

володіє мінімальними азами комп'ютерної грамотності. Відмінністю її від аналогічних програм є уїдливе і доскональне проходження букви СНиП [2], оскільки вона побудована на базі положень і розрахункових формул.

Запропонована програма може також використовуватися при складанні карт шуму навколо джерела шуму або на території промислових підприємств. На рис. 2 наведені карти шуму, що виникає при роботі дробильно-сортувальних комплексів на Любимівському та Мармуровому кар'єрах. Для зручності сприйняття подано основні точки вимірювання.

Список літератури

1. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К., 1999. – 32 с.
2. СНиП II-12-77. Защита от шума. Нормы проектирования.
3. Снижение шума на промышленных предприятиях / Ленингр. гос. проект. и-т. – М.: Стройиздат, 1971. – 168 с.
4. **Харачих Г.И. Сафонов В.В.** Методы расчета звуковых полей плоских источников на свободной территории. Актуальные проблемы защиты от шума зданий и территории застройки // Материалы науч.-тех. семинара. – Севастополь, 2007. – С. 152–156.

© Сафонов В.В., Абракітов В.Е., Мелашич В.В., Харачих Г.И., 2009

*Надійшла до редколегії 15.02.2009 р.
Рекомендовано до публікації к.т.н. В.В. Гаєвим*

УДК 622.7

С.Л. БУКИН, канд. техн. наук, **С.Г. МАСЛОВ**,
А.П. ЛЮТЫЙ, **Г.Л. РЕЗНИЧЕНКО**

(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВИБРОМАШИН ПУТЕМ РЕАЛИЗАЦИИ БИГАРМОНИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Большинство вибрационных машин разнообразного технологического назначения совершают гармонические колебания, относящиеся к наиболее простому виду периодических колебаний, при которых перемещение изменяется во времени по закону:

$$X(t) = a * \sin(\omega t + \varphi),$$

где a , ω , φ – постоянные параметры, а именно амплитуда вибро-перемещения, угловая частота и начальная фаза соответственно.

Другой вид периодических колебаний – полигармонический, который может быть представлен в виде суммы двух или более гармонических колебаний с разными частотами.

Рассмотрим сложение двух гармонических колебаний $x_1(t) = a_{x_1} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ и $x_2(t) = a_{x_2} \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$ с разными частотами ω_1 и ω_2 :

$$x(t) = a_{x_1} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + a_{x_2} \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \quad (1)$$

Тогда

$$\ddot{x}(t) = -a_{\ddot{x}_1} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1) - a_{\ddot{x}_2} \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2),$$

где $a_{\ddot{x}_1} = a_{x_1} \cdot \omega_1^2$ и $a_{\ddot{x}_2} = a_{x_2} \cdot \omega_2^2$ – амплитуды виброускорений; a_{x_1} и a_{x_2} – амплитуды виброперемещений; φ_1 и φ_2 – начальные фазы.

Известно, что если частоты ω_1 и ω_2 близки друг к другу, то в результате такого сложения получаем биения, при которых размах суммарных колебаний медленно меняется с частотой $|\omega_2 - \omega_1|$ и периодом $T = 2\pi/|\omega_2 - \omega_1|$ между минимальным и максимальным значениями. Минимальный размах, равный нулю, соответствует случаю $a_{x_1} = a_{x_2}$.

Во всех других случаях колебательный процесс может быть периодическим, когда отношение частот ω_2/ω_1 есть рациональное число, или почти периодическим (квазипериодическим), когда отношение частот не является рациональным числом. Период периодических колебаний (1) при $\omega_1 = m \cdot \omega$ и $\omega_2 = n \cdot \omega$, где m и n – целые числа, причем m/n – несократимая дробь, равен $2\pi/\omega$.

Вид колебаний и параметры процесса зависят не только от соотношений между частотами $h = \omega_2/\omega_1$ и амплитудами колебаний $k = a_1/a_2$, а также от фазовых соотношений (φ_1 , φ_2).

