

А.Н. КОРЧЕВСКИЙ, канд. техн. наук
(Украина, Донецк, Донецкий национальный Технический Университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО НАКЛОННОЙ ПОДВИЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В современных условиях вопросы утилизации различных промышленных отходов являются серьезной не только экологической, но и экономической проблемой. Вторичная утилизация предполагает использование продуктов, извлеченных из отстойников и накопителей [1]. При этом получают продукты, отличающиеся по составу от первичных отходов. На территории Украины в углеобогатительной отрасли значительные площади заняты илонакопителями, в которых содержится до 2 млн т балансовых шламов, а количество забалансовых шламов на порядок выше. Крупность складированного зернистого материала достигает 3 мм. На вторичном сырье работают самые различные комплексы, как по технологическим схемам, так и по применяемому оборудованию. Для разделения материалов из вторичных техногенных месторождений применяются: винтовые сепараторы – для класса 1-3 мм, винтовые шлюзы – 0,5-1 мм, флотационные машины – для класса крупностью менее 0,5 мм [2]. Использование в технологической схеме одной модульной установки различных аппаратов для разных классов крупности приводит к усложнению технологии и расширению номенклатуры основного и вспомогательного оборудования.

Практика показала, что наиболее экономически выгодными являются гравитационные методы обогащения различных материалов [3, 4]. Для мелких зернистых материалов применяется разделение в тонком слое воды, текущей по подвижной наклонной поверхности – концентрация на столах. Этот метод имеет достаточно высокую эффективность для частиц размером 0,1-10 мм [5, 6].

Концентрационные столы подвешенного исполнения типа СКПМ-6, опорного исполнения типа ЯСК-1 и СКМ-1В эксплуатировались в середине двадцатого века на ряде углеобогатительных фабрик. С помощью этого оборудования чаще перерабатывались узкие машинные классы 0-3 мм, 0-1 мм, реже классы 0-13, 0-6 мм [7]. Эти аппараты позволяли также выделять свободную пиритную серу в классах крупностью до 3 мм, снижая содержание серы в шламах [2, 8].

Концентрационные столы могут использоваться и при разделении отходов других производств, например для таких объектов, как шлаковые отвалы металлургических предприятий.

Анализ исследований и публикаций. Исследованиями установлено, что при сепарации на концентрационных столах происходит сегрегация частиц в межрифельном пространстве при одновременном их движении в продольном направлении при возвратно-поступательном перемещении деки стола и в поперечном направлении под действием потока смывной воды и пульпы [9]. Сово-

Гравітаційна сепарація

купность явлений, сопровождающих перемещение материала по деке стола, является довольно сложной для аналитического описания. Это приводит к необходимости рассматривать процесс в более упрощенном виде, разбивая его на ряд этапов. На первом этапе выполнено исследование для единичных частиц различных материалов. Основные силы, действующие на частицу на концентративном столе, показаны на рис. 1.

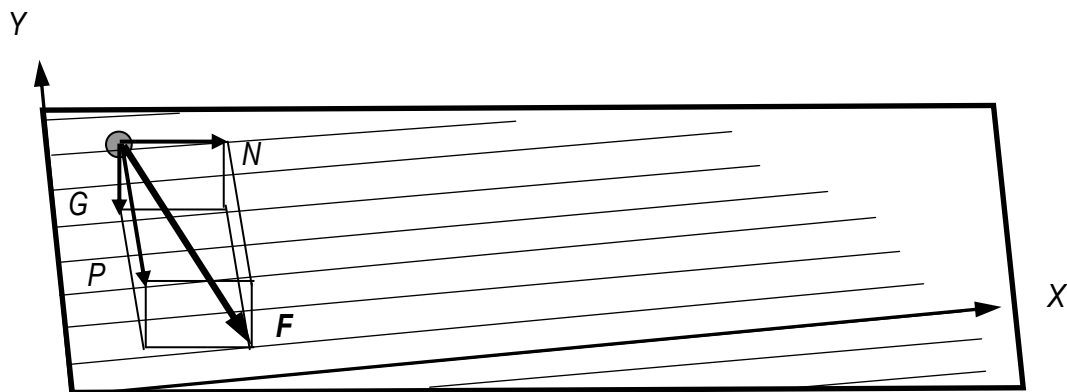


Рис. 1. Схема сил, действующих на частицу на деке концентративного стола

На любую частицу, находящуюся в движущемся потоке пульпы на деке стола, действуют три основные силы: 1) направленная вертикально вниз сила тяжести G ; 2) направленная поперек наклонной деки совокупность сил гидродинамического влияния поперечного потока воды и пульпы P ; 3) вызванная асимметричным возвратно-поступательным движением деки сила N , которая направлена вдоль деки стола. Действующие силы имеют взаимно перпендикулярное направление. Частица перемещается по деке под действием равнодействующей силы R , которая зависит от удельного веса, крупности частицы и скорости потока. Ось абсцисс X направлена вдоль рифлей деки, ось ординат Y – вдоль узкой стороны стола.

