = 0,1R$ контакт фаз начинается с цикла №12600, а при $e = 0,8R$ – на цикле № 15400. Время взаимодействия фаз снижается при увеличении эксцентриситета столкновения от $0,1 R$ до $1R$ с 40 до 4 мс, т.е. примерно в 10 раз, что приводит к уменьшению вероятности образования флотационного комплекса.

Анализ полученных в ходе моделирования данных, представленных в графической форме на рис. 4, позволяет отметить, что в интервале от $0,1R$ до $0,6R$ значения углов поворота пузырька и частицы монотонно падают от 70 до 50 град для пузырька и от 170 до 110 град для частицы.

При достижении критического значения эксцентриситета столкновения $e = 0,7R$ время взаимодействия элементов (пузырька и частицы) снижается практически в 2 раза – с 15 мс для $e = 0,6R$ до 7. Угол поворота уменьшается от 50 до 20 град для пузырька и от 110 до 50 град для частицы.

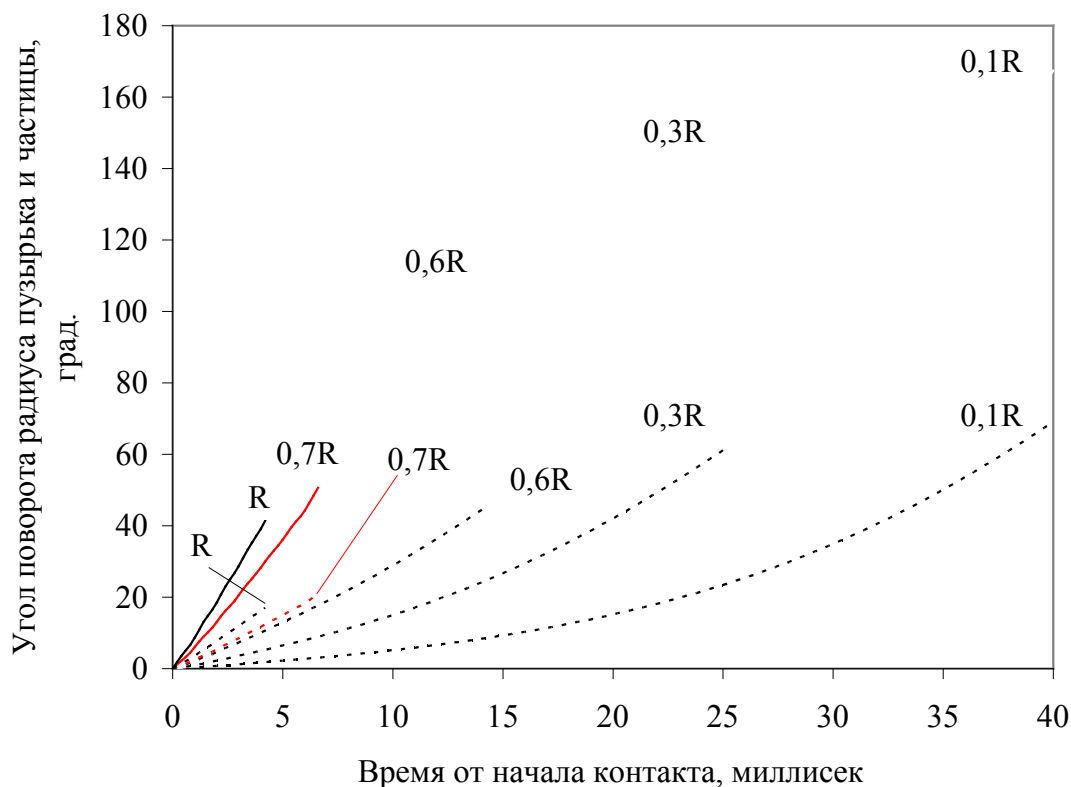


Рис. 4. Изменение угла поворота радиуса пузырька R и частицы r в период существования флотационного комплекса при изменении эксцентриситета столкновения от $0,1R$ до $1R$ (пунктир – пузырек, сплошная линия – частица)

Выводы и направления дальнейших исследований. Выполненные исследования позволяют заключить, что использованная компьютерная модель на базе дискретных элементов адекватно отражает сложные процессы, происходящие в ходе взаимодействия фаз в динамических условиях при обогащении, и может быть использована для их изучения на микроуровне.

При соударении взаимодействующих элементов начинается их взаимное вращение, при этом твердая частица вращается быстрее.

При увеличении эксцентриситета столкновения от 125 до 1250 мкм, что соответствует $0,1-1R$, угол поворота обоих элементов в начальный момент после контакта также растет от 0,2 до 2 град, начиная с эксцентриситета в 375 мкм ($0,3R$). Скорость увеличения угла поворота для частицы выше по сравнению с воздушным пузырьком.

При разрушении флотационного комплекса угол поворота элементов резко снижается при эксцентриситете первоначального столкновения, равном 875 мкм, что соответствует $0,7R$. Это значение эксцентриситета является критическим, о чем свидетельствуют и данные моделирования, выполненные ранее.

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 // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 29(70)-30(71). – С. 14–19.
2. Теория и технология флотации руд / 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., Филиппов Ю.А.** Кинетика флотации. – М.: Недра, 1980. – 376 с.
5. **Назимко Е.И., Друц И.Н., Решетов В.П.** Исследование процесса флотации с помощью компьютерной модели. Настройка модели. // Тр. междунар. науч.-техн. конф. "Горная энергомеханика и автоматика", посвященной 100-летию В.Г. Гейера. – Донецк. – 2003. – Т.1. – С. 191–195.
6. **Назимко Е.И., Друц И.Н., Серафимова Л.И.** Исследование процесса флотации угольных частиц на микроуровне. // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер. гірничо-електромеханічна. – 2008. – Вип. 15(131). – С. 115–121.
7. **Назимко Е.И., Друц И.Н.** Исследование кинетики взаимодействия мелких частиц с пузырьками воздуха в процессе флотации // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 18(59). – С. 95–102.
8. **Друц И.Н.** Кинетика взаимодействия фаз при флотации. // Вісн. Криворізького техн. ун-ту. – 2006. – №12. – С. 80–84.

© Серафимова Л.И., 2009

*Надійшла до редколегії 15.03.2009 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.7: 622.3

Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук,
Л.В. СКЛЯР, канд. техн. наук, **В.Н. ХАРИТОНОВ**, канд. геол. наук,
Т.Ю. ЯРОШ, М.О. ОЛЕЙНИК
(Украина, Кривой Рог, Криворожский технический университет)

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФЛОТАЦИИ ФОСФОРИТОВ В СХЕМАХ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО

141

Збагачення корисних копалин, 2009. – Вип. 36(77) – 37(78)