

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ОТХОДОВ НА КОНЦЕНТРАЦИОННОМ СТОЛЕ

Proceedings of XII-th National Conference with International Participation of the open and underwater mining of minerals. – Bulgaria. – 2013. – P. 381-388.

Александр Корчевский, Константин Гуменюк, Елена Назимко

Korchev_al@ukr.net

Донецкий национальный технический университет, Украина

Аннотация

Приведены результаты исследования параметров движения частиц различного состава по деке концентрационного стола и их зависимость от ряда факторов. Определены рациональные режимы работы стола.

Ключевые слова: стол концентрационный, отходы, илонакопитель, разделение, параметры.

Введение

В настоящее время имеется высокий интерес к таким техногенным месторождениям, как хранилища отходов различных производств. Вопросы утилизации промышленных отходов стали серьезной экономической и экологической 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 3мм. Существующие комплексы, работающие на вторичном угольном сырье, далеки от совершенства. Для сепарации отходов применяются: винтовые сепараторы – для класса 1-3 мм, винтовые шлюзы – 0,5-1 мм, флотационные машины - для класса крупностью менее 0,5 мм [2]. Применение различных разделительных аппаратов для разных классов крупности в технологической схеме одной модульной установки приводит к усложнению технологии и необходимости использовать различное по типу действия основное и вспомогательное оборудование.

Наиболее перспективными и экономически выгодными являются гравитационные методы сепарации различных материалов [3, 4]. Для мелких зернистых материалов применяется разделение в тонком слое воды, текущей по подвижной наклонной поверхности. Этот метод известен как концентрация на столах, широко применяется и имеет высокую эффективность для частиц размером 0,1-10мм [5, 6].

В середине двадцатого века на ряде углеобогатительных фабрик эксплуатировались концентрационные столы подвешенного исполнения типа СКПМ-6, опорного исполнения типа ЯСК-1 и СКМ-1. Технологическое назначение концентрационных столов состояло в переработке машинных классов 0-13мм, 0-6мм, 0-3мм, 0-1мм [7]. Эти аппараты показали достаточную эффективность работы. Кроме того установлено, что при этом происходит обессеривание шламов путем выделения свободной пиритной серы в классах крупностью до 3мм [2, 8].

Концентрационные столы могут использоваться и при разделении отходов других производств, например для таких объектов как шлаковый отвал металлургического завода.

В данной работе приведены результаты исследования влияния различных параметров регулирования концентрационного стола на перемещение и траектории частиц различных материалов.

Краткие теоретические основы процесса сепарации на столах

При сепарации на концентрационных столах происходит сегрегация частиц в межрифельном пространстве при одновременном их перемещении в продольном направлении под влиянием возвратно-поступательного перемещения деки стола и в поперечном направлении под влиянием потока смывной воды и пульпы [9]. Сложная совокупность явлений, сопровождающих движение

материала по деке стола, усложняет установление теоретических зависимостей и приводит к необходимости рассматривать процесс в более упрощенном виде. На первом этапе выполнено исследование для единичных частиц различных материалов. Основные силы, действующие на частицу на концентрационном столе, показаны на рис. 1.

