

Горбань М.Н.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ИНЕРЦИОННОГО ГРОХОТА

Постановка вопроса. Статья раскрывает результаты исследований, направленных на совершенствование конструкций и методик расчёта инерционных грохотов. Исследование процессов грохочения в технологиях, связанных с разделением на фракции сыпучих материалов, остаётся актуальной проблемой [1-10]. При приготовлении бетонных, растворных и сухих строительных смесей в качестве одного из основных компонентов используется песок [4-6]. К его качественным показателям, таким как фракционный состав, модуль крупности и наличие примесей, предъявляют повышенные требования [5].

Разделение сыпучих материалов по крупности на фракции, как правило, производится с использованием инерционных грохотов [1-7].

На кафедре механизации строительных процессов ХНУСА разработана и исследуется конструкция инерционного грохота с двухчастотным приводом (патент Украины №104973) производительностью от 3 до 10 м³/ч в зависимости от разделения сыпучих материалов на фракции. В представленной конструкции (рис. 1) инерционный грохот используется для сортировки песка с модулем крупности 2,5 мм с комплектом сит 0,63...2,5 мм.

При конструировании грохотов следует обратить внимание на выбор отверстий сит для выделения требуемых фракций материала [1-4, 7]. Чтобы материал проходил через отверстия сит, он должен иметь размеры частиц, не превышающие размеры отверстий; перемещаться по сити со скоростью, учитывающей угол наклона и параметры вибрации. Средняя скорость транспортирования является одним из основных параметров, определяющих эффект сепарирования. Она зависит от ряда факторов [2, 3, 7]:

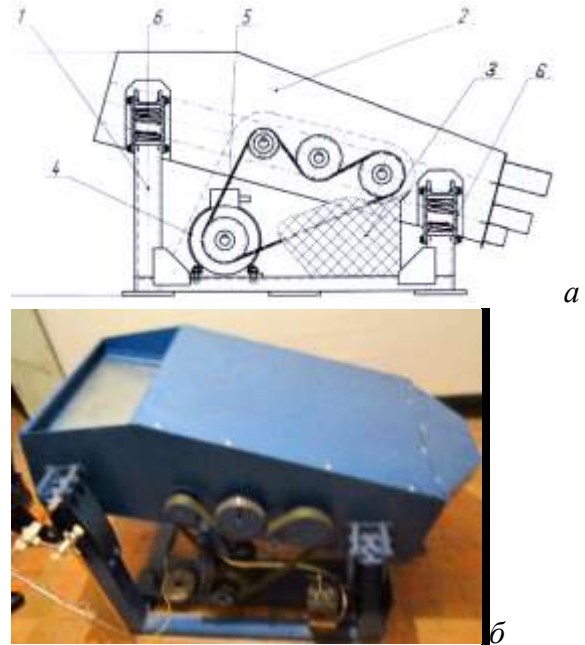


Рис. 1. Конструктивная схема (а) и фото (б) инерционного грохота с двухчастотным приводом:
 1 – станина; 2 –короб; 3 – кожух; 4 –двигатель; 5 – зубчато-ременной привод; 6 – амортизаторы

$$V_{cp} = f(\omega, A, \alpha, \beta), \tag{1}$$

где ω - угловая частота колебаний; A - амплитуда колебаний; α - угол наклона сита к горизонту; β - угол направления вибрации.

Основные принципы решения таких задач, как разделение сыпучих материалов по фракционному составу с применением инерционных грохотов, широко представлены в литературе [1-3].

Поиск научно обоснованных режимов вибрационного разделения сыпучих материалов по крупности на инерционных грохотах базируется на результатах аналитических и экспериментальных исследований динамики сит, условий прохождения частиц материала сквозь ячейки, их очистки от застрявших частиц и т. п.

Актуальными остаются вопросы повышения эффективности инерционных

грохотов за счет совершенствования приводов, генерирующих комбинированные режимы вибрации [7-10].

Анализ последних исследований.

