

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРА ВИБРОУСКОРЕНИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ РАБОЧИМ ОРГАНОМ КЛАССИФИКАТОРА С ВИБРОУДАРНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

В.П. Надутый, Национальный горный университет, Украина

В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Украина

Проблемы, связанные с эффективной классификацией трудногροхотимого минерального сырья, далеки от решения и требуют разработок относительно дальнейшего их теоретического и экспериментального исследования. Общая цель исследования данной статьи состоит в качественной оценке спектра виброускорений, формируемых просеивающей поверхностью классификатора с разнонаправленными виброударными колебаниями. Исследования основаны на применении метода спектрального анализа виброускорений. Полученные результаты могут быть использованы для выбора рациональных параметров воздействия просеивающей поверхности на сыпучий материал.

Проблемы, возникающие при переработке трудногροхотимого минерального сырья, обусловлены реологией связей, возникающих между частицами полидисперсного минерального сырья с повышенной влажностью и липкостью. Как правило, для трудногροхотимого минерального сырья эти связи порождают значительные силы взаимодействия между частицами минерального сырья [1].

Для эффективной классификации по крупности, силы воздействия должны превышать силы связей частиц полидисперсного минерального сырья, но для классификаторов существуют ограничения по уровню сил, реализуемых на их рабочих органах, связанных с конструктивными особенностями этого класса горных машин, такими как пределы прочности металлов, крепежных соединений и другими [2,3,4].

Поэтому, разработка и создание конструкций классификаторов должны включать нестандартные решения, которые бы, во-первых: локализовали возникновение и действие этих сил только на рабочих органах этой машины и, во-вторых: сам рабочий орган, и только он порождал бы эти силы воздействия на обрабатываемый сыпучий материал [1,5,6]. Одно из таких нестандартных решений представлено конструктивом и динамической схемой рабочих органов классификатора в работе [2] и позволяют выполнить перечисленные выше требования. В этой работе описана динамика рабочего органа. Совокупность же параллельно расположенных таких рабочих органов образует просеивающую поверхность классификатора, например валкового.

Каждый рабочий орган этого классификатора функционирует за счет энергии исходных гармонических колебаний дебалансного вибровозбудителя, как нелинейный маятник не в колебательном, а во вращательном режиме движения.

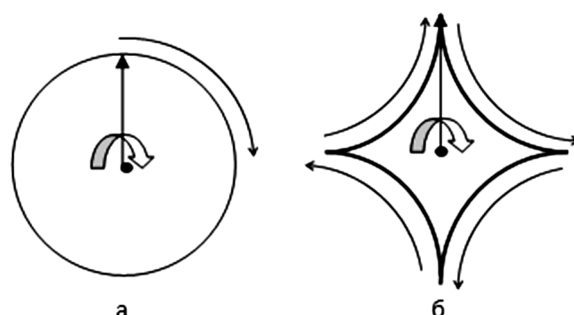


Рис. 1. а) Траектория перемещения дебалансного вибровозбудителя; б) траектория перемещения рабочего органа классификатора

Важно отметить, что траектория движения рабочего органа, изображенная на рис. 1, представляет собой плоскую замкнутую ломаную траекторию с четырьмя точками перегиба. Наличие точек перегиба перемещения рабочего органа свидетельствует о скачкообразном изменении во времени и направлении модуля его ускорения. То есть, по сути, рабочий орган, как элемент просеивающей поверхности классификатора, реализован как преобразователь гармонического колебания в последовательность разнонаправленных виброударных импульсов. Оценку процесса силового воздействия рабочих органов просеивающей поверхности на сыпучий материал удобно ввести по значениям, линейно-зависящих от них виброускорений [7].