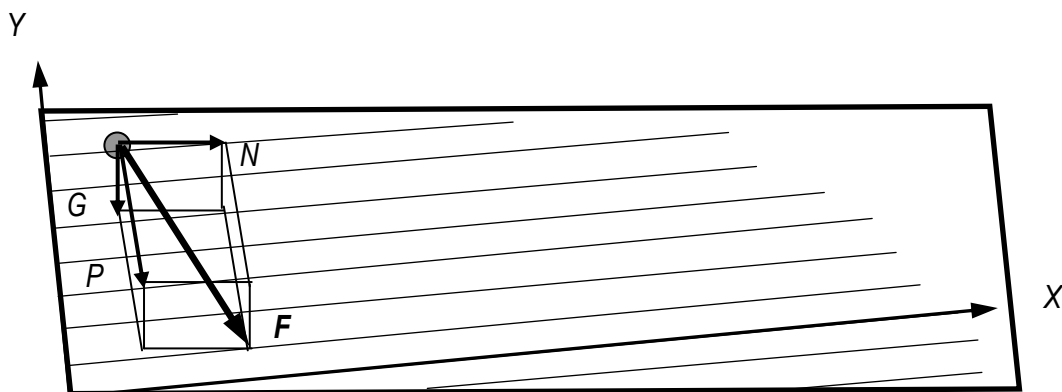


Рисунок 1. Схема сил, действующих на частицу на деке концентрационного стола

Каждая частица, находящаяся в движущемся потоке пульпы, находится под действием трех основных взаимно перпендикулярных сил: 1) силы тяжести G , направленной вертикально вниз; 2) силы гидродинамического влияния поперечного потока воды и пульпы P , направленной поперек наклонной деки; 3) силы N , вызванной асимметричным возвратно-поступательным движением деки, которая направлена вдоль деки стола. В зависимости от удельного веса, крупности частицы и скорости потока частица перемещается по деке под действием равнодействующей силы R . Ось абсцисс X направлена вдоль рифлей деки, ось ординат Y – вдоль узкой стороны стола.

Исследователи составляли различные уравнения движения частиц по деке стола [9]. Однако, сложно учесть все параметры, влияющие на показатели работы этого аппарата. К основным параметрам регулирования относятся длина хода и частота колебаний деки, угол ее поперечного и продольного наклона, количество смывной воды, система нарифлений, материал покрытия деки.

Такой совокупности управляющих параметров не имеет ни один аппарат для разделения шламовых частиц. Благодаря этому концентрационный стол может достаточно эффективно работать на различных материалах при нестабильном составе питания, что имеет место при переработке различных отходов [10].

Анализ результатов исследований

В лабораторных условиях на концентрационном столе с бигармоническим режимом колебаний исследовано движение частиц угля, гранита, кварца, монтмориллонита (породы), железа и меди крупностью 3мм. Удельный вес частиц составляет соответственно: 1400, 2800, 2650, 2700, 7800, 8930кг/м³. Размеры деки стола 0,4x1м.

Первоначально проведено изучение перемещения частиц по сухому покрытию деки. В качестве покрытий использовались резина низкой степени полимеризации (для краткости - резина типа 1), пластик, резина высокой степени полимеризации (резина типа 2), железо. После проведения экспериментов для всех шести разновидностей материалов на каждой заданной частоте колебаний деки, которые составили 175, 245, 300, 350 и 400 мин⁻¹ (2,92; 4,08; 5; 5,63; 6,67с⁻¹), поверхность деки была тщательно смочена водой для определения влияния коэффициента сцепления на показатели разделения. Частицы исследуемых материалов также смачивались водой. После выполнения полного цикла исследований на одном типе поверхности деки покрытие заменяли на другое. Для каждой

частицы и каждого исследуемого параметра выполнялось дублирование экспериментов и их статистическая обработка по стандартным методикам.

Результаты определения времени прохождения частицами отрезка длиной 0,6м в межрифельном пространстве деки представлены на рис. 2 и 3.