Целью аналитических исследований является совершенствование методик расчёта параметров инерционных грохотов, обеспечивающих рациональные рабочие режимы разделения сыпучих материалов по крупности. С использованием положений теории [1-3] в статье [7] требуемая амплитуда колебаний инерционного грохота представлена в виде:

$$A = \frac{0.75\sqrt{gd_s}}{\left[\cos \beta_s - \frac{1+R}{1-R} \cdot \frac{2-\lambda}{\lambda} \cdot \sin \beta_s \cdot \operatorname{tg} \alpha \right] \cdot \omega} \quad (2)$$

где ω – угловая частота колебаний сита грохота; d_s – диаметр частиц материала; α – угол наклона сита к горизонту; β_s – угол направления вибрационного действия; R_d – коэффициент восстановления нормальной скорости частиц при ударе; λ – коэффициент мгновенного трения.

Масса вибрирующих частей системы с учётом мгновенной массы материала в коробе определяется по зависимости [7]:

$$M_{вч} = (Q_0 - 0,5Q_L) \cdot \frac{L_C}{V_{cp}} + M_{зрч} \quad (3)$$

где Q_0 – массовая производительность по исходному материалу; Q_L – массовая производительность по проходу на длине сита короба; V_{cp} – средняя скорость по сечению потока; L_C – длина сита; $M_{зрч}$ – масса вибрирующих частей грохота.

При изменении параметров вибрационной системы грохота можно получать рациональные режимы его работы. В научно-технической литературе приведены сведения о применении бигармонических [8] и поличастотных [9] режимов с целью интенсификации процесса классификации зернистых материалов, а в статье [10] показана перспективность разработок новых конструкций виброгрохотов с двухчастотным зубчато-ременным приводом.

Цель и задачи. Целью исследования является научное обоснование методики

расчёта параметров инерционного грохота с двухчастотным приводом.

В задачи исследования входят:

- построение математической модели инерционного грохота с двухчастотным зубчато-ременным приводом;
- разработка испытательного стенда и программно-аппаратного комплекса для измерения динамических параметров вибросистемы грохота;
- экспериментальная проверка правильности теоретических положений, полученных при математическом моделировании динамики инерционного грохота с двухчастотным приводом;
- проведение факторного эксперимента по определению удельной производительности новой конструкции инерционного грохота с двухчастотным приводом в зависимости от параметров, определяющих процесс грохочения.

Результаты исследования. Расчётная схема инерционного грохота с двухчастотным зубчато-ременным приводом по патенту №104973 представлена на рис. 2.

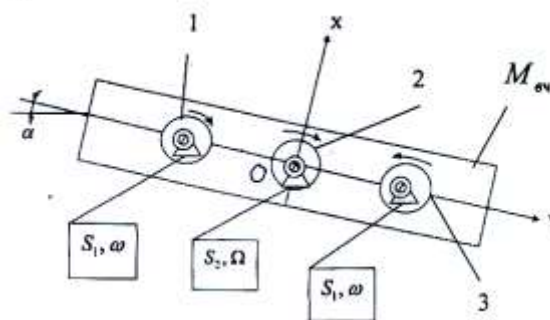


Рис. 2. Расчётная схема инерционного грохота с двухчастотным приводом

Разработана математическая модель инерционного грохота с двухчастотным приводом. Введены обозначения (рис. 2): $M_{вч}$ – масса вибрирующих частей грохота, определяемая с учетом зависимостей (1), (2) и (3); ω – низкая угловая скорость вращения навстречу друг другу крайних шкивов (1 и 3) с валами и дебалансами, имеющими статический момент массы S_1 ; Ω – высокая угловая скорость вращения центрального шкива (2) с дебалансом со стати-

ческим моментом массы S_2 ; α – угол наклона сита к горизонту; c_x, c_y – коэффициенты жёсткости по осям X, Y, характеризующие проекции равнодействующей упругих сил; b_x, b_y – коэффициенты сопротивления, характеризующие проекции равнодействующей диссипативных сил.

