

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФАЗ В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Е.И. Назимко, Донецкий национальный технический университет, Украина

Рассмотрено взаимодействие угольных частиц и аполярного реагента при адгезионном диспергировании. Для исследования использовано численное моделирование на базе дискретных элементов. Определены причины разрушения образующихся агрегатов. Установлено оптимальное значение времени перемешивания, при котором частицы имеют закрепившийся на поверхности реагент. Показана применимость численного компьютерного моделирования для изучения процессов, происходящих на микроуровне.

Развитие международного сотрудничества и вхождение Украины в мировой рынок в условиях жесткой конкурентной борьбы ставит задачи повышения качества выпускаемой продукции. На данном этапе развития в нашем государстве определены приоритетные отрасли, которые имеют перспективы на мировом рынке и могут занять соответствующую нишу в межгосударственном распределении труда. К таким отраслям относятся сельское хозяйство, перерабатывающая отрасль, металлургия и горнодобывающая промышленность.

Украина имеет наибольший в Европе минерально-ресурсный потенциал и может занять ведущее место, войти в десятку основных горнодобывающих стран в мире. На территории Украины разведано свыше 8 тыс. месторождений 90 видов полезных ископаемых, половина из которых разрабатывается. Ежегодно добывается около 1.5 млрд. т минерального сырья, из которого только 12% используется в промышленности [1]. Постоянный рост объемов добычи и потребления полезных ископаемых ставит задачи повышения качества добытого сырья и продуктов его обогащения. Наблюдается устойчивая тенденция снижения качества рудного и угольного сырья, что связано с выработкой богатых месторождений и общим ухудшением горно-геологических условий эксплуатации месторождений. Анализ показывает, что за последние 20-30 лет содержание железа в железной руде снизилось в среднем на 12.9%, оксида хрома – на 7%, марганца на 7.3%, зольность добываемых углей повысилась на 10-15% [2, 3]. В связи с изложенным выше возрастает роль процессов обогащения минерального сырья как способа повышения качества товарной продукции.

Как известно, главной задачей обогащения является разделение смеси минеральных частиц на продукты на основании в разнице в их свойствах. Эта разница может иметь природный характер или быть созданной искусственным путем.

Процессы обогащения представляют собой цепочку взаимодействий частиц между собой. В гравитационных процессах, например, при отсадке такое взаимодействие выражается в динамическом столкновении и взаимном проскальзывании частиц полезного компонента и породы. В случае разделения по крупности (классификации), например, при грохочении происходит столкновение частиц между собой и колосниками решета, деками классифицирующих аппаратов. При разделении по физико-химическим свойствам поверхности минералов в процессе флотационного обогащения частицы твердой фазы сталкиваются между собой и с воздушными пузырьками. При масляной агломерации частицы сталкиваются с каплями масла. В процессах обезвоживания продуктов обогащения происходит относительное движение твердой и жидкой фаз с одновременным их взаимодействием.

Следует отметить, что процессы взаимодействия частиц твердой фазы (минералов) между собой и с другими фазами сложны и происходят с вовлечением множества сил (инерции, упругости, релаксации, Ван-дер-Ваальса, электростатические и др.). Существует значительное количество моделей для описания механизма взаимодействия. Однако, все без исключения модели построены на гипотетических положениях, которые трудно проверить

вследствие сложности процессов и их микроскопичности. Поэтому часто результаты моделирования дают не только количественные, но и качественные расхождения. Одним из способов решения этой проблемы может быть численное моделирование с применением компьютерных технологий.

Представленные соображения позволяют отметить актуальность поставленной задачи изучения взаимодействия фаз в динамических условиях при обогащении минерального сырья.

Целью настоящей работы является рассмотрение компьютерной модели для моделирования кинетики взаимодействия фаз в динамических условиях, которая базируется на дискретных элементах.

Метод дискретных элементов был первоначально развит в геомеханике для моделирования поведения пород под действием горного давления. Кроме того этот метод был также успешно применен для описания взаимодействия частиц породы и течения потоков [4-6]. В данной работе модель развита для взаимодействия частиц при обогащении. Модель базируется на том же приближении, как и модели, описанные в работах [4-6]. Для моделирования особенностей поведения фаз при взаимодействии в процессах обогащения были введены особенности фаз, участвующих в процессах обогащения. Более подробно принципиальные подходы изложены в работе [7].