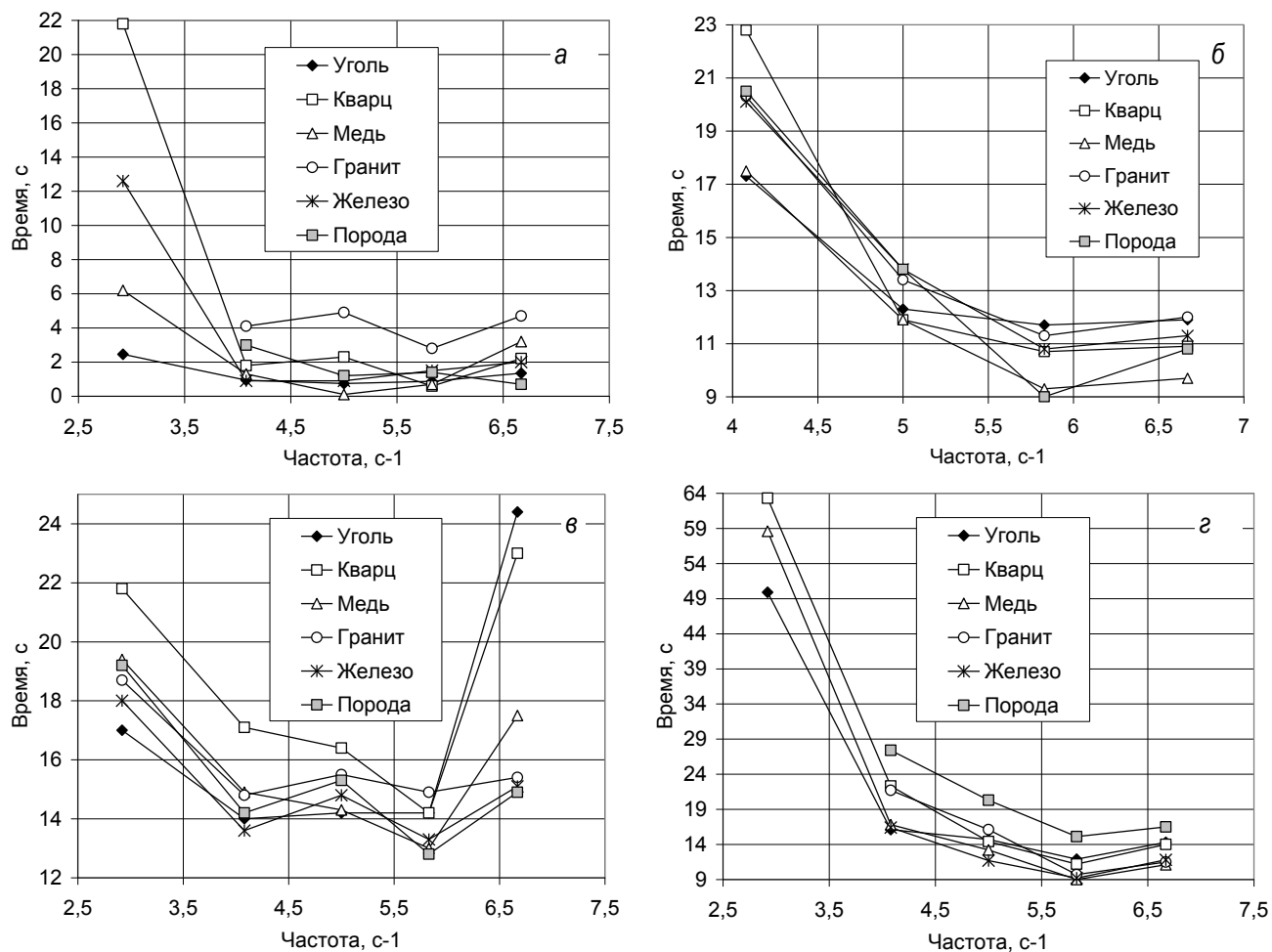


Рисунок 2. Время перемещения частиц в межрифельном пространстве по сухой поверхности деки: а – резина типа 1, б – пластик, в – резина типа 2, г - железо

Из данных следует, что для сухих поверхностей из резины типа 1, пластика и железа закономерности изменения времени нахождения материалов в межрифельном пространстве аналогичны (рис. 2, а, б, г). На этих поверхностях при увеличении частоты колебаний деки время перемещения частиц резко снижается (в 7-20 раз) при повышении частоты с 2,92 до 4,08с⁻¹. Дальнейший рост частоты колебаний до 5,83с⁻¹ влечет за собой менее резкое снижение времени перемещения. При достижении максимальной частоты колебаний деки, составляющей 6,67с⁻¹, время увеличивается в 1,2-3 раза по сравнению с предыдущим значением в зависимости от вида материала. На поверхности из резины типа 1 значения времени для исследуемых материалов отличаются в 2-20 раз только при низкой частоте колебаний. Для пластиковой и железной поверхностей эти отличия выражены менее резко. Снижение времени нахождения частиц на деке стола способствует повышению его производительности.