Рассматриваем движение рабочего органа (короба с ситами) в системе координат XOY, повернутой на угол α по часовой стрелке.

Дифференциальные уравнения движения системы по осям X и Y для варианта компоновки зубчато-ременного привода инерционного грохота с размещением среднего вала таким образом, что ось вращения проходит через центр масс системы, записано в виде (4):

$$\begin{aligned} \ddot{x} + 2h_1\dot{x} + \omega_{01}^2x &= \\ &= \frac{2S_1\omega^2}{M_{вч}} \cos \omega t + \frac{S_2\Omega^2}{M_{вч}} \cos \Omega t; \\ \ddot{y} + 2h_2\dot{y} + \omega_{02}^2y &= \frac{S_2\Omega^2}{M_{вч}} \sin \Omega t, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{b_x}{2M_{вч}}; & \omega_{01}^2 &= \frac{c_x}{M_{вч}}; \\ \text{где} & & & \\ h_2 &= \frac{b_y}{2M_{вч}}; & \omega_{02}^2 &= \frac{c_y}{M_{вч}}. \end{aligned}$$

Частное решение системы уравнений (4) представлено в виде:

$$\begin{aligned} x &= A \cos(\omega t - \varphi) + B \cos(\Omega t - \psi); \\ y &= D \sin(\Omega t - \xi), \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} A &= \frac{2S_1\omega^2/c_x}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{01}}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{2h_1\omega}{\omega_{01}^2}\right]^2}}; \\ B &= \frac{S_2\Omega^2/c_x}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_{01}}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{2h_1\Omega}{\omega_{01}^2}\right]^2}}; \end{aligned}$$

$$D = \frac{S_2\Omega^2/c_y}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_{02}}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{2h_2\Omega}{\omega_{02}^2}\right]^2}};$$

$$\varphi = \text{arctg} \frac{\left[\frac{2h_1\omega}{\omega_{01}^2}\right]}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{01}}\right)^2\right]};$$

$$\psi = \text{arctg} \frac{\left[\frac{2h_1\Omega}{\omega_{01}^2}\right]}{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_{01}}\right)^2\right]};$$

$$\xi = \text{arctg} \frac{\left[\frac{2h_2\Omega}{\omega_{02}^2}\right]}{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_{02}}\right)^2\right]}, \quad (6)$$

где A, B – амплитуды низкочастотной и высокочастотной составляющих двухчастотных колебаний по оси X; D – амплитуда высокочастотной составляющей колебаний по оси Y; φ, ψ – фазы низкочастотной и высокочастотной составляющих колебаний по оси X; ξ – фаза высокочастотной составляющей колебаний по оси Y.

Графические зависимости для вибрационных перемещений и ускорений рабочего органа (рис. 3) получены по (4) и (5) на ПЭВМ при следующих значениях параметров системы:

$$\begin{aligned} S_1 &= 2.15 \text{ кг} \cdot \text{м}; & S_2 &= 3.575 \text{ кг} \cdot \text{м}; \\ M &= 2150 \text{ кг}; & c_x &= 500000 \text{ Н/м}; \\ c_y &= 300000 \text{ Н/м}; & b_x &= b_y = 500 \text{ Н} \cdot \text{с/м}; \\ \omega &= 100 \text{ рад/с}; & \Omega &= 152 \text{ рад/с}. \end{aligned}$$

Анализ результатов аналитического исследования динамики двухчастотного грохота показал, что могут быть получены изменяемые во времени размахи перемещений и ускорений рабочего органа, что способствует повышению интенсивности движения частиц разных размеров при

проходженні їх через отверстія сит. Для приведенного прикладу порядок полуразмахов склав: для переміщень 2...4 мм, для ускорень 40...50 м/с².