Таким образом, изменяя амплитуды виброперемещений, частоты и фазы составляющих гармоник, можно регулировать амплитуду виброускорения в широком диапазоне, что целесообразно использоваться в современных вибромашинах для интенсификации технологических процессов.

Рассмотрим примеры использования бигармонических режимов работы в

конструкциях вибрационных машин.



Рис. 1. Грохот типа DF фирмы "Rhewum" (ФРГ)

К таким машинам следует, прежде всего, отнести бигармонический вибро-грохот типа DF фирмы "Rhewum" (ФРГ) [1, 2]. Грохот типа DF (рис. 1) представляет собой одномассовую колебательную систему с двумя дебалансными вибровозбудителями. Последние установлены на коробе в загрузочной и разгрузочной зонах и обеспечивают колебания низкой частоты и большей амплитуды сита в зоне загрузки и высокой частоты и меньшей амплитуды в зоне разгрузки, причем соотношение частот колебаний составляет 1:2, а амплитуд – 3:1. Благодаря такому расположению вибровозбудителей по длине сита генерируются колебания с различной амплитудой и частотой. Это значит, что на верхнем участке грохота происходит интенсивное разрыхление и классификация материала, а на нижнем – окончательная доводка продукта. Реверсирование вибро-возбудителей расширяет возможности грохота, т.к. от направления их вращения зависят параметры траекторий точек вдоль сита, а также скорость движения материала по ситу грохота.

Грохоты DF выпускаются нескольких типоразмеров, в вариантах от одного до шести сит, с кожухом, в открытом или газо-герметичном исполнении. По данным фирмы-изготовителя, грохоты имеют высокую удельную производительность и применяются при грохочении песка, гравия, цемента, удобрений, гипса и других сыпучих материалов. Хорошие результаты получены при разделении влажных материалов, возможно использование этих грохотов при мокром грохочении.

На основе грохота типа DF создан грохот для мокрого просеивания DFN (рис. 2), предназначенный для решения задач дешламации. Для этой цели сито DFN имеет четыре дополнительных кармана, где надрешетный материал вновь перемешивается с водой.

Развитием конструкции грохота DF с двумя дебалансными

Підготовчі процеси збагачення

вибровозбудителями послужили разработки бигармонических грохотов с одним дебалансным вибровозбудителем (для создания возбуждающей силы низкой частоты) и электромагнитными высокочастотными или дебалансными вибровозбудителями.



Рис. 2. Грохот для мокрого просеивания DFN

Грохоты типа VFT [3] разработаны и освоены в производстве Пршеровским машиностроительным заводом (Чехия) в середине 80-х годов. Эти грохоты очень близки по идее к грохотам DF и по данным завода-изготовителя отличаются хорошими технологическими показателями.