В рамках [2] получены зависимости виброускорений развиваемых на рабочих органах классификатора от последовательности разнонаправленных механических импульсов. Аналитический вид этих зависимостей представлен совокупностью сложных тригонометрических зависимостей виброускорений рабочих органов классификатора от времени в полярных координатах. Вектор ускорения точки при задании ее движения в полярных координатах, то есть когда заданы уравнения движения точки в виде: $r = r(t)$, $\varphi = \varphi(t)$, обусловлен векторной суммой радиальной и трансверсальной составляющих этого вектора ускорения и направлен в сторону вогнутости траектории. Радиальная и трансверсальная составляющая ускорения точки могут быть как положительными, так и отрицательными величинами.

Радиальная составляющая вектора виброускорения при следующих назначенных параметрах рабочих органов классификатора имеет вид [2]:

$$\begin{aligned} \bar{a}_r = \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \frac{d^2}{dt^2} \cdot \left(0,005 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \sec(\arccos(\cos 25 \cdot 4t)) - 1 \right) \right) - \\ - 0,005 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \sec(\arccos(\cos 25 \cdot 4t)) - 1 \right) \cdot (2\pi \cdot 25)^2 = \\ = 0,005 \cdot \left(\frac{625 \sin^2(100t) \sec^3 \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right)}{1 - \cos^2(100t)} + \right. \\ \left. + \frac{2500 \cos(100t) \operatorname{tg} \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \sec \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right)}{\sqrt{1 - \cos^2(100t)}} + \right. \\ \left. + \frac{625 \sin^2(100t) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \sec \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right)}{1 - \cos^2(100t)} - \right. \\ \left. - \frac{2500 \sin^2(100t) \cos(100t) \operatorname{tg} \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \sec \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right)}{(1 - \cos^2(100t))^{\frac{3}{2}}} \right) + \\ + 123,371 \cdot \left(\sec \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) - 1 \right) \text{ м/с}^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где угловая частота вращения дебалансной массы вибровозбудителя $\omega = 25 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; амплитуда круговых колебаний входного воздействия $A_{kp} = 0,005$ м; зазор между гранями многоугольников при совпадении их центров $\delta = R_1 - R_2 = 0,005$ м, количество граней внешнего и внутреннего многоугольников $n = 4$.

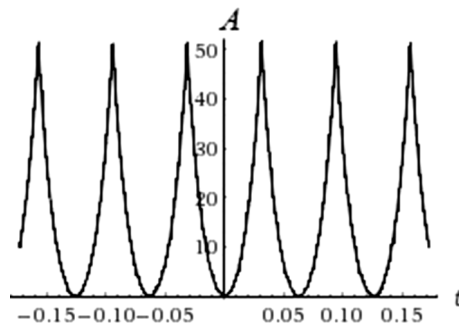


Рис. 2. Радиальная составляющая вектора виброускорения

Трансверсальная составляющая вектора виброускорения при указанных выше параметрах рабочих органов классификатора аналитически представлена как:

$$\begin{aligned}
 \bar{a}_\varphi &= r \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2 \left(\frac{dr}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) = A \\
 &= (0) + \frac{d}{dt} \left(2 \cdot 0,005 \cdot \left(\sec \left(\arccos \frac{1}{4} (\cos(25 \cdot 4t)) \right) - 1 \right) (2\pi \cdot 25) \right) = \\
 &= 39,27 \sqrt{\sin^2(100t)} \operatorname{cosec}(100t) \operatorname{tg} \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \cdot \\
 &\quad \cdot \sec \left(\frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \text{ м/с}^2.
 \end{aligned} \tag{2}$$

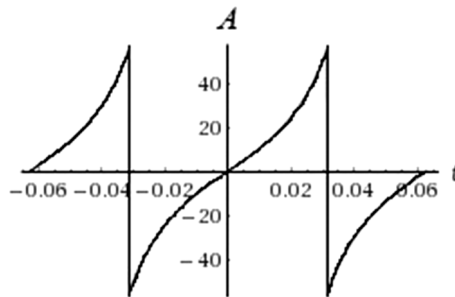


Рис. 3. Трансверсальная составляющая вектора виброускорения

Из приведенных зависимостей (1), (2) видно, что и радиальная, и трансверсальная составляющая вектора виброускорения имеют не моногармоническую зависимость, а состоят из множества гармонических составляющих.