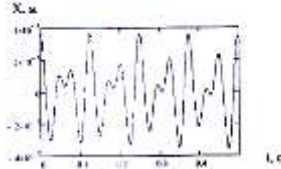
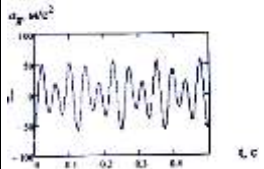
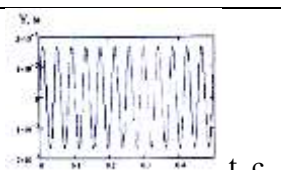

<p>Переміщення двухчастотные</p>  <p>Зависимость перемещения рабочего органа (короба) по оси X во времени t</p>	<p>Ускорения двухчастотные</p>  <p>Зависимость ускорения рабочего органа (короба) по оси X во времени t</p>
<p>Переміщення одночастотные</p>  <p>Зависимость перемещения рабочего органа (короба) по оси Y во времени t</p>	<p>Ускорения одночастотные</p>  <p>Зависимость ускорения рабочего органа (короба) по оси Y во времени t</p>

Рис. 3. Графические зависимости перемещений и ускорений рабочего органа двухчастотного грохота

Результаты экспериментального исследования зависимости удельной производительности от параметров двухчастотного грохота

При планировании многофакторного эксперимента в качестве изменяемых параметров приняты:

- угла наклона сита α ;
- параметры

$$P_{S1} = \frac{2S_1}{M_{вч}}; \quad P_{S2} = \frac{S_2}{M_{вч}}.$$

Изменяемые параметры записывались в кодированном виде: x_1, x_2, x_3 .

Зависимость удельной производительности двухчастотного грохота (при просеивании гранотсева) аппроксимирована полиномом второй степени. После статистической обработки результатов факторного эксперимента определялась значимость коэффициентов (по критерию

Стьюдента) и проверялась адекватность (по критерию Фишера) полученного уравнения регрессии:

$$q = 584,7 + 129,4x_1 + 228,9x_2 + 58,0x_3 + 130,8x_1^2 + 48,9x_2^2 + 103,8x_3^2 + 36,3x_1x_3. \quad (7)$$

Влияние факторов на удельную производительность двухчастотного грохота по (7) отображено на рис. 4-6.

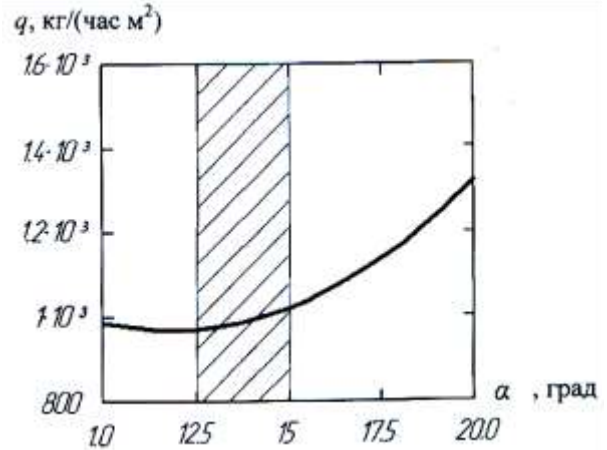


Рис. 4. Зависимость удельной производительности от угла наклона сита при $P_{S1} = 3,0$ мм; $P_{S2} = 1,7$ мм.

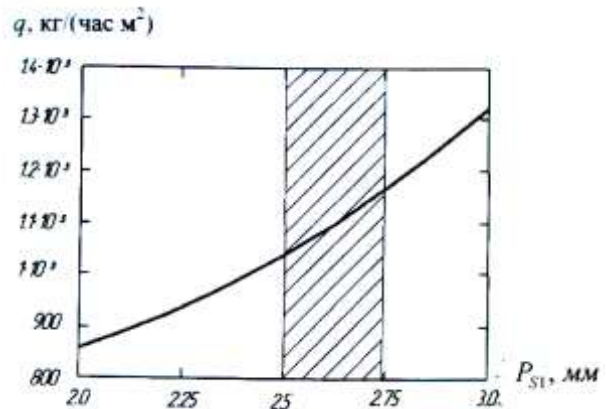


Рис. 5. Зависимость удельной производительности грохота от P_{S1} при $\alpha = 20$ град; $P_{S2} = 1,7$ мм

