

Доктора техн. наук В.П. Надутый,  
Е.С. Лапшин,  
канд. техн. наук Л.Н. Прокопишин  
(ИГТМ НАН Украины)

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОСЕИВАНИЯ ВЛАЖНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

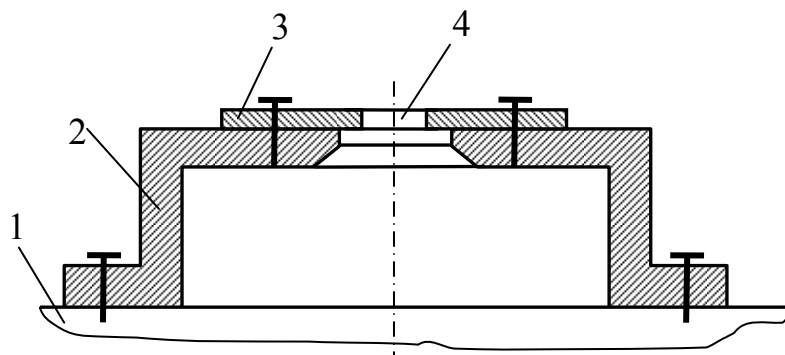
Експериментальним методом визначені амплітуди й частоти коливань поверхні, що просіває, при яких забезпечується просівання часток вологої мінеральної сировини. Ця подія відбувається в результаті подолання сил поверхневого натягу, які діють на частку з боку рідини.

## **EXPERIMENTAL DEFINITION DYNAMIC PARAMETERS OF PROCESS OF SCREENING WET MINERAL RAW MATERIALS**

The experimental method defines amplitudes and oscillations frequency of a sieving surface at which screening corpuscles of wet mineral raw materials is ensured. This event occurs as a result of overcoming surface tension force which act on a corpuscle from a fluid.

В горной, химической, металлургической и многих других отраслях, связанных с переработкой минерального сырья, для классификации по крупности широко применяется вибрационное грохочение. В большинстве технологий грохотят влажное минеральное сырье, что обусловлено круглогодичной карьерной добычей, применением открытых хранилищ, а также с необходимостью обезвоживания после гидродобычи и т. д. Наибольшие трудности возникают при грохочении мелкого влажного сырья. В работе [1] показано, что при грохочении угля по крупности 3 мм увеличение свободной влаги с 0 до 4 % снижает эффективность разделения с 94 % до 20 %. Обзор исследований, посвященных изучению влияния влажности на процесс грохочения, приведен в монографии [2]. Из него следует, что один из наиболее перспективных путей повышения эффективности грохочения – математическое моделирование. Кинетика грохочения зависит от вероятности просеивания. Процесс просеивания сухого сырья достаточно подробно исследован [3]. При грохочении же влажного сырья, когда на просеивание влияет жидкость в отверстиях сита, важно знать какой должен быть режим вибровозбуждения, при котором частица преодолевает поверхностное натяжение. Избыточно большие значения амплитуды и частоты приводят к увеличению динамических нагрузок, что отрицательно сказывается на надежности. В статье [4] для ответа на этот вопрос решена задача о колебаниях частицы в отверстии сита, заполненном жидкостью. Однако полученные численные результаты носят частный характер, поскольку минеральная частица моделировалась шаром и не учтен гистерезис угла смачивания, что в ряде случаев дает заниженные результаты в определении требуемых режимов вибровозбуждения. В этой связи цель работы – экспериментальное определение области режимов вибровозбуждения сита, при которых происходит преодоление сил поверхностного натяжения, действующих на минеральную частицу.

Исследования выполнялись на вибрационном электродинамическом стенде ВЭДС–100, который подробно описан в монографии [3]. На столе 1 вибратора был установлен кронштейн 2, на котором крепилась съемная просеивающая поверхность 3 с отверстием 4 (рис. 1). Такой способ крепления просеивающей поверхности предотвращал дополнительные ее колебания за счет прогиба.