Для сухой поверхности из резины типа 2 зависимости времени перемещения частиц имеют отличный от других характер. Вначале при изменении частоты колебаний от 2,92 до 5,83с⁻¹ время в целом снижается для всех материалов. Затем при увеличении частоты колебаний деки время растет

для меди, железа, гранита и породы на 3-35%. Для угля и кварца это повышение 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.

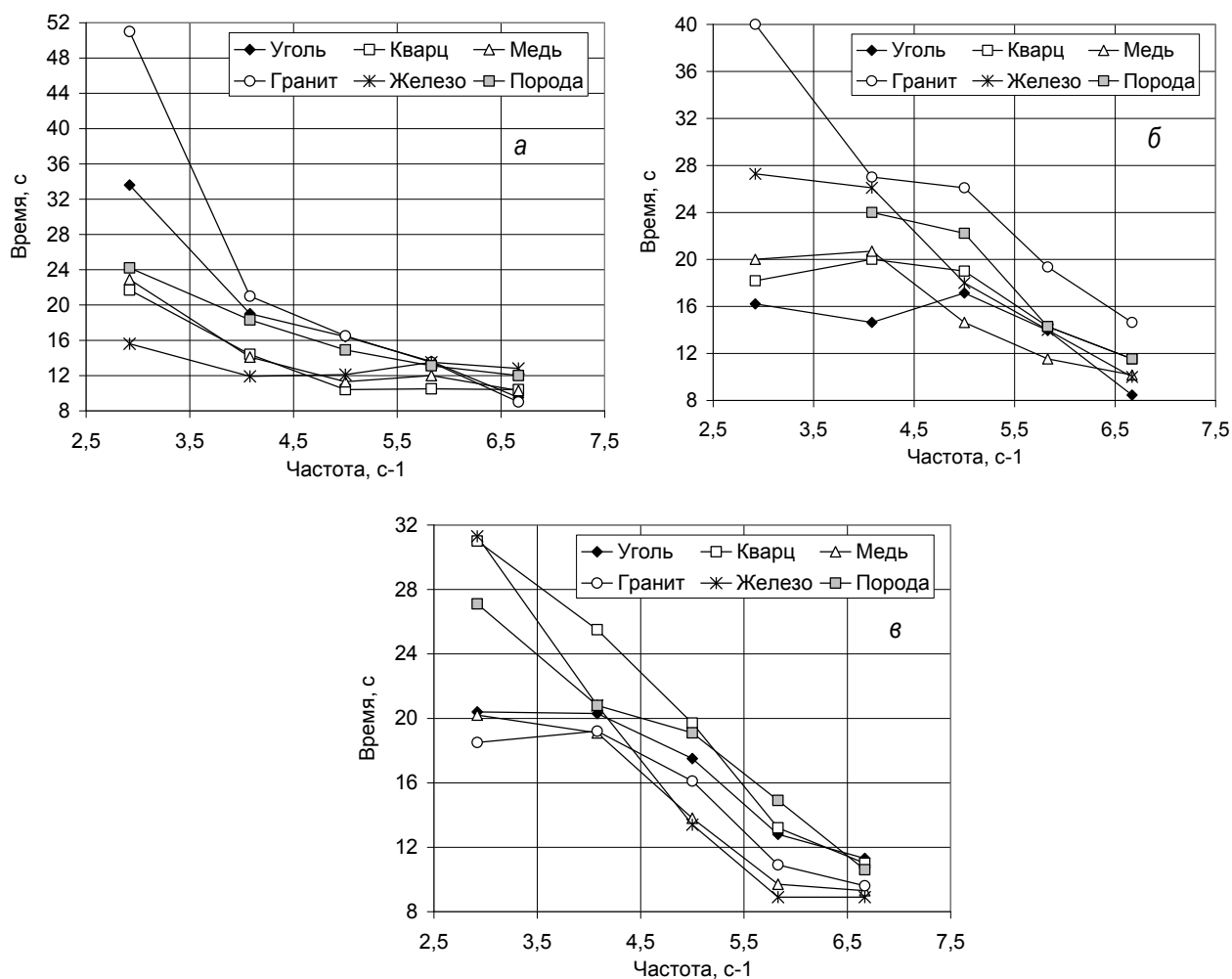


Рисунок 3. Время перемещения частиц в межрифельном пространстве по влажной поверхности деки: а – резина типа 1, б – пластик, в – резина типа 2

Анализ данных, приведенных на рис. 3, свидетельствует о том, что для всех влажных покрытий увеличение частоты колебаний деки от 2,92 до 6,67с⁻¹ влечет за собой снижение времени перемещения частиц в межрифельном пространстве. Наибольшие различия в значениях времени 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, практически оставаясь на месте. Для металлического покрытия деки необходимо подавать смывную воду с достаточной скоростью, чтобы обеспечить транспортирование материала по столу.

Далее было исследовано влияние поперечного угла наклона деки концентрационного стола на параметры перемещения частиц. При этом угол продольного наклона деки составлял -3°, на деку

подавалось небольшое постоянное количество смывной воды, расход которой составил $0,75\text{м}^3/\text{ч}$. Покрытием деки служила резина типа 2. Полученные графики представлены на рис. 4.

