

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Приведены результаты моделирования перемещения частиц различной плотности в потоке восходящего воздуха в рабочем пространстве пневматического сепаратора.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Отходы, которые образуются в различных отраслях промышленности, а также отходы потребления электронных аппаратов и бытовых приборов могут служить одним из источников получения цветных металлов. К этому типу отходов относится и лом цветных металлов, использование которого во вторичной цветной металлургии будет способствовать не только экономии материальных ресурсов, но и охране окружающей среды [1].

Для металлургического передела лом цветных металлов должен быть соответствующим образом подготовлен: выполнено его дробление и разделение компонентов по свойствам. В качестве способа разделения предпочтительным является применение сухих гравитационных процессов, к которым относится и пневматическая сепарация. Этот способ получил относительно широкое распространение в отечественной и особенно в зарубежной практике для разделения различных сыпучих материалов [2].

Лом цветных металлов чаще всего представлен кусками кабеля и проводников тока, бытовых радиотехнических и электронных приборов. Частицы, которые необходимо разделить, имеют разную форму, плотность, коэффициенты трения, сопротивления перемещению в среде, упругости и другие свойства, на различии в которых и основан этот способ сепарации [3]. Изоляционные материалы представлены обычно пластиком, резиной, металлическая часть представлена медью, алюминием и другими металлами. Свойства частиц лома и скорости их перемещения в различных условиях недостаточно изучены. Поэтому исследования, направленные на моделирование поведения зерен различных материалов при сухой сепарации в потоке воздуха и разработку на этой основе технологии разделения, являются актуальными.

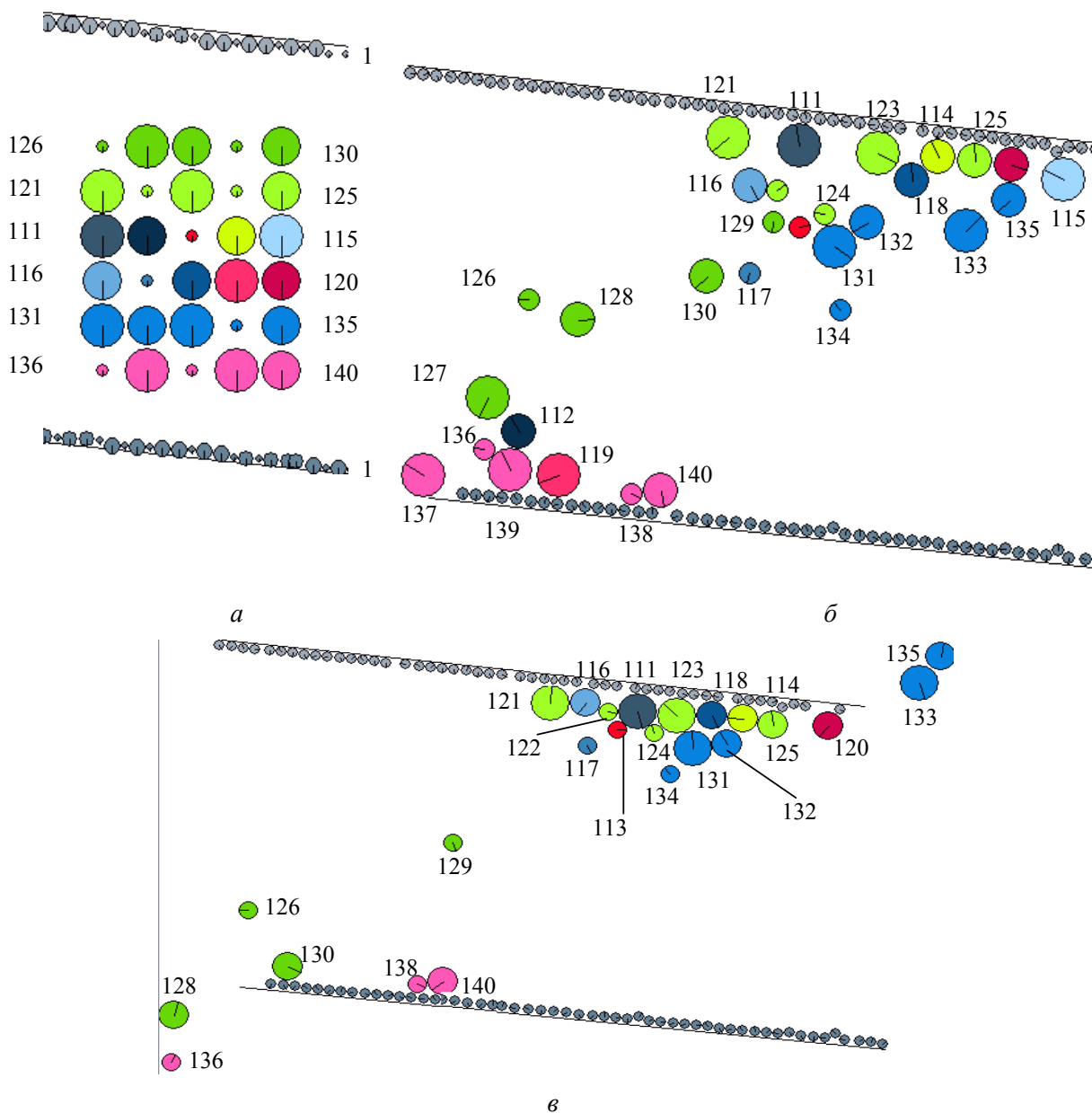
**Анализ исследований и публикаций.** Исследованиями, проводившимися ранее, установлено, что распределение частиц в рабочем пространстве сепаратора и их разделение в конечном счете зависит от скоростей их перемещения [3]. Это в свою очередь связано с формой и весом частиц. Были выполнены расчеты скоростей витания и стесненного перемещения с учетом коэффициента формы частиц и коэффициента сферичности, который зависит от значений параметра Ляшенко, определенного по известным формулам. Расчеты свидетельствуют о том, что разделение частиц в стесненных условиях, соответствующим условиям в рабочем пространстве пневматического сепаратора, осложнено, так как расчетная скорость стесненного движения частиц разных материалов имеет близкие значения при различной разрыхленности. При уплотнении слоя разделяемых частиц в рабочем пространстве сепаратора до определенного значения ( $m < 0.9$ ) скорости стесненного перемещения для алюминия и резины имеют близкие значения. Необходимо подбирать разрыхленность слоя материала в сепараторе и режим движения путем изменения скорости и расхода воздуха как основной разделительной рабочей среды. Перед проведением непосредственных экспериментов по сепарации необходимо выполнить моделирование процесса разделения.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является исследование параметров перемещения частиц лома цветных металлов в восходящем потоке воздуха при пневматической сепарации.