1– стол вибрационного стенда; 2 – кронштейн; 3 – просеивающая поверхность;  
4 – отверстие

Рис. 1 – Приспособление для крепления просеивающей поверхности на электродинамическом вибростенде

Эксперименты проводились следующим образом:

- на кронштейне устанавливалась просеивающая поверхность с заданным размером отверстия;
- в отверстие помещалась влажная частица минерального сырья;
- включался стенд и устанавливалась требуемая частота вибровозбуждения;
- производилось увеличение амплитуды виброперемещения от нуля до значения, при котором происходило просеивание.

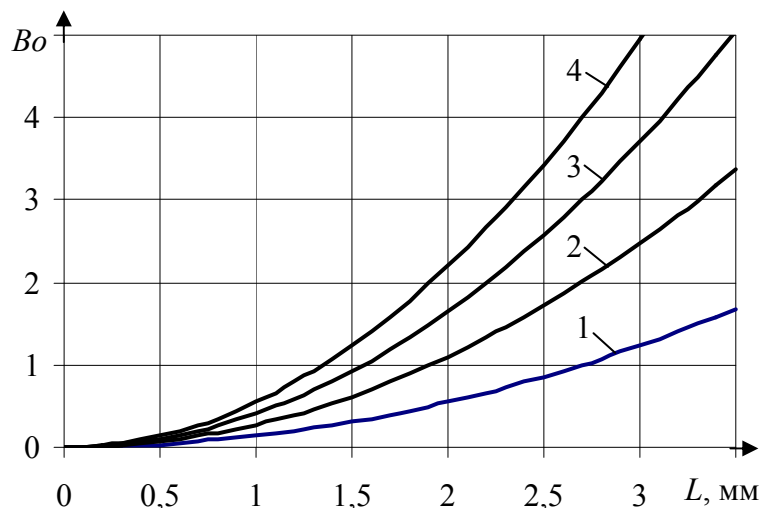
Из анализа научно-технической информации установлено, что на преодоление сил, удерживающих частицу в отверстии просеивающей поверхности, влияют следующие факторы: геометрические параметры частицы и отверстия; поверхностное натяжение, плотность и вязкость жидкости; угол смачивания; плотность частицы; амплитуда, частота и траектория вибровозбуждения.

Частицы минерального сырья имеют случайную форму, размер, шероховатость, плотность и поверхностное натяжение. Совокупность этих свойств будем называть вектором свойств частицы, который обозначим  $S$ . Возможно два подхода при проведении экспериментов. Первый, для каждой конкретной частицы определяется вектор свойств, проводятся эксперименты, и выполняется усреднение по частицам. Второй, берется случайная выборка частиц и с ними проводятся эксперименты, которые косвенно учитывают  $S$  по ансамблю. В исследованиях был применен второй подход, который позволил сократить трудоемкость экспериментов и упростить представление их результатов.

Формы отверстий просеивающей поверхности чрезвычайно разнообразны [5]. Основные из них квадратная, прямоугольная, круглая. С целью получения максимальной оценки требуемой амплитуды и частоты эксперименты проводи-

лись на круглых отверстиях. Выбор области варьирования диаметров отверстий производился на основе критерия Бонда  $Bo = \rho j L^2 / \sigma$ , где  $\rho$  – плотность жидкости;  $j$  – модуль ускорения;  $L$  – характерный размер;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения.

На рис. 2 приведена зависимость критерия Бонда от характерного размера  $L$  и ускорения  $j$ . Силы поверхностного натяжения превосходят силы инерции ( $Bo < 1$ ) при  $L = 2,6$  мм.



1 –  $j = 10$  м/с<sup>2</sup>; 2 –  $j = 20$  м/с<sup>2</sup>; 3 –  $j = 30$  м/с<sup>2</sup>; 4 –  $j = 40$  м/с<sup>2</sup>