К основным параметрам регулирования работы концентративного стола относятся длина хода и частота колебаний деки, угол ее поперечного и продольного наклона, количество смывной воды, система нарифлений, материал покрытия деки. Ни один аппарат для разделения шламовых частиц не имеет такой совокупности управляющих параметров. Это позволяет концентративному столу достаточно эффективно работать на различных материалах, особенно при нестабильном составе питания, что имеет место при переработке различных отходов [10].

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование влияния различных параметров регулирования концентративного стола на скорость перемещения частиц различных материалов по деке стола.

Изложение материала и результаты. В лаборатории кафедры "Обогащение полезных ископаемых" ДонНТУ были проведены исследования движения частиц угля, гранита, кварца, монтмориллонита (породы), железа и меди крупностью 3мм. Удельный вес частиц составляет соответственно: 1400, 2800, 2650,

2700, 7800, 8930 кг/м³. Привод стола забезпечує бігармонічний режим коливаний деки, розмір котрої становить 0,4×1 м.

На першій стадії виконано вивчення переміщення частинок по сухій поверхні деки. В якості покриттів використовувалися резина низької ступені полімеризації (даліє резина типу 1), пластик, резина високої ступені полімеризації (даліє резина типу 2) і залізо. Частота коливань деки задавалася в межах 2,92; 4,08; 5; 5,63; 6,67 с⁻¹ (175, 245, 300, 350 і 400 мин⁻¹). Угол продольного нахилу деки становив -3°, поперечного 8°.

Після проведення експериментів для всіх шести різновидностей матеріалів на кожній заданій частоті коливань деки, її поверхню була ретельно смочена водою для визначення впливу коефіцієнта сцеплення на показники розділення. Частинки досліджуваних матеріалів також смачувалися водою. Після виконання повного циклу досліджень на одному типі поверхні деки покриття заміняли на друге. Для кожної частинки і кожного досліджуваного параметра виконувалося дублювання експериментів і їх статистична обробка по стандартним методикам.

В ході досліджень визначалося час, необхідне для переміщення частинок різних матеріалів по деці вздовж рифля на відстань 0,6 м при різній частоті коливань деки, а потім визначалася швидкість цього переміщення. Результати визначення швидкості проходження частинами відрізка довжиною 0,6 м в міжрифельному просторі деки представлені на рис. 2, 3 і 4.