Одним из методов обогащения тонких частиц является процесс флотации. Для угольного сырья флотация обеспечивает получение кондиционных продуктов при крупности менее 500 и даже 200 мкм. Для повышения естественной природной гидрофобности угольных частиц применяются аполярные реагенты-собиратели, наиболее эффективным процессом распределения которых между флотируемыми частицами является адгезионное диспергирование. Аналогичные процессы происходят при масляной агломерации, а также при подготовке пульпы к разделению пенной сепарацией. Изменяется только концентрация взаимодействующих фаз.

Для разработки и совершенствования действующих конструкций аппаратов подготовки пульпы к флотации необходимо иметь представление о происходящих в нем процессах. Теоретический анализ не дает возможность оценить продолжительность процесса распределения аполярных масел между частицами. Поэтому было применено компьютерное моделирование.

Начальные условия обеспечивали следующие основные параметры модели: угольные частицы размером 0.13 мм в количестве 9 штук перемешивались с частицами аполярного реагента в количестве 100 штук размером 0.002 мм в микромешалке с пересекающимися лопастями, находящимися в центре квадратной емкости. Исходное состояние модели показано на рис. 1.

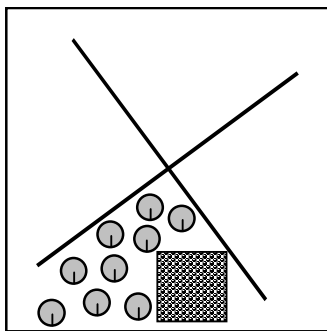


Рисунок 1 – Исходное состояние модели

При этом частицы реагента рассматривались как кластеры молекул масла, которые уже не могли быть разделены на отдельные объекты. Аполярный реагент расположен в мешалке как кластер с квадратным сечением. Моделирование выполнялось в течение 10 млн. циклов счета, что соответствовало реальному времени в 100 с. При этом кластер реагента был

диспергирован мешалкой. На рис. 2 показано распределение событий, происходивших в процессе перемешивания.

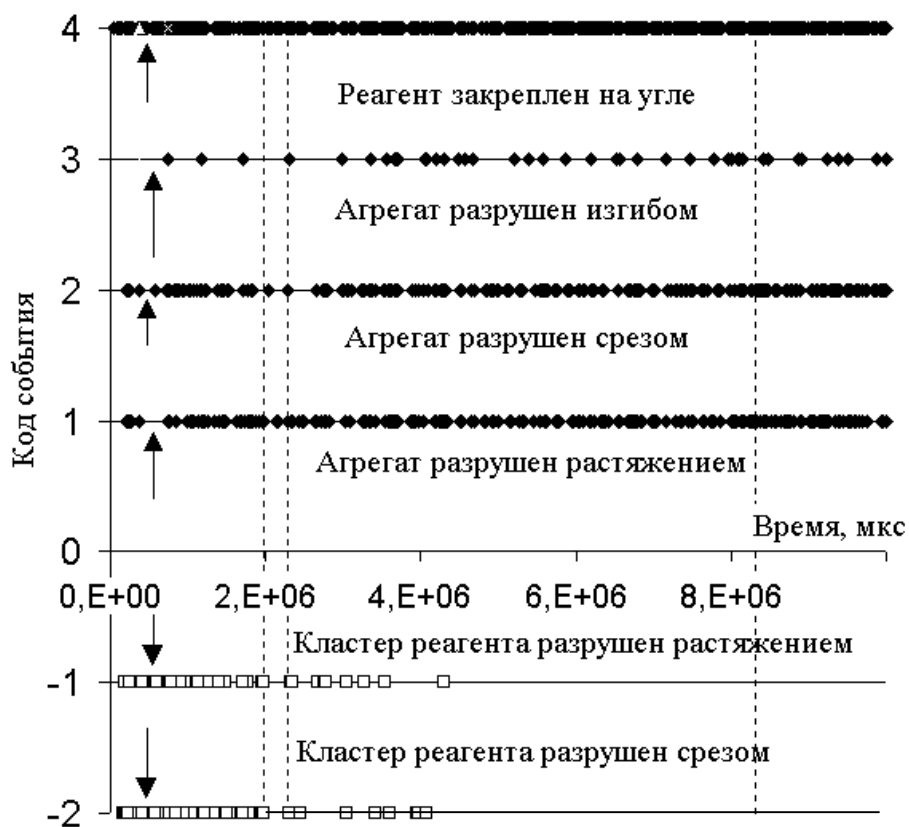


Рисунок 2 – События, происходящие при адгезионном диспергировании

Здесь цифрами кодов событий обозначено следующее: 4 – частицы реагента закрепились на угольных частицах и образовали углемасляный агрегат; 3, 2, 1 – произошло разрушение образовавшегося агрегата по причине возникновения деформаций, превышающих заданный предел прочности на изгиб, срез или растяжение связей «твердое-жидкое»; -1, -2 – разрушение агрегата из-за возникновения деформаций, превышающих заданный предел прочности на срез или растяжение связей «жидкое-жидкое» (между частицами самого реагента).