**Изложение материала и результаты.** Процессы распределения частиц твердой фазы при пневматической сепарации представляют большую трудность для исследования, т.к. они динамичны, находятся под влиянием большого количества факторов и происходят в маленьком масштабе. Одним из вариантов разрешения этой проблемы является численное моделирование,

которое сочетает в себе динамику, точность и рассмотрение широкого спектра деталей [4]. В лаборатории Моделирования необратимых процессов ДонНТУ разработана компьютерная модель для моделирования кинетики взаимодействия фаз, которая базируется на дискретных элементах и успешно применяется для исследования различных процессов [5]. Методика моделирования и физические основы, заложенные в компьютерной программе для выполнения расчетов, более подробно описана в работе [6]. В результате работы программы можно получить графические и текстовые файлы для анализа.

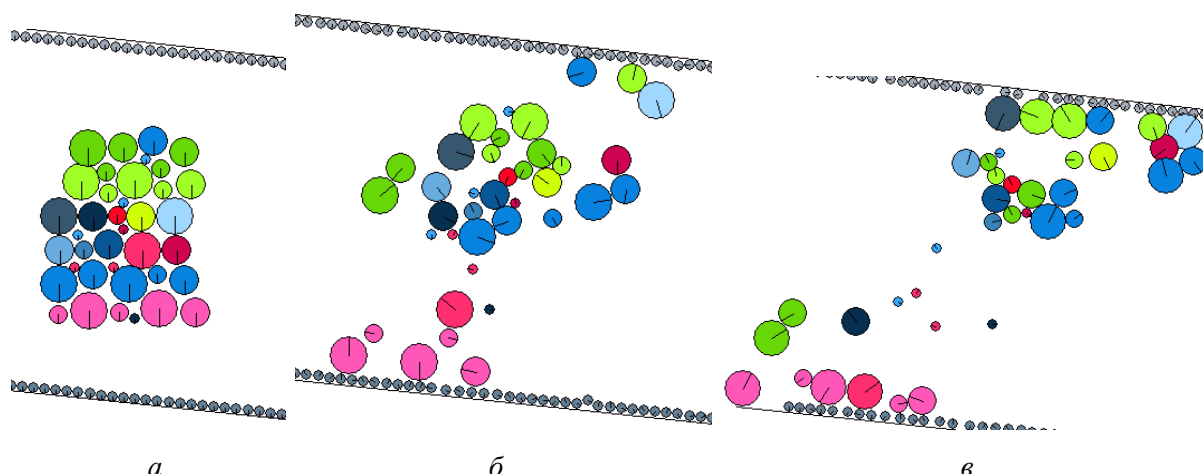
В модели учтены свойства разделяемых материалов - резины и алюминия - и задано их количественное соотношение, соответствующее реальному в дробленом ломе. Стенки сепаратора имеют характерные для них свойства, поддерживаемые с помощью серии мелких шариков (№1-100), и режим движения, а также угол и направление наклона. Подача воздуха снизу учтена путем задания соответствующей скорости частиц. Один цикл времени счета в модели соответствует  $5 \times 10^{-5}$  с натурального времени. На рис. 1 показано исходное, промежуточное и конечное положение частиц по истечении 750 000 и 1 500 000 циклов счета.