Метод спектрального анализа полученных составляющих виброускорения позволяет из сложных колебаний качественно и количественно выделить и оценить исходные его составляющие, то есть определить, из каких простых колебаний состоит сложное колебание, установить каковы их частоты и интенсивности.

Для анализа спектров виброускорений выполнено быстрое преобразование Фурье (БПФ) радиальной и трансверсальной составляющей вектора виброускорения просеивающей поверхности классификатора с разнонаправленными виброударными колебаниями, формируемых с помощью рассматриваемых рабочих органов. Распределение интенсивности радиальной составляющей вектора виброускорения просеивающей поверхности классификатора по частоте при указанных выше параметрах рабочих органов классификатора представлено на рис. 4.

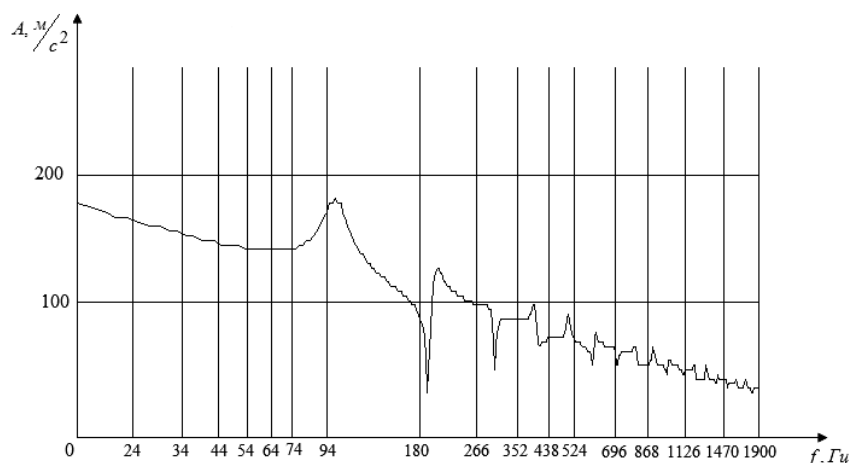


Рис. 4. Спектр радиальной составляющей вектора виброускорения

Спектр трансверсальной составляющей вектора виброускорения при тех же параметрах представлен на рис. 5.

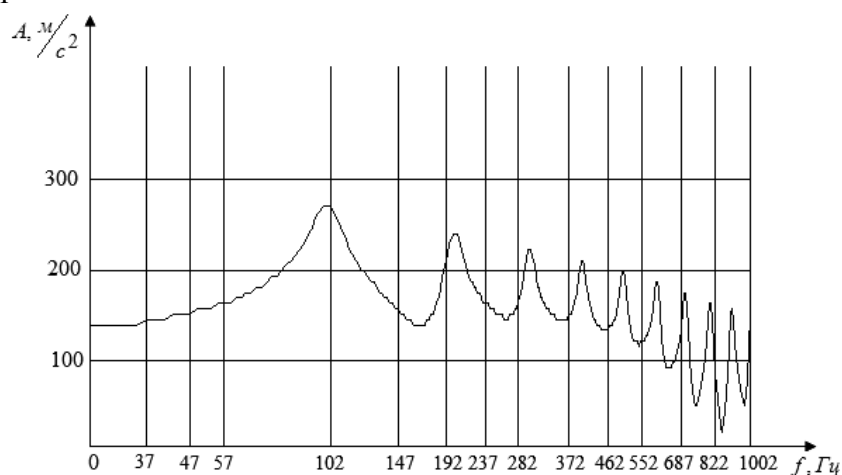


Рис. 5. Спектр трансверсальной составляющей вектора виброускорения

В рамках настоящей работы выполнен также спектральный анализ виброускорений просеивающей, но при других параметрах рабочих органов классификатора. Из представленных на рис. 4 и рис. 5, а также спектров виброускорений при изменении параметров рабочих органов классификатора в некоторых пределах ($\omega = 12.5 - 100 \frac{рад}{с}$, $A_{кр} = 0.001 - 0.01 м$, $\delta = 0.001 - 0.01 м$) очевидно, что:

