

Быховский И.И. – М.: Машиностроение, 1968. – 362 с. 13. Шаинский М.Е. Методы и средства обработки деталей в абразивной среде с применением вибрации / М.Е. Шаинский, Б.А. Гончаров, 1963. – 32 с. 14. Шаинский М.Е. Вестник машиностроения / М.Е. Шаинский, И.Н. Карташев, М.Н. Найш. – М.: Машиностроение, 1965. – С. 64–68. 15. Исследование обработки деталей свободными абразивами, проектирование, изготовление и внедрение промышленных установок и технологических процессов на машиностроительных предприятиях СССР: материалы на соискание Государственной премии Украинской ССР по законченной научно-исследовательской работе. – Ворошиловград, 1972. – 130 с.

УДК [622.742:621.928.2]:51.001.57

В.П. НАДУТЫЙ, Е.С. ЛАПШИН, А.И. ШЕВЧЕНКО

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРОХОТА С УДАРНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

© Надутый В.П., Лапшин Е.С., Шевченко А.И., 2011

Виконано аналіз досліджень з тонкого грохочення вологої сировини. Запропоновано на етапі польоту сировини надавати просівальній поверхні грохота додаткового удару. Розроблено математичну модель, що описує рух просівальної поверхні при збудженні двома ударниками.

The analysis of researches on thin screening damp raw materials is made. It is offered to inform at a stage of flight of raw materials to a sifting surface of a screen additional blow. The mathematical model describing movement of the sifting surface of a screen at excitation by two drummers is developed.

Вибрационное грохочение – широко распространённая технологическая операция при переработке сыпучего сырья в различных отраслях. Современная сырьевая, энергетическая и экологическая ситуация требует, чтобы классификация по крупности производилась с высокой эффективностью и производительностью при низких эксплуатационных затратах.

Практика и многочисленные экспериментальные исследования свидетельствуют о низкой эффективности тонкого грохочения влажного сырья. В этом случае важную роль играют силы молекулярного взаимодействия жидкости с твердой фазой, которые препятствуют как просеванию, так и сегрегации. Нередки ситуации, когда разделение полностью прекращается.

Анализ научно-технической информации позволил выявить мировую тенденцию создания грохотов для влажного сырья: увеличение ускорения просеивающей поверхности до значений, в сотни и тысячи раз превосходящих ускорение свободного падения, а также расширение спектра воздействия. Широкий спектр обеспечивает возбуждение собственных колебаний частиц, жидкости и просеивающей поверхности. Для этих целей, как правило, используют удар.

В ИГТМ НАН Украины более десяти лет ведутся экспериментальные и теоретические исследования, направленные на создание виброударных грохотов [1–4]. В одной из последних разработок предложено просеивающую поверхность возбуждать “двойными” ударами. Вначале наносится первый удар, который способствует отрыву сырья от просеивающей поверхности и его разрыхлению, затем на этапе полета – второй удар, который придает дополнительное ускорение просеивающей поверхности, что обеспечивает ее очистку от застрявших в отверстиях частиц и

разрыв менисков жидкости. Важно отметить, что при нанесении второго удара грохотимое сырье не препятствует удалению частиц и жидкости.

Несмотря на конструктивную простоту такого грохота, реализация виброударного режима возможна только при определенных сочетаниях конструктивных и динамических параметров. Экспериментальное определение параметров чрезвычайно трудоемко. Учитывая современное состояние вычислительной техники, целесообразно применение численных экспериментов, однако для этого необходима математическая модель грохота. В этой связи цель работы – разработка математической модели, описывающей движение просеивающей поверхности грохота при ударном возбуждении.

Расчетная схема грохота представлена на рис. 1. Короб 1 грохота через упругие связи 2 соединен с основанием 3. Вибровозбудитель, установленный на коробе, условно не показан. Будем считать, что к коробу приложена сила F , изменяющаяся во времени по синусоиде. На коробе закреплена просеивающая поверхность 4. Ее упругие свойства моделируются связями 5. Под просеивающей поверхностью на упругих связях 6 и 7 установлены с зазором d или с натягом ударники 8 и 9. Диссипацию энергии при ударе учтем коэффициентом восстановления скорости. Под действием силы F короб 1 совершает колебания, которые передаются просеивающей поверхности 4 и ударникам 8 и 9. Последние взаимодействуют с просеивающей поверхностью, сообщая ей дополнительные импульсы. Влияние грохотимого сырья моделируется присоединенной массой, которая добавляется к массе просеивающей поверхности.