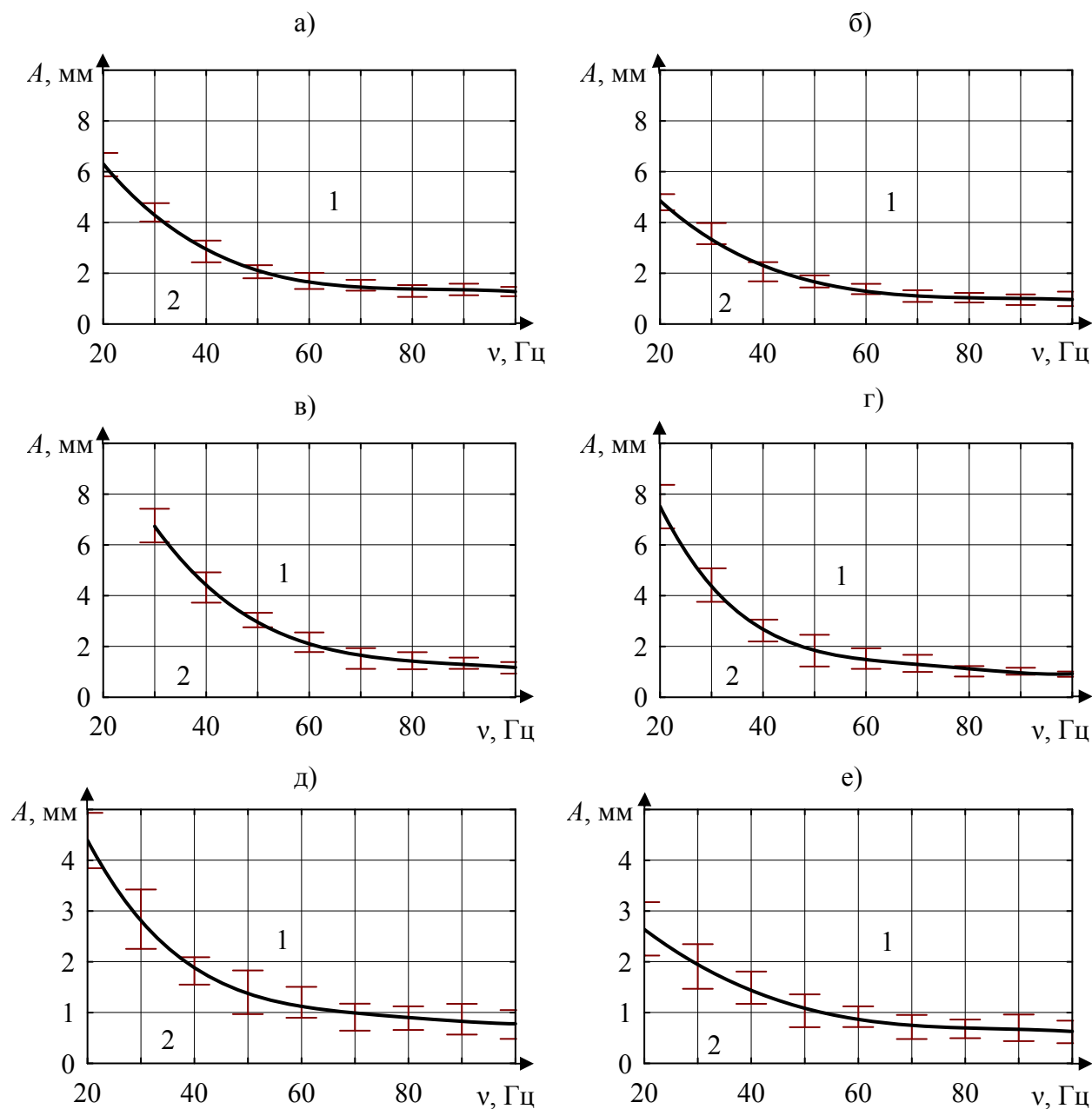
Рис. 2 – Зависимость критерия Бонда от характерного размера отверстия сита и ускорения

Если в качестве  $L$  брать диаметр  $d_o$  отверстия, то эксперименты следовало бы выполнять для размеров  $d_o \leq 2,5$  мм. Однако следует учесть, что в отверстии находится частица. Поэтому была проведена предварительная серия экспериментов, которая показала, что верхняя граница должна быть увеличена до 3,5 мм. Учитывая ограничения стенда по максимальному ускорению, нижняя граница для  $d_o$  принята равной 1,5 мм.

Размер частиц характеризовался диаметром сферы, площадь которой равна площади поверхности частицы. Эксперименты проводились с частицами, относительный размер которых составлял 0,8–0,95 диаметра отверстия.