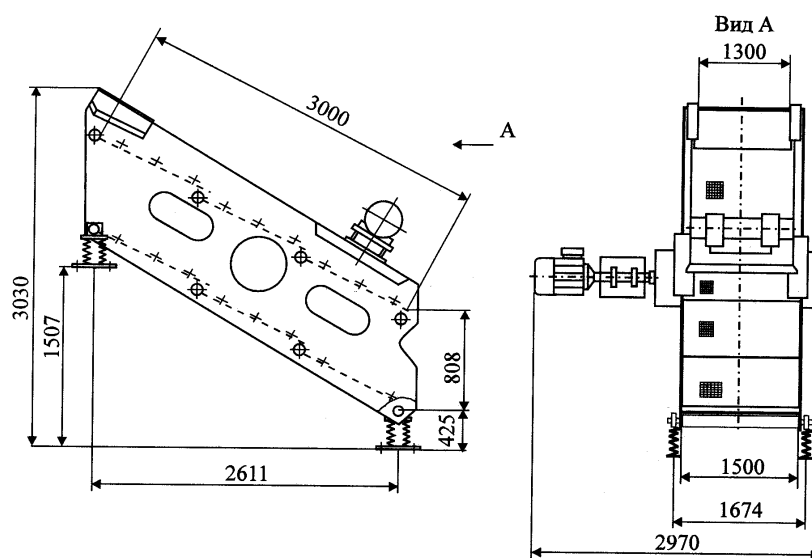


Рис. 3. Виброгрохот VFT

Грохот VFT (рис. 3) приводится в действие от двух вибровозбудителей. Один возбудитель (неуравновешенный вал) установлен в области центра тяжести грохота и приводится в действие от электродвигателя с помощью упругой муфты. Второй возбудитель состоит из мотор-вибратора, закрепленного на сварной балке в верхней части корпуса ближе к области разгрузки материала.

Угол наклона грохота и амплитуда колебаний обоих вибровозбудителей можно изменять, что дает возможность приспособлять грохот к конкретным условиям и настраивать его на оптимальные режимы. Можно также изменять направление вращения вибровозбудителей, в результате чего изменяется характер движения корпуса. Так, при одинаковом направлении вращения обоих возбудителей, характерная форма траектории точек корпуса – треугольник, при противоположном – кардиола. Причем в обоих случаях эти фигуры меняют положение (медленно поворачиваются). Этот эффект улучшает процесс сортирования, способствует самоочистке сита и предотвращает залипание ячеек. Конструкция грохота позволяет также работать лишь с одним возбудителем колебаний (расположенным в центре тяжести) при временном улучшении грохотимости перерабатываемого материала. В этом случае верхний вибровозбудитель используется для кратковременной очистки просеивающей поверхности.

Проведенные испытания грохотов VFT показали, что их применение представляют собой качественный скачок по сравнению с рассевом на грохотах с круговыми и направленными колебаниями, на которых часто залипала поверхность сита, что снижало качество разделения.

ДонНТУ совместно с институтом ДонНИГРИ разработана конструкция принципиально нового трехмассового инерционного вибрационного грохота с интенсивным бигармоническим режимом нижнего сита [4].