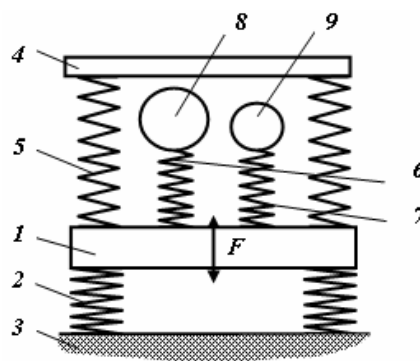


Рис. 1. Расчетная схема грохота: 1 – короб; 2, 5, 6, 7 – упругие связи; 3 – основание; 4 – просеивающая поверхность; 8 и 9 – ударники

Используя принцип Д’Аламбера, получили систему уравнений, описывающую вертикальные перемещения короба, просеивающей поверхности и ударников

$$\left. \begin{aligned} m_k \ddot{x}_k + c_k x_k + c_s (x_k - x_s) + c_{u,1} (x_{u,1} - x_k) + c_{u,2} (x_{u,2} - x_k) &= F \sin(2ft); \\ m_s \ddot{x}_s + c_s (x_s - x_k) &= 0; \\ m_{u,1} \ddot{x}_{u,1} + c_{u,1} (x_{u,1} - x_k) &= 0; \\ m_{u,2} \ddot{x}_{u,2} + c_{u,2} (x_{u,2} - x_k) &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где m – масса; x – вертикальное перемещение; c – жесткость; F – амплитуда силы; f – частота; t – время; индексы k , s и u,i обозначают, что величины относятся, соответственно, к коробу, просеивающей поверхности и ударнику i ($i = 1, 2$).

Начальные условия ($t = 0$):

$$x_k = x_{0,k}, \quad x_s = x_{0,s}, \quad x_{u,i} = x_{0,u,i}, \quad (2)$$

$$\dot{x}_k = v_{0,k}, \dot{x}_s = v_{0,s}, \dot{x}_{u,i} = v_{0,u,i}, \quad (3)$$

где дополнительным индексом "0" отмечены начальные значения перемещения x и скорости v .

Ударники в неизвестные моменты времени контактируют с просеивающей поверхностью ($x_s = x_{u,1}$ или $x_s = x_{u,2}$), поэтому решения системы должны удовлетворять дополнительным условиям, описывающим связь между скоростями до и после удара [5, 6]:

$$v_{s,i} = \frac{u_s (m_s - R_i m_{u,i}) + u_{u,i} m_{u,i} (1 + R_i)}{m_s + m_{u,i}} \quad (4)$$

$$v_{u,i} = \frac{u_s m_s (1 + R_i) + u_{u,i} (m_{u,i} - R_i m_s)}{m_s + m_{u,i}} \quad (5)$$

где v и u – скорости после и до удара; индексы s, i означают, что величина относится к просеивающей поверхности после взаимодействия с ударником i ; R_i – коэффициент восстановления скорости.

Решение должно также удовлетворять условию $x_s \geq x_{u,i}$, которое означает, что ударники не могут пройти через просеивающую поверхность.

Несмотря на простоту системы уравнений (1), решение их с учетом условий (2)–(5) – нетривиальная задача.

Для исследования виброударных систем применяют приспособление решений [5], описывающих смежные интервалы движений, разделенные моментом удара, а также широко используют различные методы линеаризации, которые подробно проанализированы в монографии [6]. В нашем случае решать задачу путем приспособивания из-за большой размерности системы нерационально. Кроме того, нас интересуют режимы движения, отличающиеся от периода вибровозбуждения. Линеаризация же не позволяет выявить особенности траекторий движений. Поэтому применялся метод поэтапного интегрирования [1–4]. Для начальных условий (2), (3) методом Рунге–Кутты решена задача Коши. При пересечении траекторий просеивающей поверхности и i -го ударника счет останавливали, определяли скорости до удара. Затем по формулам (4) и (5) вычисляли скорости после удара. Полученные значения перемещений и скоростей служили начальными значениями для последующего этапа движения масс. Повторяя многократно подобные вычисления, строили траектории движения просеивающей поверхности и ударников.