Эксперименты выполнены на частицах гранитного щебня и угля. Выбор их обусловлен значительным отличием углов смачивания (гранит  $0^\circ$ , уголь антрацит  $43^\circ$ ) и плотности (гранит  $2700$  кг/м<sup>3</sup>, уголь антрацит  $1600$  кг/м<sup>3</sup>), что дало возможность получить оценку влияния этих факторов.

Частота вибровозбуждения просеивающей поверхности варьировалась в интервале 20–100 Гц с шагом 20 Гц. При каждом значении частоты выполнялось 10 опытов по определению амплитуды, при которой преодолевалось поверхностное натяжение. На рис. 3 представлены результаты экспериментов для отверстий с различными диаметрами. Здесь же приведены 95 % доверительные интервалы.



а) – уголь,  $d_o = 3$  мм; б) – уголь,  $d_o = 3,5$  мм;  
 в) – щебень,  $d_o = 1,5$  мм; г) – щебень,  $d_o = 2$  мм;  
 д) – щебень,  $d_o = 2,5$  мм; е) – щебень,  $d_o = 3$  мм;  
 1 и 2 – области просеивания и отсутствия просеивания  
 Рис. 3 – Области режимов вибровозбуждения просеивающей поверхности, при которых происходит просеивание

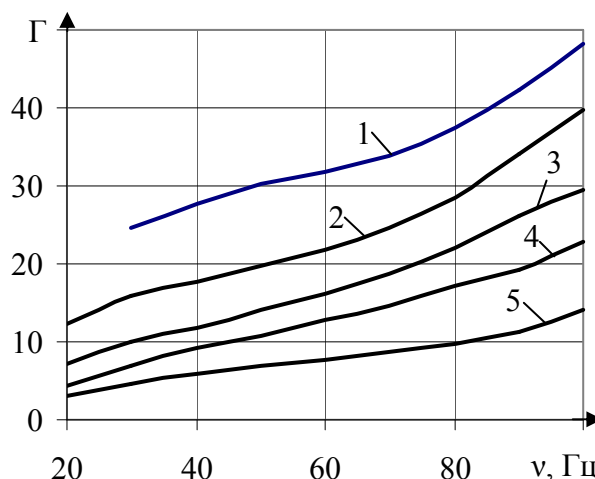
Полученные кривые делят плоскость (амплитуда-частота) на две области. При значениях амплитуды и частоты, находящихся над кривой, преодолевается поверхностное натяжение и, следовательно, происходит просеивание. Если же они находятся под ней, то частица не просеивается.

По этим данным определена перегрузка (коэффициент режима), которая необходима для преодоления поверхностного натяжения

$$\Gamma = \frac{A\omega^2}{g},$$

где  $A$  и  $\omega$  – амплитуда и круговая частота вибровозбуждения просеивающей поверхности;  $g$  – ускорение свободного падения.

Результаты представлены на рис. 4. Из него следует, что перегрузка, необходимая для преодоления сил поверхностного натяжения, зависит от частоты вибровозбуждения и потому не может служить однозначной характеристикой режима, как это принимают в ряде рекомендаций по выбору режима грохочения.



1 –  $d_0=1,5$  мм; 2 –  $d_0=2$  мм; 3 –  $d_0=2,5$  мм; 4 –  $d_0=3$  мм; 5 –  $d_0=3,5$  мм

Рис. 4 – Перегрузка, необходимая для просеивания влажного щебня

Итак, определены значения амплитуды и частоты, которые необходимы для просеивания влажного минерального сырья. Полученные результаты планируется использовать при разработке математической модели кинетики трудногрохотимого влажного минерального сырья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейлин М.И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
2. Надутый В.П., Калиниченко В.В. Вибрационное грохочение горной массы повышенной влажности. – Днепропетровск: НГУ Украины, 2004. – 135 с.
3. Надутый В.П., Лапшин Е.С. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья. – К.: Наукова думка, 2005. – 180 с.
4. Надутый В. П., Лапшин Е. С. Моделирование процесса просеивания влажного минерального сырья // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – 2007. – № 26. – С. 93–98.
5. Вайсберг Л. А., Картавий А. Н., Коровников А. Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкция, материалы, опыт применения. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. – 252 с.