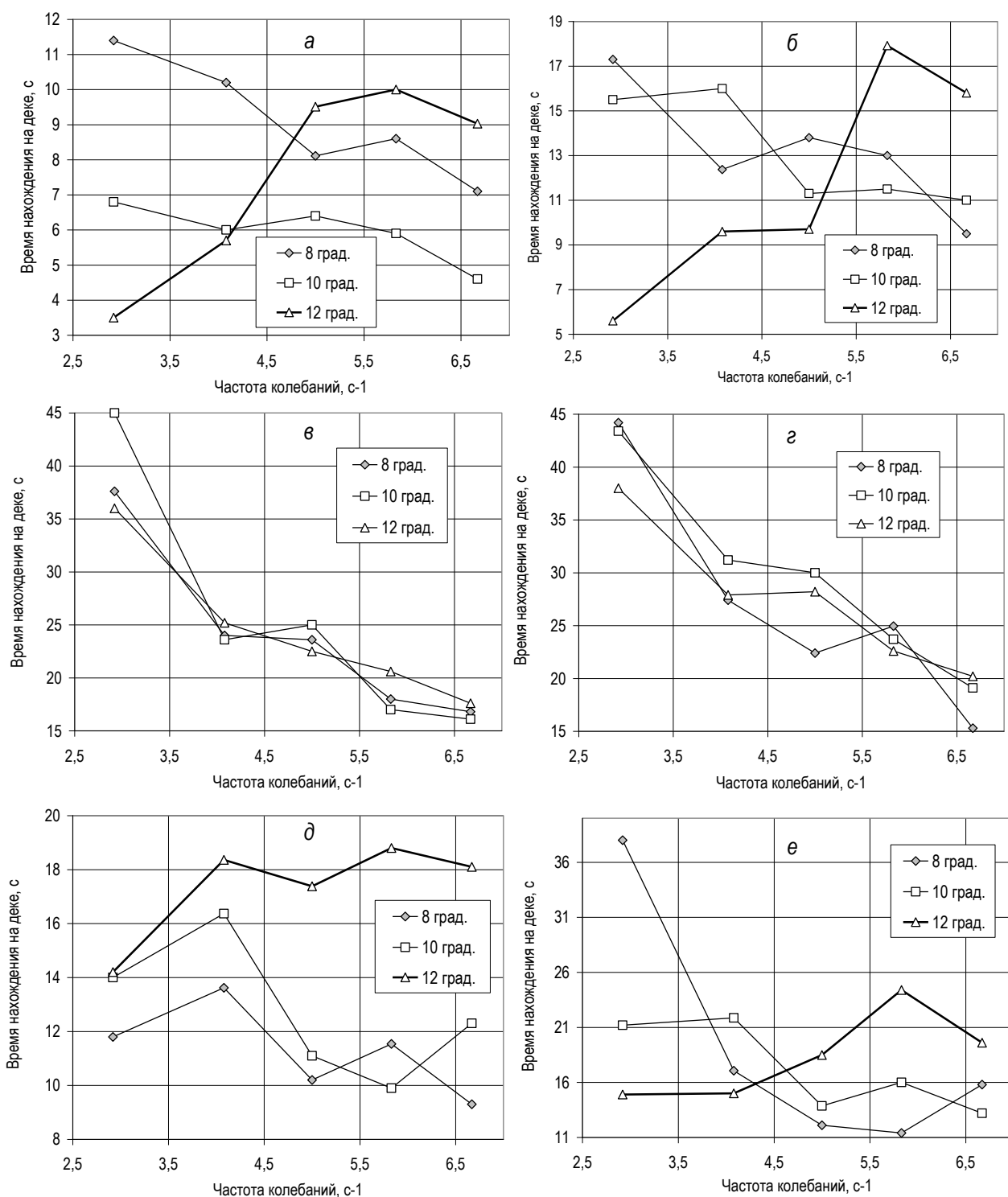


Рисунок 4. Влияние угла поперечного наклона деки на время нахождения частиц различных материалов в межрифельном пространстве: а – уголь, б – кварц, в – железо, г – медь, д – гранит, е – монтмориллонит (порода)

Данные показывают, что для разных материалов закономерности влияния поперечного угла наклона деки отличаются при прочих равных условиях. Тяжелые материалы (медь, железо) имеют

близкие значения времени перемещения в межрифельном пространстве деки – при увеличении частоты колебаний стола время перемещения снижается (рис. 4, в, г). Влияние поперечного угла наклона деки на время перемещения медной и железной частиц в диапазоне от 8° до 12° незначительно, особенно при высоких частотах колебаний.

Для остальных более легких материалов при поперечном угле наклона 8-10° время движения в межрифельном пространстве в целом снижается при росте частоты колебаний деки от 2,92 до 6,67с⁻¹. Когда поперечный угол наклона деки достигает значения 12° зависимость изменяется на противоположную. При увеличении частоты колебаний деки время перемещения частиц между рифлями в горизонтальном направлении повышается (выделено жирной линией на рис. 4, а, б, д, е) на 5-32% для угля, гранита и породы и имеет максимум при частоте колебаний 5,83с⁻¹. Для кварца увеличение времени перемещения выражено наиболее резко – на 84%. Затем происходит его некоторое снижение (на 4-24%) при повышении частоты до наибольшей, равной 6,67с⁻¹.

Такие особенности перемещения частиц по поверхности деки связаны со смачиваемостью поверхности различных материалов и закономерностями их перемещения в потоке воды. Наличие смывной воды на деке снижает влияние коэффициента сцепления частиц с материалом деки, и определяющим становится действие силы P (см. рис. 1).