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что продолжительность перемешивания аполярного реагента и твердой фазы должно длиться определенное оптимальное время. Затем перемешивание должно быть остановлено в тот момент, когда частицы реагента прекратили отрываться от поверхности твердой фазы. Такой момент соответствует свободным промежуткам на линиях кодов событий 1, 2 и 3. Первый свободный промежуток обозначен на графике стрелками и находится в интервале времени 3.6-5.4 с. Второй лежит в интервале 20.3-24.2 с и обозначен на рис. 2 вертикальными пунктирными линиями.

В связи с тем, что большое число частиц реагента еще продолжает оставаться разъединенными (свободными), первый свободный промежуток не может соответствовать окончанию процесса адгезионного диспергирования. Об этом факте свидетельствует расположение точек на линии кодов событий -1 и -2 справа от первого свободного промежутка. Компьютерная модель предоставляет возможность иметь анимационное изображение происходящих процессов с течением времени. На рис. 3 показаны фрагменты таких изображений, соответствующие определенным циклам счета, т.е. времени.

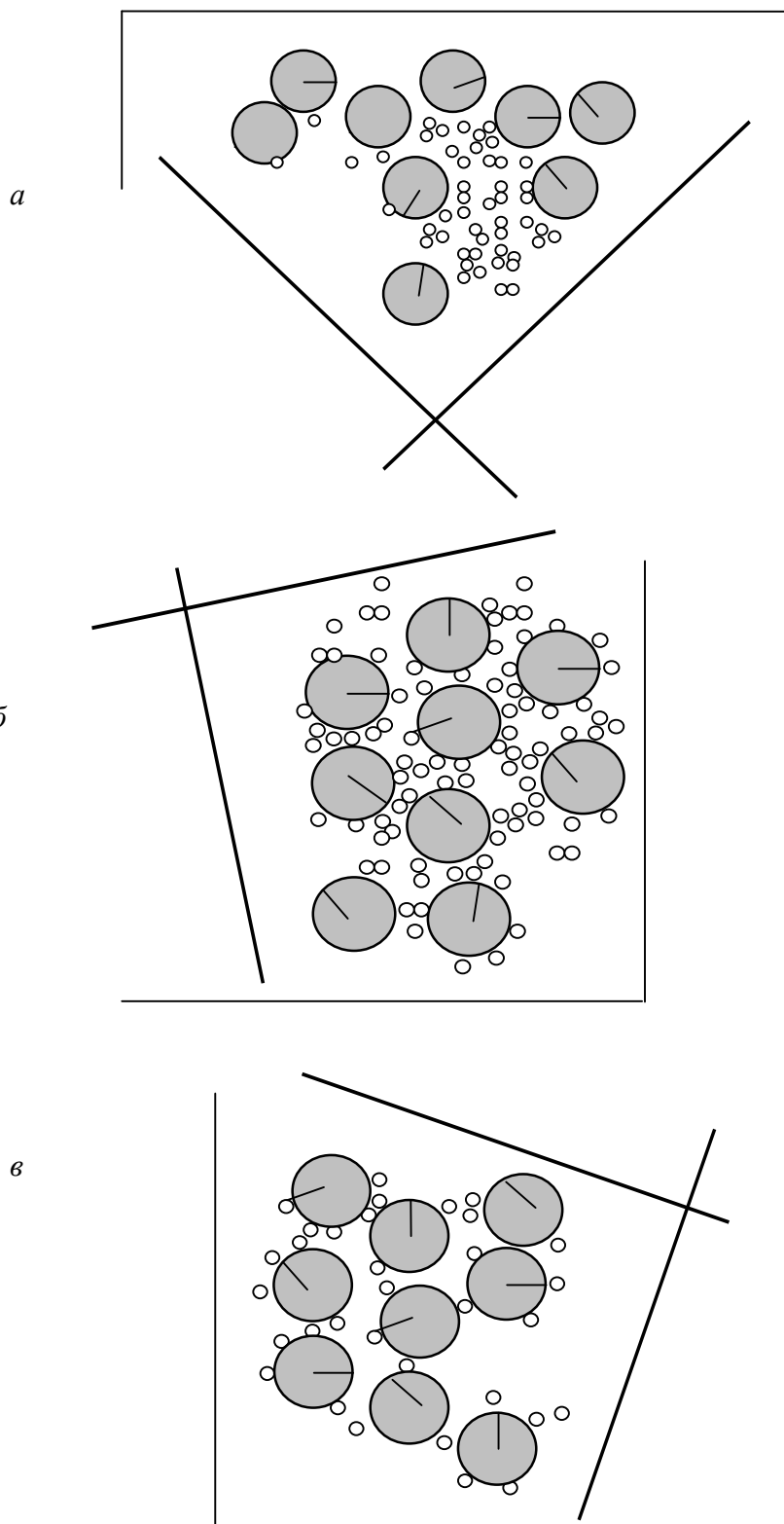


Рисунок 3 – Моменты моделирования: текущий (*a*), конец полезного действия перемешивания (*б*), вредное воздействие продолжения перемешивания (*в*)

Фрагмент, представленный на рис. 3, *a*, свидетельствует о том, что ряд частиц не имеют на своей поверхности ни одной закрепившейся частицы аполярного реагента. Этот момент соответствует циклу счета № 420 400, т.е. 4.2 с.

Второй свободный промежуток расположен в момент конечной стадии разрушения кластера аполярного реагента при условии пренебрежения отдельными одиночными событиями справа после свободного промежутка на линии кодов событий –1 и –2 (см. рис.2). В это время углемастный агрегат достаточно компактен, каждая из угольных частиц имеет на своей поверхности закрепившиеся частицы реагента. Компьютерный анимационный фрагмент представлен на рис. 3, б и соответствует циклу счета № 19 460 400 или 19.5 с реального времени.

Дальнейшее продолжение перемешивания не обеспечивает улучшения распределения аполярного реагента по поверхности твердой фазы. Это положение подтверждается результатами моделирования, показанными на рис. 3, в. Анимационный фрагмент в данном случае соответствует циклу счета № 3 100 600 или 31 с. Перемешивание на этом этапе сопровождается оттиркой аполярного реагента с поверхности твердой фазы в результате действующих разрушающих напряжений и деформаций.