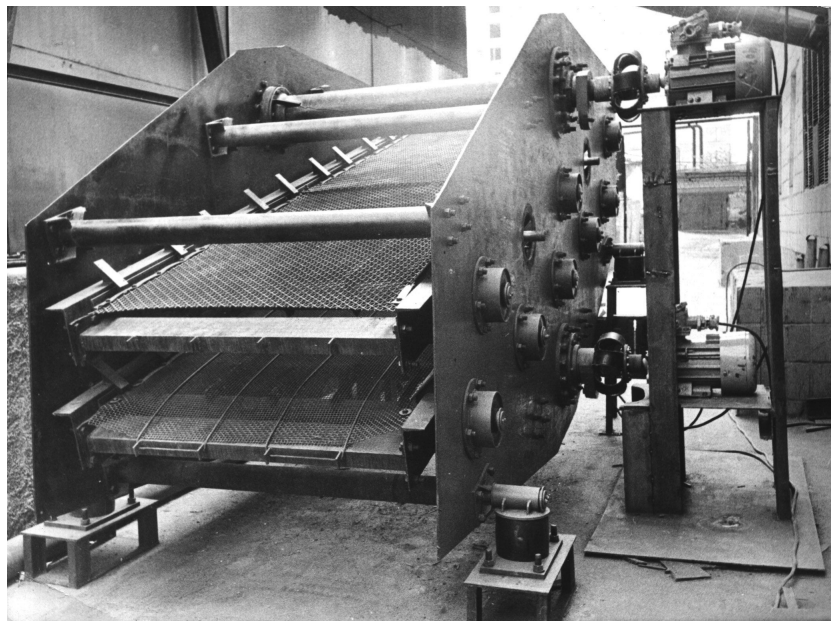


Рис. 4. Виброгрохот ГИЛ-42АБ

Вибрационный грохот (рис. 4) состоит из корпуса, снабженного верхней и нижней ситовыми рамками, на которых закреплены просеивающие поверхности; двух дебалансных возбуждателей колебаний, подшипники которых жестко закреплены на боковинах корпуса. Ситовые рамки соединены с корпусом посредством упругих элементов, который устанавливается на фундамент при помощи виброизоляторов. Жесткость упругих элементов должна быть выбрана такой, чтобы собственная частота колебаний верхней ситовой рамки относительно корпуса была больше частоты вращения верхнего вибровозбудителя на 10...15%.

При соблюдении указанных соотношений верхняя ситовая рамка совершает колебания близкие к гармоническим, а нижняя ситовая рамка – бигармонические колебания. Близкие к гармоническим колебания верхней ситовой рамки позволяют эффективно разделять крупно-средние сорта сыпучих материалов. Бигармонический режим колебаний нижней ситовой рамки эффективен для классификации мелких трудногрохотимых материалов.

Асимметрия инерционных воздействий способствует отрыву налипших частиц от просеивающей поверхности даже при высокой влажности и липкости сыпучих материалов. Это способствует очистке просеивающей поверхности, улучшает условия прохождения частиц сквозь ее ячейки, повышает эффективность и производительность процесса грохочения. Технологические показатели улучшает и рациональная ориентация траекторий по длине ситовых рамок.

Технологические испытания грохота ГИЛ-42АБ, проведенные в условиях

Підготовчі процеси збагачення

Новотроицкой и Балаклавской ДОФ, показали высокую производительность и эффективность грохочения влажного известняка по крупности 5 мм [5].



Рис. 5. "Идеальный Грохот™"

В последние годы компания "Круш Технолоджиз Лтд." усиленно рекламирует уникальную (по их мнению) разработку — многочастотный грохот, названный очень просто и скромно "Идеальный Грохот™" ("Ultimate Screener™") [6, 7]. Из рекламы данного грохота (рис. 5) следует, что он позволяет значительно расширить возможности применения вибрационной технологии. "Идеальный грохот" работает в параметрическом резонансе, при котором гармонические колебания корпуса преобразуются в многочастотные с пиками ускорений до 1200 g. Эти колебания равномерно распределяются по поверхности сетки, причем ускорения корпуса не выше, а в некоторых случаях ниже (менее 2,5 g), чем в существующих грохотах, что приводит к снижению энергозатрат и повышению надежности и долговечности грохота.

Многочастотные "Идеальные грохоты" (цитируем рекламный сайт) могут успешно заменять такие устройства, как центрифуги, гидроциклоны, спиральные разделители, измельчители и др. В некоторых случаях они могут решать уникальные задачи, например, избирательное измельчение материала до заданной крупности.

Однако принципы работы "Идеального грохота", столь тщательно скрываемые авторами (достаточно ознакомиться с патентом на изобретение), не столь оригинальны. Наряду с несомненными преимуществами рассматриваемого грохота они имеют такие существенные недостатки как

сложность конструкций машин, ограниченность типоразмерного ряда небольшими по площади образцами, высокую стоимость.

В этой связи в результате анализа современных конструкций вибрационных грохотов с высокоинтенсивным динамическим режимом работы авторами данной статьи предложена принципиально новая конструкция вибрационного бигармонического грохота [8]. В основу грохота положен принцип суперпозиции первой гармоники (низкой частоты) и второй гармоники (высокой частоты) при условии, что низкочастотная возбуждающая сила направленного действия расположена под постоянным углом 45° к горизонту, а положение высокочастотной возбуждающей силы, также направленного действия, может регулироваться в широком диапазоне (от -90 до $+90^\circ$). Этот режим позволяет создать оптимальное сочетание направлений высоко- и низкочастотной составляющих возбуждающих сил для условий транспортирования и условий грохочения. Грохот предельно прост, соответственно надежен, частоты вращения высокочастотного вибровозбудителя (до 3000 мин^{-1}) и низкочастотного вибровозбудителя (до 1500 мин^{-1}) в сочетании с соответствующими статическими моментами масс дебалансов обеспечивают очень высокий динамический режим. В настоящее время разработана конструкторская документация на экспериментальный образец грохота. Эти грохоты предполагаются использовать для мокрого и сухого грохочения тонких полезных ископаемых (по граничной крупности $0,1 \dots 0,25 \text{ мм}$) и первой стадии обезвоживания шламов.