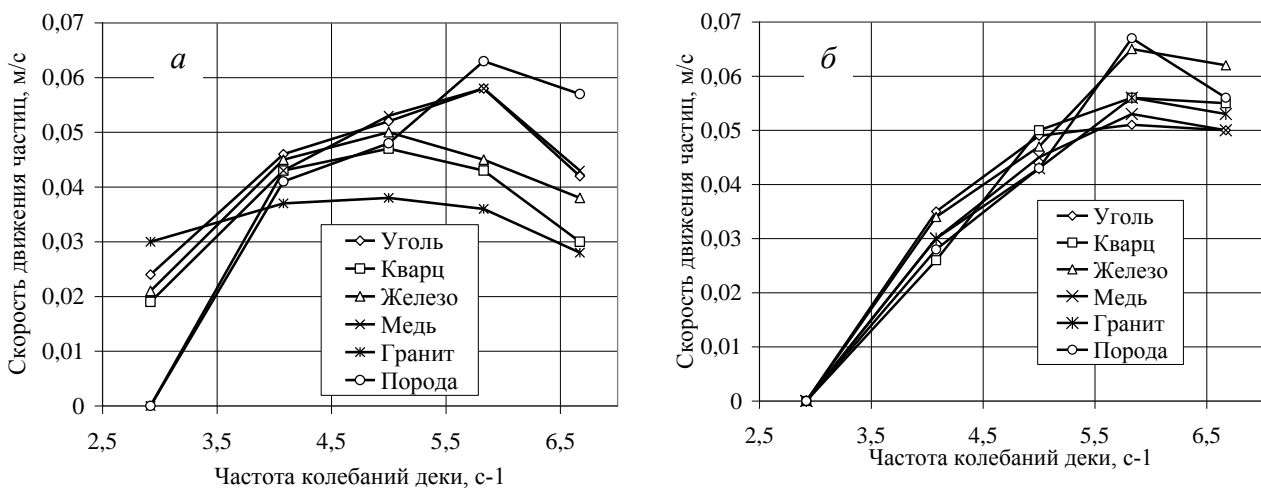


Рис. 2. Швидкість руху частинок по сухій поверхні деки:
а – резина типу 1; б – пластик

З отриманих результатів досліджень випливає, що для сухих поверхонь з резини типу 1, пластику і заліза закономірності зміни швидкості переміщення частинок різних матеріалів в міжрифельному просторі аналогічні (рис. 2, а, б, рис. 3, а). На цих поверхнях при збільшенні частоти коливань деки швидкість руху частинок зростає (в 7-20 раз) при підвищенні частоти з 2,92 до 4,08 с⁻¹. Далішній ріст частоти коливань до 5,83 с⁻¹ втягує за собою менше різке підвищення швидкості переміщення. При досягненні

Гравітаційна сепарація

нии максимальной частоты колебаний деки, составляющей $6,67 \text{ с}^{-1}$, скорость снижается в 1,2-3 раза по сравнению с предыдущим значением в зависимости от вида материала.

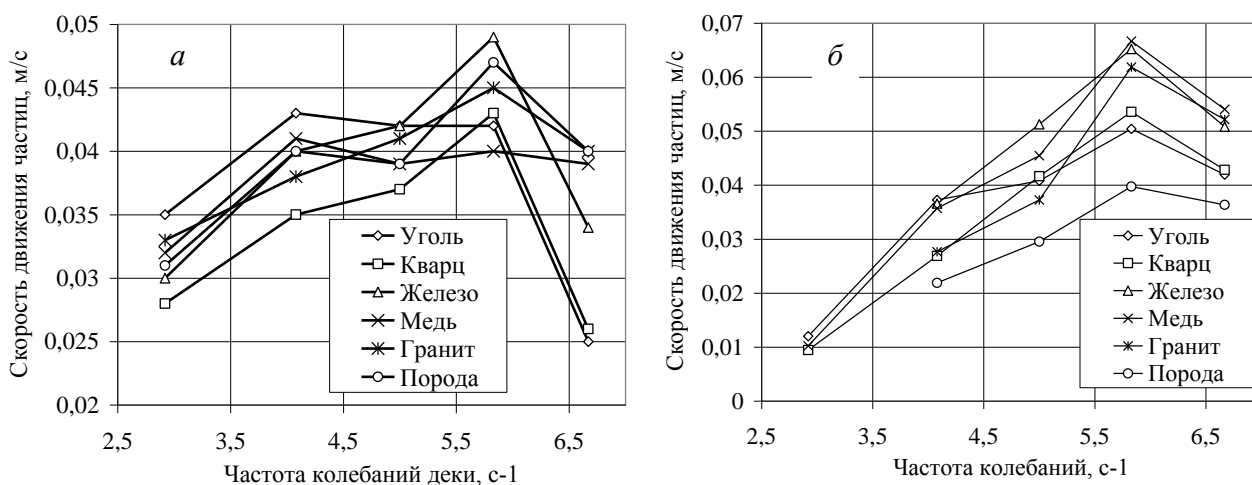


Рис. 3. Скорость движения частиц по сухой поверхности деки:
а – резина типа 2; б – железо

На поверхности из резины типа 1 значения скорости для исследуемых материалов отличаются в 2-20 раз только при низкой частоте колебаний. Для пластиковой и железной поверхностей эти отличия выражены менее резко. Увеличение скорости перемещения частиц по деке стола способствует повышению его производительности.

Для сухой поверхности из резины типа 2 зависимости скорости перемещения частиц имеют отличный от других характер. Вначале при изменении частоты колебаний от $2,92$ до $5,83 \text{ с}^{-1}$ скорость в целом повышается для всех материалов. Затем при увеличении частоты колебаний деки скорость падает для меди, железа, гранита и породы на 3-35%. Для угля и кварца это снижение более значительное и составляет 62-72%. Такие различия в поведении частиц на сухой поверхности деки связаны с формой частиц, коэффициентом сцепления с материалом покрытия деки и ее возвратно-поступательным движением.