- интенсивности как радиальной, так и трансверсальной составляющей вектора виброускорения имеют сплошное распределение во всем частотном диапазоне;
- частота первого экстремума интенсивности виброускорений в четыре раза превышает частоту возбуждения классификатора;
- экстремумы интенсивностей виброускорений сосредоточены в областях частот, кратных частоте следования виброударных импульсов;
- ширина распределения спектра виброускорений пропорциональна крутизне передних фронтов формируемых виброударных импульсов.
- радиальность и трансверсальность рассматриваемых разнонаправленных виброударных импульсов порождает не направленное, а пространственно-временное (разнонаправленное) распределение интенсивности спектров виброускорений просеивающей поверхности классификатора.

Выводы.

- Спектральный состав разнонаправленных виброударных импульсов носит непрерывный характер, включает частоты от 0 Гц до бесконечности и имеет пространственно-временное распределение интенсивностей виброускорений.

- Характер интенсивности спектров виброускорений просеивающей поверхности при ее возбуждении последовательностью разнонаправленных виброударных импульсов зависит от частоты вибрационного привода, количества ударных импульсов, их пространственного распределения за один полный оборот вибрационного привода, длительности импульсов и их амплитуд.

- Сказанное позволит увеличить эффективность классификации за счет возможности формирования сложных режимов колебаний просеивающей поверхности с необходимыми, заранее заданными пространственно-временными распределениями интенсивностей спектров виброускорений, в зависимости от режимных и конструктивных параметров описанного в [2] виброударного привода классификатора.

Список литературы

1. Надутый В.П. Вибрационное грохочение горной массы повышенной влажности [Текст] / В.П. Надутый, В.В. Калиниченко // Монография. – Днепропетровск, НГУ.- 2004.- 135 с.
2. Надутый, В. П. Анализ виброускорений рабочих органов грохота от последовательности разнонаправленных механических импульсов [Текст] / В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Харків: НТУ «ХП», 2014.
3. Надутый В.П. Математическое моделирование виброударного движения сита грохота / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, И.П. Хмеленко [Текст] // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2009. – № 1(53).– С. 36-39.
4. Борохович Д. Опыт применения технологии Kroosh для просеивания нерудных сыпучих материалов [Текст] / Д. Борохович, И. Круш, Ю. Ободан // Вібрації в техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2007. – №(48) – С. 61–64.
5. Пат. 379611 US, МПК7 B07B 1/34. Vibratory sifting machine with strikers [Электронный ресурс] / R. Krause; фирма Rhewum. – № 118413; заявл. 24.02.71; опубл. 12.03.74. – Режим доступа: <http://www.google.com/patents>.
6. Пат.20050011 US B01D 37/00.Установка вибрационного механического сита (варианты), используемый в ней четырехходовой пневмораспределитель и способ просеивания шлама (варианты) [Текст] / М. Д. Деррик, Р.Г. Деррик, Д. А. Муни, Н. К. Попеленский; Деррик копэруйшн. – №10/167,995; заявл. 12.06.02; опубл. 21.12.03, Бюл. ЕАПВ №2 – с. 22.
7. Надутый В.П. Модернизация вибрационного валкового классификатора на основе использования виброударного режима [Текст] / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, А.И. Егурнов, И.В. Ягнюкова // Вісник Національного технічного університету «ХП». – Харків, 2013. – Вип. 57. – С. 89-96.