Преимущества вибрационного воздействия негармонического характера были установлены не только для классификации сыпучих материалов по крупности, но и для многих других технологических процессов. Все большее распространение получают би- и полигармонические колебания при обогащении полезных ископаемых, особенно мелкозернистых.

В институте "Гипромашуглеобогащение" (г. Луганск) проведены исследования по применению бигармонических колебаний на процесс отсадки, при которых на основную частоту пульсаций рабочей жидкости в отсадочной машине накладывается колебания дополнительной частоты. В лабораторных условиях было получено увеличение содержания марганца в концентрате для мелких классов марганцевой руды. В промышленных условиях были произведены испытания опытного образца отсадочной машины MO212 в ПО "Якуталмаз". На крупности исходного материала – 5 мм получено увеличение извлечения тяжелой фракции на несколько процентов [9].

Западногерманские фирмы KRUPP POLYSTUS и Kortix Consulting разработали отсадочную машину для обогащения шламов класса $1,1\text{-}3 \text{ мм}$. Особенностью ее является принципиально новый цикл отсадки – разделительная среда пульсирует в машине с двойной частотой: $15\text{...}30$ (основная частота) и $75\text{...}100$ (дополнительная частота) пульсаций в минуту. По

данным исследований при наложении пульсаций происходит точное расслоение исходного материала даже самых мелких зерен. Оптимальным соотношением частот является 1:4 [10].

Исследования концентрационного стола для обогащения мелких углей привели к выводу о целесообразности наложения на основное колебательное движение деки высокочастотных колебаний в направлении, перпендикулярном ее плоскости [11]. В результате существенно возросли технологические показатели процесса разделения. В конструкции концентрационного стола для обогащения лома цветных и драгоценных металлов [12] также успешно использовался бигармонический режим работы.

Имеется положительный опыт эксплуатации вибромашин с бигармоническим режимом работы для транспортирования, дробления и измельчения полезных ископаемых, для уплотнения бетонных смесей и несвязанных грунтов.

Исследования вибрационного транспортирования липких, влажных и намерзающих грузов показали эффективность применения асимметричных (в частности, бигармонических) колебаний грузонесущего органа [13, 14].

При уплотнении бетонных смесей и формовании изделий применение двухчастотной и многочастотной вибрации более эффективно, чем одночастотной [15]. Благоприятное влияние таких колебаний на эти процессы объясняется следующими причинами: более равномерным распределением амплитуд вибрации в слое бетонной смеси; различием частот вибрации, при которых происходит существенное снижение вязкости формируемой смеси, разжижение цементного теста и возникновение текучего состояния скелета бетонной смеси; возможностью получения довольно больших пиковых значений ускорения при сравнительно небольших размахах колебаний, значительным снижением энергии воздействия за счет использования эффекта резонирования структурных элементов смеси. Нестационарные поличастотные асимметричные динамические режимы нагружения являются наиболее рациональными режимами формовки, показавшими свою эффективность при использовании как литых, так и жестких смесей [16].

Эффективны бигармонические вибрации и при уплотнении несвязных грунтов и гравийно-щебеночных дорожных оснований. Специалисты Кременчугского филиала Харьковского политехнического университета разработали виброплиту у которой передняя кромка совершает колебания с вдвое меньшей частотой, чем задняя [17].