Анализ данных, приведенных на рис. 4, свидетельствует о том, что для всех влажных покрытий увеличение частоты колебаний деки от $2,92$ до $6,67 \text{ с}^{-1}$ влечет за собой повышение скорости перемещения частиц в межрифельном пространстве. Наибольшие различия в значениях скорости имеют место при низкой частоте возвратно-поступательного движения деки стола.

Исследования движения частиц по влажному железному покрытию деки показали наиболее прочное сцепление материалов с поверхностью деки, которое дополняется поверхностным натяжением воды, присутствующей на поверхности деки и на поверхности частиц в виде пленок. При всех значениях частоты колебаний деки ни одна из частиц исследуемых материалов не перемещалась вдоль стола. Частицы совершали возвратно-поступательное движение относительно деки с небольшими перемещениями вправо-влево, практиче-

ски оставаясь на месте. Для металлического покрытия деки необходимо подавать смывную воду с достаточной скоростью, чтобы обеспечить транспортирование материала по столу.

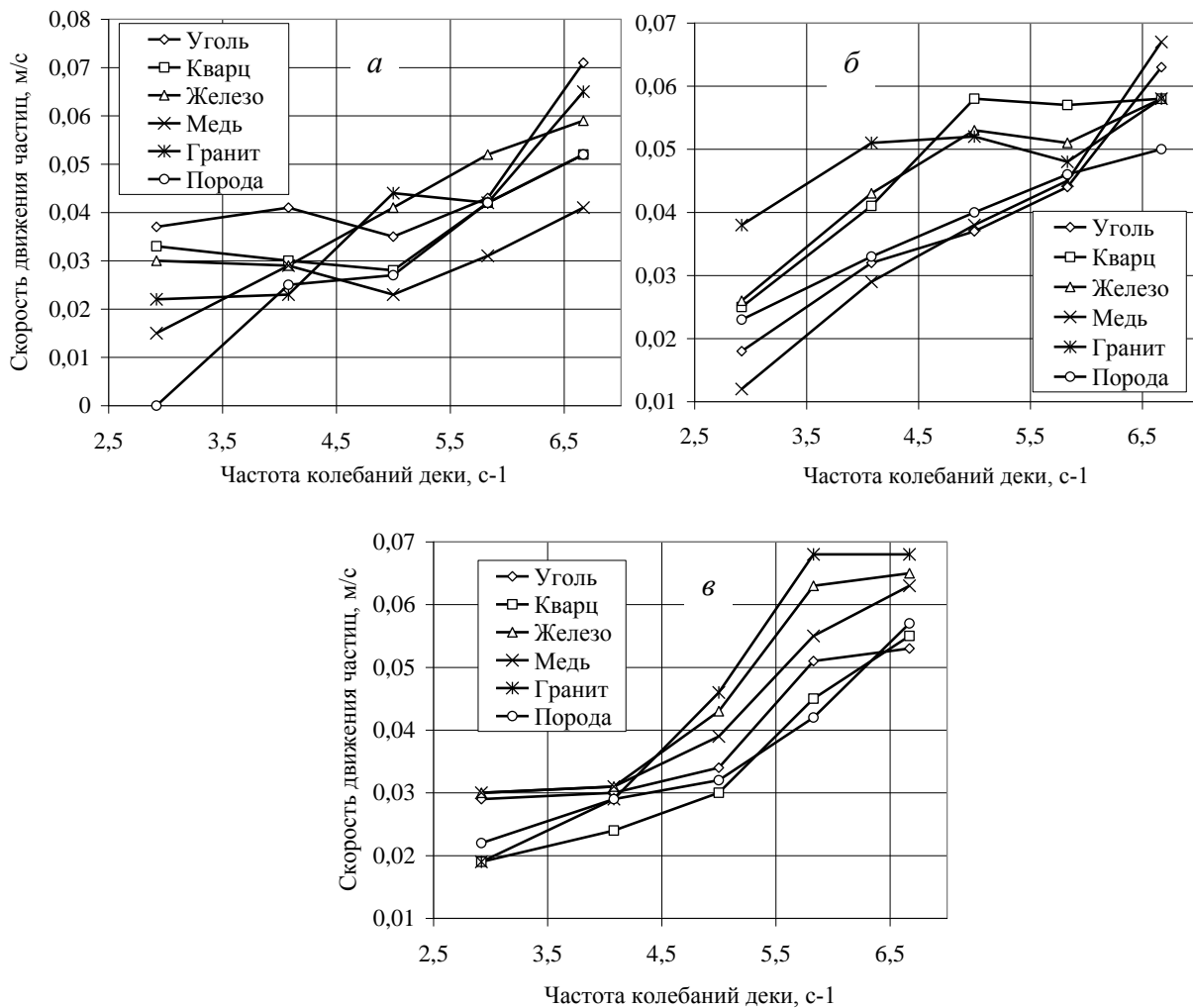


Рис. 4. Скорость движения частиц по влажной поверхности деки:
a – резина типа 1; *б* – пластик; *в* – резина типа 2

Высокая скорость перемещения материала по деке стола свидетельствует о возможности повышения его производительности при определенных условиях и соблюдении требований к качеству получаемых продуктов. Имеется возможность добиться снижения взаимного засорения продуктов путем установления режима, обеспечивающего наиболее значимые отличия в скоростях перемещения частиц разделяемых материалов.

Такие отличия наблюдаются при использовании в качестве покрытия деки резиной с высокой степенью полимеризации (резина типа 2), данные исследования для которой показаны на рис. 4, *в*. Особенно значительны отличия в скоростях перемещения материалов при частоте 5,83 с⁻¹. При этом особенно легко можно будет разделить гранит и породу (крайние линии на рис. 4, *в*), хотя эти материалы и имеют близкие значения удельного веса. При низкой частоте колебаний равной

Гравітаційна сепарація

2,92 с⁻¹ разделение различных материалов будет проблематичным, так как скорости их перемещения по деке имеют маленькие отличия между собой.