На основе приведенного алгоритма разработана программа для ПК "Грохот с ударниками", которая позволяет путем численных экспериментов выбирать параметры грохота.

Рассмотрим модельный пример. Дано: $A = 100$ Н, $f = 20$ Гц, $m_k = 20$ кг, $m_s = 1$ кг, $m_{u,1} = 0,4$ кг, $m_{u,2} = 0,4$ кг, $f_{0,k} = 15$ Гц, $f_{0,s} = 35$ Гц, $f_{0,u1} = 40$ Гц, $f_{0,u2} = 50$ Гц, $d_{u,1} = d_{u,2} = 0$ мм, $R_1 = R_2 = 0,75$. Здесь через $f_{0,j}$ обозначены собственные частоты ($j = k, s, u1, u2$). На рис. 2 и 3 представлены фрагменты траекторий на интервале времени 0,2–0,35 с, когда закончился переходный процесс, обусловленный начальными условиями.

Просеивающая поверхность совершает нерегулярные колебания. За период возбуждения (0,05 с) ударник 1 наносит два удара по просеивающей поверхности, а ударник 2 – 3–4 удара. Допустим, анализ кинетики процесса грохочения показал, что необходимо увеличить количество ударов. Для этого зададим собственную частоту ударника 2, равную 80 Гц, и количество ударов, наносимых ударником 2, возрастет до 5 (см. рис. 2). Скачки скорости просеивающей поверхности, обусловленные ударами, увеличиваются почти в 1,4 раза. Аналогично можно проанализировать влияние любого из определяющих параметров.

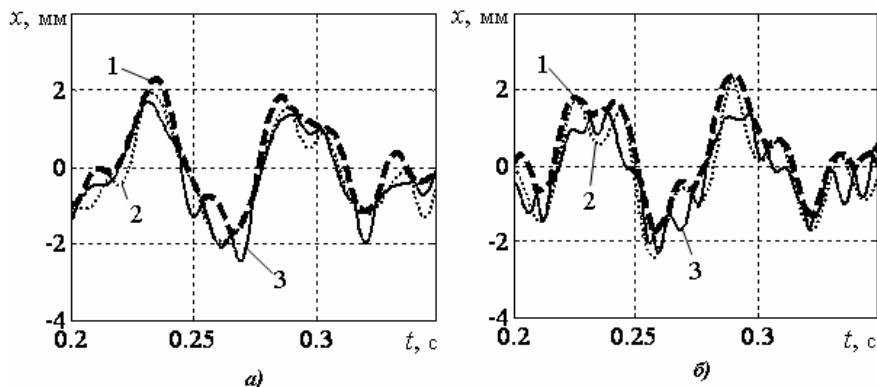


Рис. 2. Перемещения просеивающей поверхности и ударников: а – при $f_{0,u2} = 50$ Гц, б – при $f_{0,u2} = 80$ Гц; 1– просеивающая поверхность; 2– ударник 1, 3– ударник 2

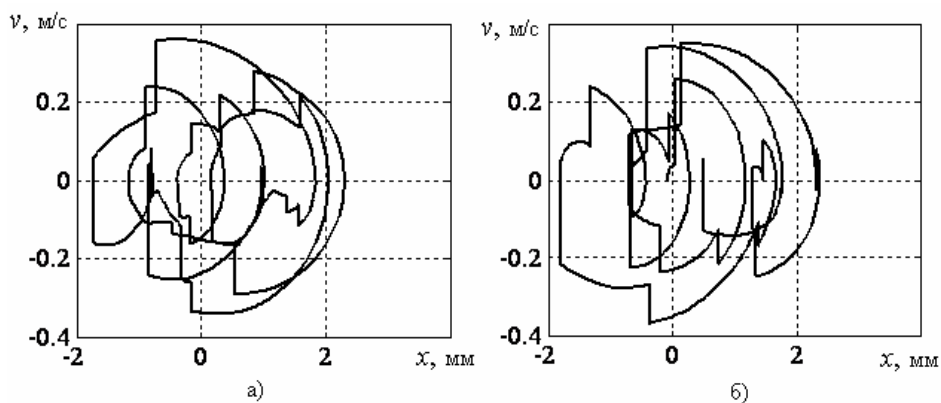


Рис. 3. Фазовый портрет для просеивающей поверхности:
а – при $f_{0,u2} = 50$ Гц; б – при $f_{0,u2} = 80$ Гц

Экспериментальные исследования показали, что реализация режима колебаний просеивающей поверхности с дополнительными ударами, по сравнению с одиночными ударами, повышает эффективность грохочения сырья в зависимости от его физико-механических свойств от 5 до 15 %.