1 – стенки сепаратора, 111-140 – номера частиц  
**Рис. 1** – Положение частиц в различные моменты времени: *a* – исходное, *б* – 3,75с, *в* – 7,5с

При моделировании отдельные зерна отмечены разным цветом и номером. При наведении курсора на частицу на дисплее высвечивается ее номер, соответствующий номеру в файле исходных данных. В текстовом файле указываются координаты центра тяжести каждого зерна, по которым можно определить его местоположение в данный момент времени (в пикселях) и траекторию движения. Поэтому моделирование с использованием дискретных элементов позволяет анализировать тонкие процессы взаимодействия частиц при разных режимах скоростей подачи воздуха и вибрации стенок сепаратора, которые происходят в очень маленькие промежутки времени. Как следует из представленных графических фрагментов, частицы не только витают в потоке воздуха, но и вращаются, сталкиваясь друг с другом и стенками сепаратора, что видно по изменению положения их радиуса.

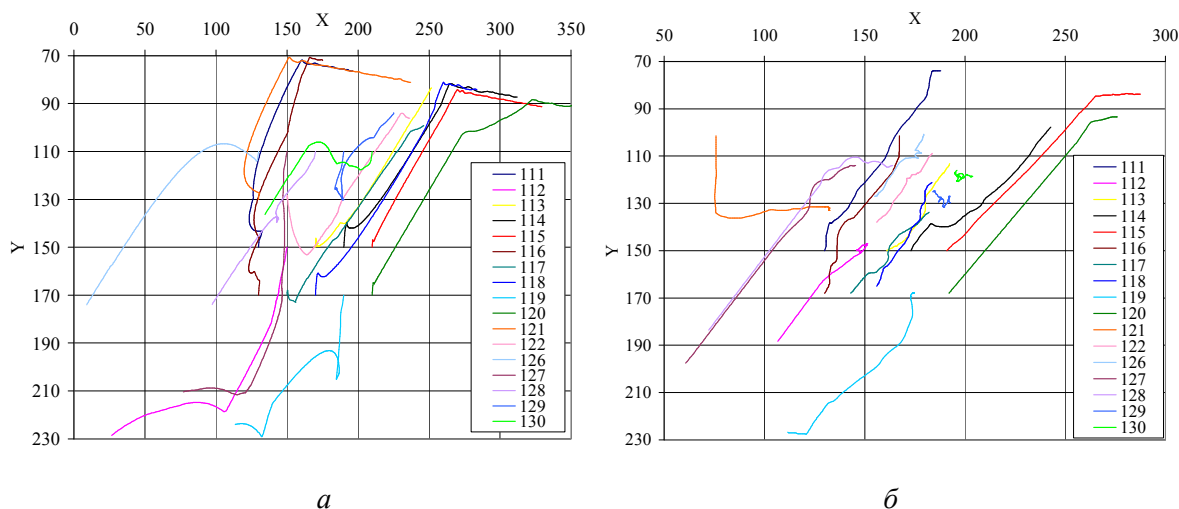
Модель на рис. 1 имела упаковку, соответствующую высокой разрыхленности. На рис. 2 показана наиболее плотная упаковка частиц при тех же исходных данных.