Результаты адгезионного диспергирования аполярных реагентов-собирателей могут быть улучшены за счет использования воздушных пузырьков в качестве носителей реагента, т.к. это будет способствовать увеличению вероятности встречи фаз. При растекании реагента по поверхности воздушных пузырьков заметно повышается площадь границы раздела фаз «жидкость-газ». Поэтому подача аполярных реагентов-собирателей через газообразную фазу является целесообразной.

Таким образом, разработанная компьютерная модель может быть применена для исследования взаимодействия фаз, происходящего при обогащении полезных ископаемых. Моделирование предоставляет возможность более глубоко и всесторонне изучать тонкие процессы на микроуровне, происходящие в динамических условиях.

Список литературы

1. Г.І. Рудько. Стратегія розвитку мінеральних ресурсів України // *Качество минерального сырья. Сб. научных трудов международного симпозиума «Качество-2005» – Кривой Рог. – Минерал. – 2005. – С. 29-36.*
2. Ю.Г. Вилкул, А.А. Азарян. Современное состояние проблемы оперативного контроля и управления качеством минерального сырья // *Там же, С. 11-23.*
3. *Справочник по обогащению углей. М.: Недра. – 1980. – 488 с.*
4. P. A. Cundall, O. D. L. Strack. A discrete numerical model for granular assemblies // *Geotechnique, 29:1, 47–65 (1979).*
5. Bathurst R.J., Rothendurg L. Observations on stress-force-fabric relationships in idealized granular media // *Mechanics of Materials. – 1990. – N 9. – p. 65-80.*
6. Bruno M.S. Some influences of saturation and fluid flow on sand production: Laboratory and Discrete Element Model Investigations // *Ann. Tech. Conf. Denver, Colorado, 6-9 October, 1996. – p. 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. 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.*
9. Е.Е. Гарковенко. Моделирование процесса вакуумного фильтрования угольных шламов // *Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. – 2004. - №1. - С. 216-221.*
10. Е.И. Назимко, И.Н. Друц. Исследование кинетики взаимодействия мелких частиц с пузырьками воздуха в процессе флотации // *Збагачення корисних копалин. Днепропетровск. – 2003. – вып. 18(59). - С. 95-102.*