В связи с тем, что при переработке илонакопителей углебогатительных фабрик чаще всего разделению подлежат угольные и породные зерна, далее были исследованы траектории перемещения частиц угля и породы. Поперечный угол наклона составил 8°, подача смывной воды производилась в том же количестве при продольном угле наклона -3° и низкой частоте колебаний деки 2,92с⁻¹. На рис. 5. показана траектория перемещения частиц по поверхности деки с различным покрытием.

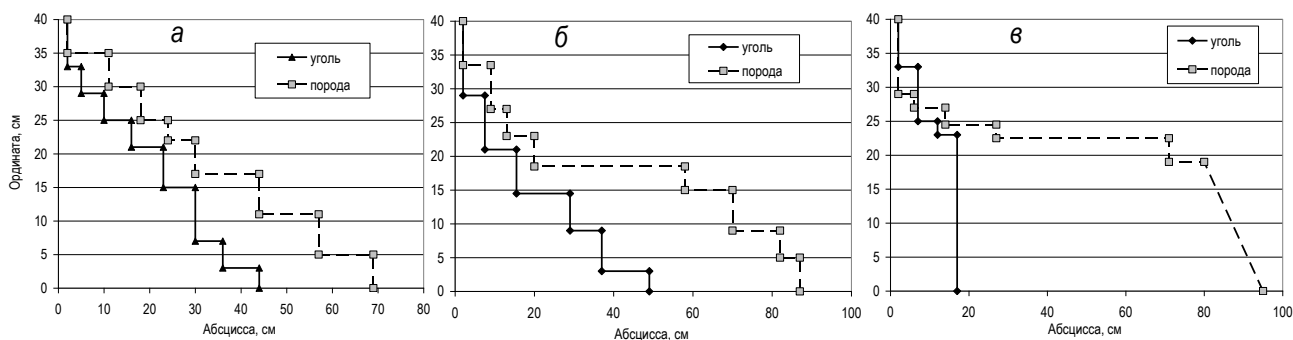


Рисунок 5. Траектории движения частиц угля и породы по мокрой деке:
а – резина типа 1, б – пластик, в – резина типа 2

Известно, что при движении массы частиц на поверхности деки образуется веер из частиц, имеющих близкие свойства. Анализ данных свидетельствует о том, что к месту разгрузки единичные частицы угля и породы приходят на наибольшем удалении друг от друга (разница в точках разгрузки составляет 0,78м, рис. 5, в) при использовании в качестве покрытия деки резины типа 2 (с высокой степенью вулканизации). Именно это покрытие и применялось при ведении дальнейших исследований.

Концентрационный стол является аппаратом, имеющим большое количество управляемых параметров. Ни один другой аппарат, используемый при сепарации частиц шламовой крупности, не дает возможности значительного изменения режимов работы и соответственно показателей разделения. При разных режимах работы показатели могут быть прямо противоположными, как показано на рис. 6. Из исследованных материалов наиболее близкий удельный вес имеют монтмориллонит (порода), кварц и гранит. При подаче смывной воды, высокой частоте колебаний деки (5,83с⁻¹) и поперечном угле ее наклона 12° разделение этих материалов невозможно, так как точки разгрузки частиц этих материалов в конце деки совпадают (рис. 6, а). Однако, даже для этих материалов возможно достижение разделения. В этом случае подобран следующий режим: низкая частота колебаний деки 2,92с⁻¹ при том же поперечном угле наклона (рис. 6, б). Из данных видно, что

точки прихода частиц породы, кварца и гранита к месту разгрузки отстоят друг от друга на 0,15-0,2м. Даже при образовании веера при массовом движении частиц возможно разгрузить материалы в различные лотки с определенной степенью селективности.