**Рис. 2** – Состояние модели при плотной упаковке частиц в моменты времени:  
*a* – исходное, *б* – 3,75с, *в* – 7,5с

Из анимационных фрагментов состояния модели можно заключить, что при плотной упаковке разделение частиц происходит неудовлетворительно (см. фрагменты рис. 2, б, в). Мелкие частицы резины защемляются между более крупными частицами алюминия и наоборот. Эти конгломераты находятся длительное время в средней части сепаратора.

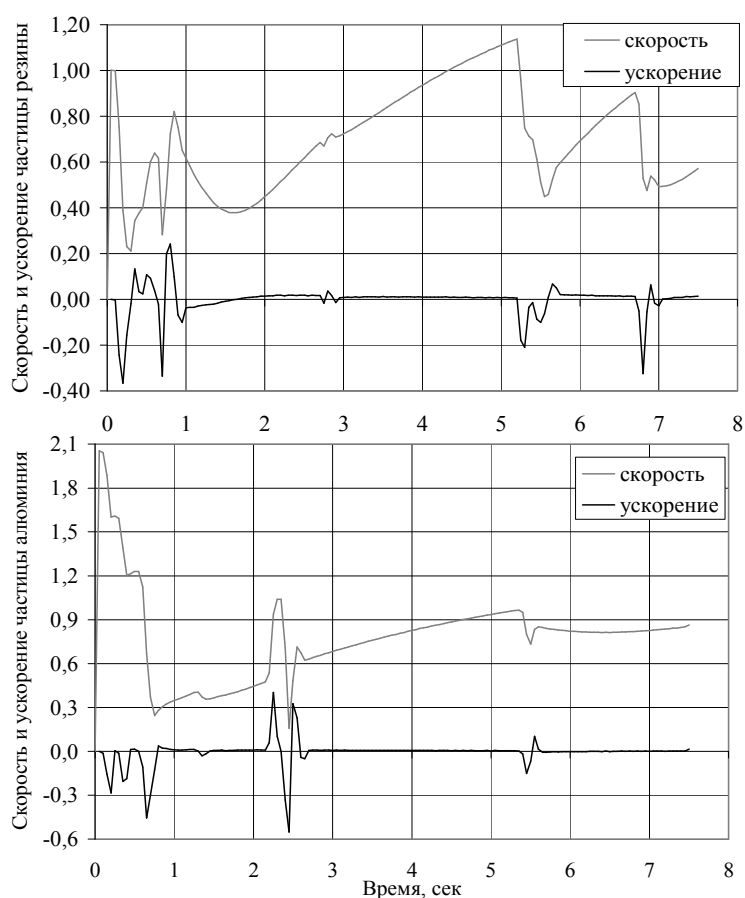
На основе полученных выходных данных моделирования построены траектории движения частиц резины и алюминия, а также графики изменения скоростей и ускорений, показанные на рис. 3-5.



**Рис. 3** – Траектории движения частиц резины и алюминия  
при рыхлой (*a*) и плотной (*б*) упаковке

Из данных рис. 3 следует, что при низкой разрыхленности более мелкие частицы разделяются в сепараторе неудовлетворительно. Мелкие частицы резины (траектории № 113, 117, 118, 122, радиусы соответственно 5, 5, 8 и 5 отн. единиц) за полное время моделирования не достигают стенок сепаратора и остаются в средней его части. То же относится и к мелким частицам алюминия (траектории № 126, 129 и 130).

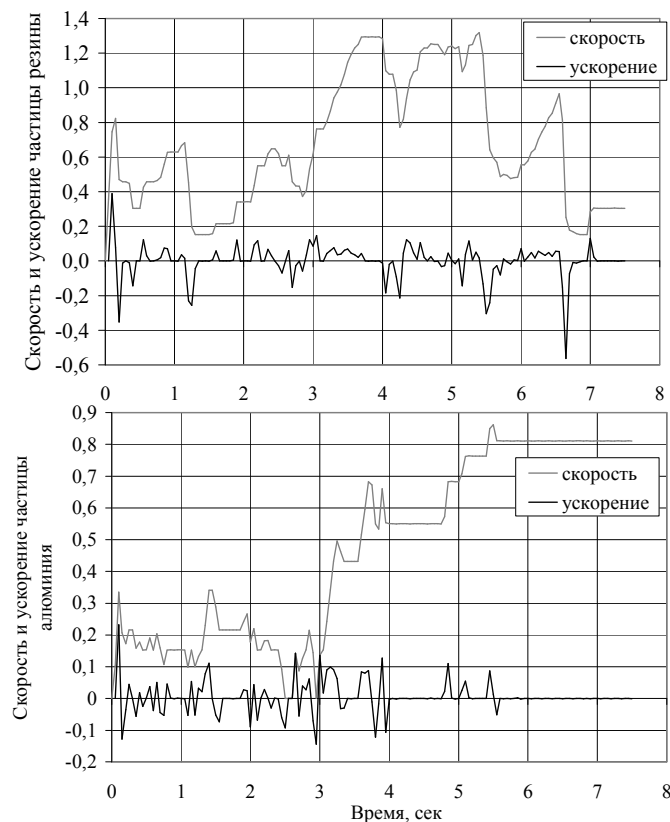
На рис. 4 представлены характерные зависимости изменения скорости и ускорения частиц резины и алюминия. Из графиков можно сделать вывод о том, что при высокой разрыхленности большую часть времени частицы движутся без столкновений с соседними зернами. Об этом свидетельствуют значительные горизонтальные участки на кривых ускорения. Кроме того, на кривых изменения скорости частиц отмечаются колебания значений скорости в отдельные моменты столкновения с соседними частицами. Аналогичные графические зависимости получены для всех рассматриваемых частиц.