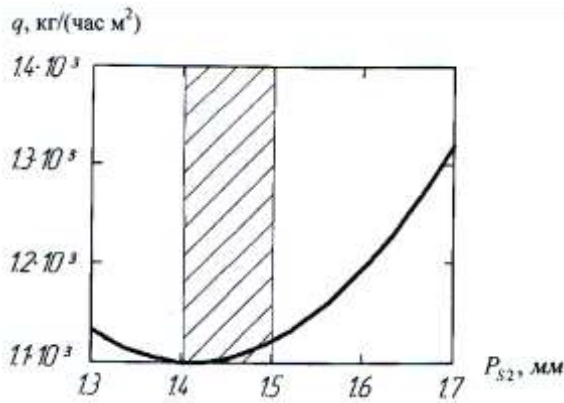


Рис. 6. Зависимость удельной производительности грохота от P_{S2} при $\alpha = 20$ град; $P_{S2} = 3,0$ мм

Анализ показал, что наибольшее влияние на удельную производительность для данного эксперимента имеют угол наклона короба грохота и статические моменты масс дебалансов.

При проведении экспериментальных исследований по определению производительности замерялись параметры вибрации в точке, приближенной к центру масс подвижной системы грохота. Диаграмма ускорения анализировалась с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье с помощью программного пакета LabVIEW 8.6. Получены спектрограммы колебаний рабочего органа (короба), пример для значений кодированных параметров: $x_1 = 0$, $x_2 = 0$, $x_3 = -1,4$ приведен на рис. 7.

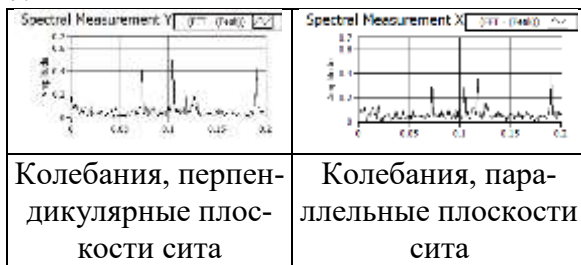


Рис. 7. Спектрограммы колебаний рабочего органа

На спектрограмме рис.7 видны три доминирующие частоты. Частота определяется как $\nu = \frac{n}{N} \cdot F_{semp}$, а отношение $\frac{n}{N}$ определяется по оси абсцисс на графиках Spectral Measurement. По гармоникам получаем:

- первая гармоника $\frac{n}{N} = 0,075$;

$\nu = \frac{n}{N} \cdot F_{semp} = 15 \text{Гц}$; $A=2$ мм;

- вторая гармоника $\frac{n}{N} = 0,011$;

$\nu = \frac{n}{N} \cdot F_{semp} = 21 \text{Гц}$; $A=2,4$ мм;

- третья гармоника $\frac{n}{N} = 0,019$;

$\nu = \frac{n}{N} \cdot F_{semp} = 38 \text{Гц}$; $A=2,1$ мм.

Указанные гармоники соответствуют собственным колебаниям грохота, направленным колебаниям от встречного вращения дебалансов крайних валов и круговым колебаниям, вызванным вращением дебалансов на среднем валу.

На рис. 8 приведены данные, отражающие влияние среднего полуразмаха колебаний на производительность экспериментального грохота. Производительность повышается при возрастании полуразмаха колебаний, что связано с увеличением статического момента дебалансных масс и угла наклона короба грохота.