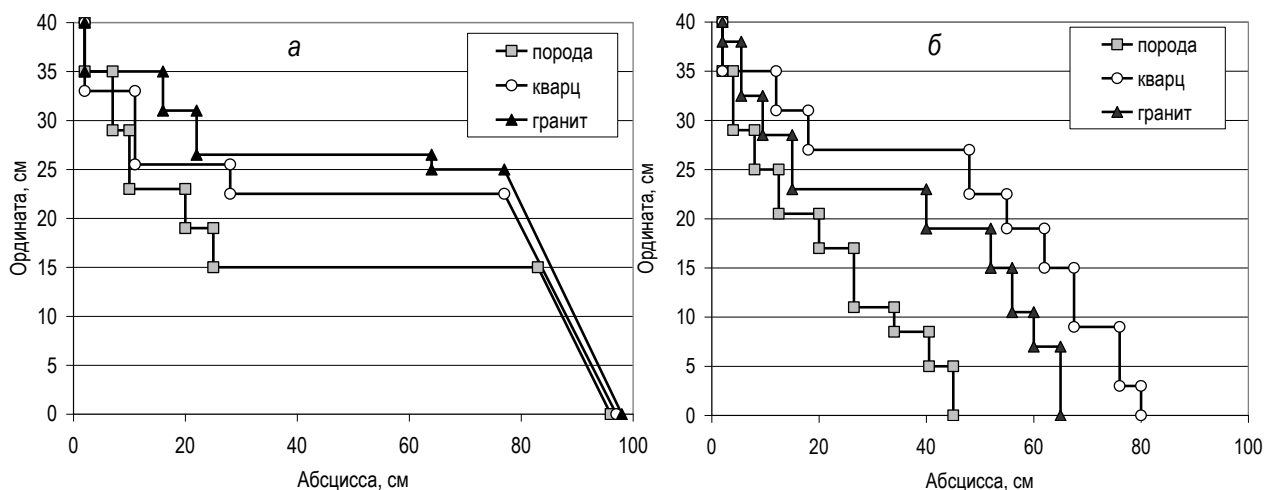


Рисунок 6. Траектории перемещения частиц при различных режимах работы концентрационного стола: а – разделение невозможно, б – разделение возможно

Таким образом, соответствующая настройка режима может обеспечить самые разнообразные условия разделения для разных материалов в зависимости от поставленной задачи. Такие возможности этого аппарата используются при разделении отходов различных производств для частиц с размером до 10мм.

Выводы

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 времени нахождения материалов в межрифельном пространстве аналогичны - увеличение частоты колебаний деки приводит к снижению времени перемещения частиц в горизонтальном направлении. При максимальной частоте колебаний время увеличивается в 1,2-3 раза по сравнению с предыдущим значением.

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

2. Для всех типов влажных покрытий увеличение частоты колебаний деки влечет за собой снижение времени перемещения частиц в межрифельном пространстве. Наибольшие различия имеют место при низкой частоте возвратно-поступательного движения деки стола.

3. Влияние поперечного угла наклона деки на время перемещения тяжелых материалов (медной и железной частиц) в диапазоне от 8° до 12° незначительно, особенно при высоких частотах колебаний.

Для более легких материалов время движения в межрифельном пространстве в целом снижается при росте частоты колебаний деки от 2,92 до 6,67с⁻¹ при увеличении поперечного угла наклона от 8 до 10°. Когда поперечный угол наклона деки достигает значения 12° зависимость изменяется на противоположную.

4. Соответствующая настройка режима может обеспечить разнообразные условия сепарации для материалов в зависимости от поставленной задачи, особенно для таких условий как отходы производства.

Список ссылок

1. Угольные илонакопители как дополнительный источник энергетического топлива / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, Ю.Л. Папушин, А.Н. Корчевский // Энергосбережение – 2009. – №5. – С.24-25.
2. Назимко Е.И., Букин С.Л. Корчевский А.Н. и др. Испытания концентрационного стола СКО-5Х2 в полевых условиях // 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. Вип. 15(131), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – 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. Благов 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. 296с.
10. Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Букин С.Л., Корчевский А.Н. и др. Применение вибрационной техники с бигармоническим режимом колебаний при обогащении углей // Уголь Украины 2011 №5(653). С. 41-45.