**Рис. 4** – Скорости и ускорения частиц резины и алюминия при высокой разрыхленности

На рис. 5 показаны графические зависимости для этих же параметров при низком значении разрыхленности (исходное состояние частиц соответствует рис. 2, а). Следует отметить значительное отличие графиков изменения скоростей и ускорений на рис. 4 и 5. При уплотненной упаковке частиц на графиках (рис. 5) практически отсутствуют горизонтальные участки, когда ускорение не изменяется, т.е. частицы постоянно сталкиваются друг с другом и возникает как следствие резкое изменение скорости по величине и направлению. Величина свободного пробега частиц различной крупности в этом случае небольшая.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Проведенное численное моделирование по исследованию влияния разрыхленности на показатели сепарации с использованием компьютерной программы, основанной на дискретных элементах, с учетом механических свойств разделяемых материалов, позволяет сделать следующие выводы.



**Рис. 5 – Траектории движения частиц резины и алюминия при низкой разрыхленности**

При низкой разрыхленности материала в рабочем пространстве сепаратора наблюдается защемление мелких частиц более крупными с образованием конгломератов. Это замедляет процесс сепарации и приводит к взаимному засорению продуктов. Мелкие частицы не достигают стенок сепаратора и остаются в средней его части. Частицы сталкиваются друг с другом, скорость их перемещения изменяется по величине и направлению, что снижает величину их свободного пробега.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на исследование влияния разрыхленности на величину свободного пробега частиц и определение показателей сепарации в зависимости от этого параметра. Необходимо также установить численные значения и найти оптимальные показатели для указанных параметров.

#### Список литературы

1. **Котляр Ю.А., Меретуков М.А.** Металлургия благородных металлов. Уч. пособие. – М.: АСМИ. – 2002. – 465 с.
2. **Р.О. Берг.** Технология гравитационного обогащения. М.: Недра. – 1990. – 574 с.
3. **Назимко Е.И., Корчевский А.Н., Апоначенко С.С.** Исследование скорости движения частиц лома цветных металлов в восходящем потоке // Збагачення корисних копалин. – 2007. - №29-30 (70-71). – С. 135-140.
4. **Cundall P.A., Strack O.D.L.** A discrete numerical Model for granular assemblies, *Geotechnique*, 29, # 1, pp. 47-65 (1974).
5. **L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts** Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. p. 785-798.*
6. **Корчевский А.Н.** Моделирование процесса сухой сепарации материалов. Настройка модели. // Збагачення корисних копалин. – 2005. - № 23(64). – С. 113-119.

УДК 622.7

**Корчевський О.М., Назимко О.І.** Моделювання процесу пневматичного розділення лому кольорових металів. Приведено результати моделювання пересування частинок різної густини в висхідному потоці повітря в робочому просторі пневматичного сепаратора.

УДК 622.7

**Корчевский А.Н., Назимко Е.И.** Моделирование процесса пневматического разделения лома цветных металлов. Приведены результаты моделирования перемещения частиц различной плотности в потоке восходящего воздуха в рабочем пространстве пневматического сепаратора.

UDK 622.7

**Corchevsky A.N., Nazimko L.I.** Pneumatic separation of the color metals crow-bar simulation. The results of simulation of moving particles with different density in the stream of ascending air in pneumatic separator working space have been shown.