Итак, разработана математическая модель (1)–(5), описывающая движение просеивающей поверхности грохота при возбуждении двумя ударниками.

На ее основе планируются исследования по определению рациональных конструктивных и динамических параметров грохота для классификации различного сырья.

1. Надутый В. П. Определение динамических параметров грохота с виброударным возбуждением просеивающей поверхности / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин, В. П. Краснопер // Науковий вісник: Науч.-техн. журнал НГА Украины. – Днепропетровск. – 1998. – Вып. № 3. – С. 73–75. 2. Надутый В. П. Особенности конструкции и обоснование расчетной схемы грохота с виброударным режимом возбуждения сита / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин, В. П. Краснопер // Тез. докл. Междунар. конф. по динамике и прочности машин. – Тбилиси. – 1999. – С. 72–73. 3. Надутый В. П. Математическое моделирование виброударного движения сита грохота / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин, И. П. Хмеленко // Вібрації в техніці і технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. – 2009. – Вип. 1 (53). – С. 36–39. 4. Надутый В. П. Анализ виброударного движения просеивающей поверхности грохота / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин, И. П. Хмеленко // Вібрації в

техніці і технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. – 2009. – Вип. 2 (54). – С. 69–72.
5. Кобринский А. Е. Виброударные системы (Динамика и устойчивость) / А. Е. Кобринский, А.А. Кобринский. – М.: Наука, 1973. – 592 с. 6. Бабицкий В. И. Теории виброударных систем (приближенные методы) / В. И. Бабицкий. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

УДК 622.74: 621.928.235

В.П. НАДУТЫЙ, П.В. ЛЕВЧЕНКО

Институт геотехнической механики НАН Украины, Днепропетровск

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА ОТ ЕГО КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

© Надутый В.П., Левченко П.В., 2011

*Наведено результати експериментальних досліджень залежності продуктивності
вертикального вібраційного грохота від його конструктивних параметрів.*

*The results of experimental researches of dependence of a vertical vibrating screen productivity on its
constructive characteristics are presented.*

Введение. Сегодня операция вибрационного грохочения минерального сырья широко распространена в горном производстве. В связи с этим современные технологии требуют высокой точности и эффективности классификации горной массы по крупности. Особенно острым этот вопрос является при грохочении материалов тонкой и особо тонкой крупности. Это связано в первую очередь со сложностью выделения требуемого класса в подрешетный продукт, причина которого – как влажность грохотимого материала, так и сложность сегрегации материала из-за наличия “трудных” зерен в сырье. Кроме этого, отсутствует универсальность в диапазоне применения выпускаемых в мире грохотов, при котором можно регулировать как конструктивные, так и режимные параметры машины.

Одним из вариантов решения этой проблемы является разработанный в Институте геотехнической механики НАН Украины вертикальный вибрационный грохот (ВВГ) [1], представленный на рис. 1. Принцип его работы: при работе вибровозбудителей 4 колонна 3 совершает винтовые колебания в своей плоскости, при которых на рабочей поверхности 6 в виде рам (с размерами 0,5x0,8 м) с резонирующим ленточно-струнным ситом (РЛСС) образуется специальный поличастотный режим ее работы. Материал, загруженный в приемный бункер 10, перемещается вниз по просеивающей поверхности в виброкипящем слое до разгрузочной точки 12. Скорость движения материала вниз по рабочему органу можно регулировать, изменяя угол наклона рам в участках пересыпа 7 с одной рамы на другую. По пути материал разделяется на несколько фракций и каждая из них может разгружаться через соответствующие шибберные задвижки 9. Количество разделяемых фракций можно регулировать, уменьшив или увеличив количество рам РЛСС. С целью уменьшения запыленности рабочего помещения грохот имеет герметично закрывающийся кожух 13.

Существенное отличие ВВГ от распространенных в промышленности плоских горизонтальных грохотов с круговыми либо направленными колебаниями рабочего органа заключается в