Выводы. Применение бигармонических колебаний в вибрационных машинах позволяют существенно интенсифицировать технологические процессы разделения, сепарации, измельчения, уплотнения разнообразных материалов, особенно тонко- и мелкозернистых. Развитие вибромашин нового поколения целесообразно осуществлять путем реализации в них

полигармонических законов колебаний.

Список литературы

1. Патент ФРГ №2112577, В07В 1/30. Siebmaschine / **Krause R, Erlenstädt G.** – Р 2112577424; Заявл. 16.03.71; Опубл. 26.04.74. – 5 с.
2. **Erlenstädt G.** Die DF-Siebmaschine // Aufbereitungs-Technik. – 1972. – V.13. – №7. – S. 432–434.
3. **Старек С., Шмеглик Й., Турек О.** Новое поколение вибрационных грохотов серии VFT // Чехословацкая тяжелая промышленность. – 1987. – № 11. – С. 26–28.
4. А.с. СССР №1405888, В07В 1/40. Вибрационный грохот / **Н.В.Сухин, С.Л.Букин, Н.Н.Соломичев, О.С.Лавриненко, С.В.Швец.** Заявлено 02.07.87; опубл. 30.06.88, Бюл. № 24. – 4 с.
5. **Соломичев Н.Н.** Исследование динамики и выбор параметров бигармонического антирезонансного виброгрохота для классификации трудногрохотимых материалов // Тезисы докл. XIV Всесоюз. конф. молодых ученых и спец. – М.: ИОТТ. – 1988. – С. 15.
6. Материалы сайта <http://www.new-technologies.spb.ru/kroosh/model.htm>
7. Материалы сайта <http://www.nkd.ru/main.html>
8. Патент Украины на изобретение №86276., В07В1/40. Инерционный грохот/ **С.Л.Букин, С.Г.Маслов, А.П.Лютый.** Заявлено 27.04.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. №7.-4 с.
9. **Савельев Г.Е., Руль А.С.** Новые отсадочные машины с применением наложенных колебаний. // В кн.: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Создание методов и средств, снижающих потери горючей массы с отходами углеобогащения". – М.: ИОТТ, 1988. – С. 17–18.
10. **Король А.А.** Современное зарубежное углеобогащающее оборудование. – М.: ЦНИИЭИУголь, 1985. – 38 с.
11. **Акопов М.Г., Благов И.С., Бунин Г.М.** Гравитационные и специальные методы обогащения мелких классов углей. – М.: Недра, 1975. – 248 с.
12. **Букин С.Л., Корчевский А.Н., Золотухин В.А., Бредихин В.Н., Самсонов А.И.** Опыт обогащения лома цветных и драгоценных металлов на концентрационном столе с бигармоническим вибратором // Материалы V межд. научно-техн. конф. "Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века". – Севастополь.– 1998. – С. 124–127.
13. **Гончаревич И.Ф., Фролов К.В.** Теория вибрационной техники и технологии. – М.: Наука, 1981. – 318 с.
14. **Топешашвили Т.А.** Исследование возможности применения и установления оптимальных параметров вибрационных машин при доставке влажной и липкой руды: Автореф. дис.... канд. техн. наук: 172 / Грузинск. политех. ин-т. – Тбилиси, 1969. – 22 с.
15. **Бауман В.А., Быховский И.И.** Вибрационные машины и процессы в строительстве. – М.: Высшая школа, 1977. – 255 с.
16. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей / **Б.В.Гусев, А.Д.Деминов, Б.И.Крюков и др.** – М.: Стройиздат, 1982. – 152 с.
17. О вибрации. – М.: Знание, 1983. – 64 с.

© Букин С.Л., Маслов С.Г., Лютый А.П., Резниченко Г.Л. 2009

*Надійшла до редколегії 12.04.2009 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Е.И.Назимко*