Выводы и направления дальнейших исследований. Проведенные исследования режимов работы концентрационного стола позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Для сухих поверхностей из резины низкой степени вулканизации, пластика и железа закономерности изменения скорости перемещения материалов в межрифельном пространстве аналогичны – увеличение частоты колебаний деки приводит к росту скорости движения частиц в горизонтальном направлении. При максимальной частоте колебаний скорость снижается в 1,2-3 раза по сравнению с предыдущим значением.

Для сухой поверхности из резины высокой степени полимеризации зависимости скорости перемещения частиц имеют иной характер – при изменении частоты колебаний от 2,92 до 5,83 с⁻¹ в целом скорость растет, затем при увеличении частоты до максимальной падает на 3-72%.

2. Для всех типов влажных покрытий увеличение частоты колебаний деки влечет за собой рост скорости перемещения частиц в межрифельном пространстве.

Список литературы

1. Угольные илонакопители как дополнительный источник энергетического топлива / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, Ю.Л. Папушин и др. // Энергосбережение – 2009. – №5. – С. 24-25.
2. Испытания концентрационного стола СКО-5Х2 в полевых условиях / Е.И. Назимко, С.Л. Букин, А.Н. Корчевский и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вып. 40(81). – С. 91-96.
3. Корчевский А.Н. Исследование условий разделения лома цветных металлов гравитационными методами // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2008. – Вип. 15(131), серія гірничо-електромеханічна. – С. 98-104.
4. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения. – М.: Недра, 1990. – 574 с.
5. Исаев И.Н. Концентрационные столы: Монография. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 100 с.
6. Благоев И.С. Обогащение углей на концентрационных столах: Монография. – М.: Недра, 1967. – 136 с.
7. Оборудование для обогащения угля: Справ. Пособие / Под ред. Б.Ф. Братченко. – М.: Недра, 1979. – 335 с.
8. Deurbrouck, A.W., Palowitch, E.R. (1968). Wet Concentrating Tables. In Leonard J.W., Mitchell D.R. (Eds.) Coal Preparation 3rd Edn. Am. Inst. Min. Eng. – P. 10-58.
9. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. – М.: Недра, 1979. – 296 с.
10. Применение вибрационной техники с бигармоническим режимом колебаний при обогащении углей / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, С.Л. Букин и др. // Уголь Украины. – 2011. – №5(653). – С. 41-45.

© Корчевский А.Н., 2013

*Надійшла до редколегії 22.04.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.І. Назимко*