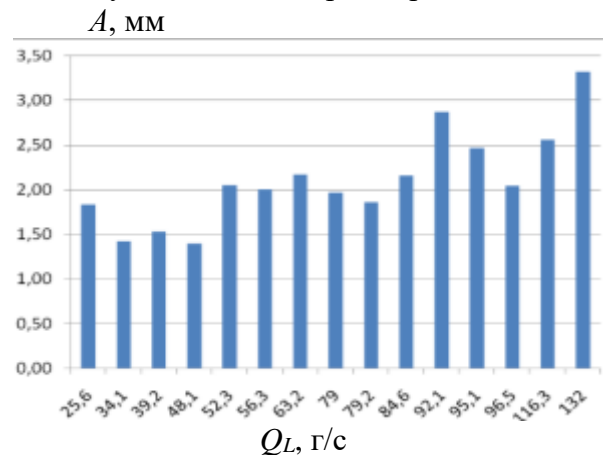


Рис. 8. Зависимость массовой производительности экспериментального грохота от среднего полуразмаха колебаний короба

Выводы

1. Использование инерционного грохота с двухчастотным зубчато-ременным приводом позволяет расширить его технологические возможности в части подбора рациональных режимов вибрационной

классификации сыпучих материалов разной дисперсности.

2. Результаты динамических исследований на вибростенде свидетельствуют о близости значений параметров колебаний на экспериментальных и теоретических виброграммах, что даёт основание рекомендовать полученные при математическом моделировании аналитические зависимости к использованию при составлении алгоритма расчёта новой конструкции инерционного грохота.

3. Результаты факторного эксперимента можно использовать при назначении рациональных диапазонов изменения параметров рабочих режимов двухчастотного грохота.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Блехман И.И. Вибрационное перемещение/ И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
2. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов. Справочник. /Под. ред. В.А. Баумана и др. – М.: Машиностроение, 1970. – 548 с.
3. Вибрации в технике: В 6Т. / Под ред. Э.Э. Лавендела. – М.: Машиностроение, 1981. – Т.4: Вибрационные процессы и машины. – 509 с.
4. Машины для строительного-монтажных работ: Справочник./ Болотских Н.С., Емельянова И.А., Савченко А.Г., и др./ Под ред. Н.С. Болотских. – К.: 1993. – 344 с.
5. Козлов В.В. Сухие строительные смеси: Учебное пособие. – М.: АСВ 2000. – 96 с.
6. Савченко О.Г. Обладнання комплексів для виробництва будівельних дрібно штучних стінових виробів: Навчальний посібник/ О.Г.Савченко – Х.: Тимченко, 2006. – 416 с.
7. Емельяненко Н.Г. Аналитическое исследование процесса виброгрохочения дисперсных материалов/ Н.Г. Емельяненко, Н.Д. Балера, А.Т. Гордиенко, Л.В. Саенко// Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – № 46. – С. 74 – 81.
8. Букин С.А. Стендовые испытания процесса грохочения зернистых материалов в бигармоническом режиме/ С.А. Букин, Н.Н. Соломичев, П.В. Сергеев // Сб. Обогащение полезных ископаемых. – Днепропетровск: вып. 4(45). – 1999. – С. 35-47.
9. Шевченко Г.А. Обоснование параметров колебаний сит поличастотных вибрационных грохотов / Г.А. Шевченко, А.А. Бобылёв, М.А. Ишук // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 5. – С. 64-71.
10. Емельяненко М.Г. Аналіз питань класифікації будівельних пісків на інерційних грохотах/ М.Г. Емельяненко, М.М. Горбань // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. Вип. 73. – С. 619-622.

УДК 693.6.002.5

Попов С.В., Васильєв Є.А., Тобольченко Є.О.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МОБІЛЬНОЇ РОЗЧИНОЗМІШУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ УРЗ-3,8

Постановка проблеми. У наш час неможливо уявити існування будівельного майданчику без машин та обладнання, призначених для механізації ручної праці людини. Останнім часом набувають поширення засоби малої механізації, а саме розчинозмішувальні установки, штукатурні, штукатурно-змішувальні агрегати ма-

шини та станції. Їхнє призначення – приготування, транспортування та нанесення будівельних розчинних сумішей різного складу та рухомості на поверхні будівель та споруд.

Аналіз останніх досліджень і виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Питанню дослідження