

В.П. ФРАНЧУК, д-р техн. наук
(Україна, Днепропетровск, Национальный горный университет),
В.П. НАДУТЫЙ, д-р техн. наук
(Україна, Днепропетровск, ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины)
А.И. ЕГУРНОВ, канд. техн. наук,
(Україна, Днепропетровск, ЗАО "Ана-Темс")

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОЧЕНИЯ С УЧЕТОМ РЕЖИМНЫХ, КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРОХОТА

Вибрационное грохочение сыпучих материалов широко используется в горной, металлургической, строительной промышленности. Разработанные комплексы по переработке сырья требуют выбора рациональных или оптимальных параметров работы каждой единицы оборудования для снижения энергопотребления, повышения качества конечного продукта. Каждая единица оборудования комплекса имеет свои регулируемые параметры. Например, виброгрохот имеет несколько изменяемых параметров: поступающая удельная нагрузка, угол наклона, амплитуда и частота колебаний рабочего органа, размер ячейки сита, грансостав поступающего на грохот сыпучего материала. Поэтому для выбора параметров, автоматизации и анализа работы, дальнейших исследований в составе комплекса возникла необходимость развития модельных представлений работы виброгрохота [1].

Целью представленной работы является модельное представление процесса грохочения с учетом варьирования изменяемыми параметрами для адаптации его в условиях рациональных параметров или в процессе синтеза машин.

Разработка адекватных модельных представлений взаимосвязи режимных, конструктивных и технологических параметров грохота основана на экспериментальных исследованиях и моделировании этих процессов [2, 3]. В данной работе при составлении математических моделей отдельных процессов грохочения использовался статистический метод для получения регрессионных зависимостей между искомым технологическим и варьируемыми параметрами грохота. Следует отметить, что разработанные регрессионные модели обеспечивают необходимую точность, поскольку основаны на экспериментальных данных для установившихся состояний процесса или когда характерное время изменения параметров материальных потоков сыпучей среды было существенно меньше характерного времени изменения регулируемых конструктивных и режимных параметров виброгрохота. При таком моделировании определялись частные коэффициенты корреляции между регулируемыми и регулирующими параметрами процесса, что дает возможность оценивать степень влияния каждого регулирующего воздействия на процесс и выполнять анализ работы машины.

Построению регрессионных уравнений модели работы грохота предшест-

Підготовчі процеси збагачення

увет определение закона распределения грансостава технологической нагрузки грохота, его надрешетного и подрешетного продуктов грохочения. При выборе закона анализировались следующие: равномерный, нормальный, показательный, гамма-распределение, Вейбулла, логнормальный, Лапласа. В качестве критерия правдоподобия законов распределения использовался критерий Пирсона [4]. Модель грохота составлена с учетом закона распределения Вейбулла

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right],$$

где $f(x)$ – функция распределения кускового материала размером x при грохочении; α и β – параметры закона распределения грансостава.

Управляющими параметрами грохота являются: частота колебаний ω , угол наклона α_r , размер ячейки сита грохота δ_r . Выходными параметрами являются: количество подрешетного P_1 и надрешетного S_1 продуктов грохота, математическое ожидание m_{12} и дисперсия σ_{12}^2 размеров кусков выходного потока подрешетного продукта, эффективность грохочения E , закрупление ε_{+1} и замельченность ε_{-1} продуктов грохочения. В результате модель работы грохота может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} S_1 &= a_0 + a_1g + a_2\alpha_1^H + a_3\beta_1^H + a_4\omega + a_5\alpha_r + a_6l + a_7\delta_r; \\ \alpha_2^H &= b_0 + b_1g + b_2\alpha_1^H + b_3\beta_1^H + b_4\omega + b_5\alpha_r + b_6l + b_7\delta_r; \\ \beta_2^H &= c_0 + c_1g + c_2\alpha_1^H + c_3\beta_1^H + c_4\omega + c_5\alpha_r + c_6l + c_7\delta_r; \\ P_1 &= a'_0 + a'_1g + a'_2\alpha_1^H + a'_3\beta_1^H + a'_4\omega + a'_5\alpha_r + a'_6l + a'_7\delta_r; \\ \alpha_2^H &= b'_0 + b'_1g + b'_2\alpha_1^H + b'_3\beta_1^H + b'_4\omega + b'_5\alpha_r + b'_6l + b'_7\delta_r; \\ \beta_2^H &= c'_0 + c'_1g + c'_2\alpha_1^H + c'_3\beta_1^H + c'_4\omega + c'_5\alpha_r + c'_6l + c'_7\delta_r, \end{aligned} \tag{1}$$

где $g = \frac{G}{F}$ – удельная нагрузка на грохот; G и F – технологическая нагрузка на грохот и площадь сита; S_1 и P_1 – количество надрешетного и подрешетного продуктов грохочения; $\alpha_1^H, \beta_1^H, \alpha_1^H, \beta_1^H$ – входные и выходные параметры законов распределения Вейбулла грансоставов надрешетного и подрешетного продуктов; ω – частота колебаний короба грохота; α_r, l, δ_r – соответственно, угол наклона, длина и размер ячейки сита грохота.

Для практического использования модельных представлений грохота его работу можно представить не в виде зависимости количества надрешетного и подрешетного продуктов и параметров законов распределения грансоставов от

различных факторов, а в виде зависимости эффективности E , закрупления ε_{+1} и замельченности ε_{-1} от этих факторов. Тогда общий вид модели грохота имеет вид

$$\begin{aligned} E &= a_0 + a_1g + a_2\omega + a_3\alpha_r + a_4l + a_5\delta_r; \\ \varepsilon_{+1} &= b_0 + b_1g + b_2\omega + b_3\alpha_r + b_4l + b_5\delta_r; \\ \varepsilon_{-1} &= c_0 + c_1g + c_2\omega + c_3\alpha_r + c_4l + c_5\delta_r, \end{aligned} \quad (2)$$

где E – эффективность грохочения; ε_{+1} – закрупление продуктов грохочения; ε_{-1} – замельченность подрешетного продукта.

Количество подрешетного продукта равно:

$$P_1 = \frac{\varepsilon_{+1} \cdot G(100 - \gamma_{21})}{(E + \varepsilon_{+1})\gamma_{21} + (100 - \gamma_{21})\varepsilon_{+1}}.$$

Количество надрешетного продукта равно:

$$S_1 = G - P_1.$$

Входные и выходные параметры законов распределения Вейбулла грансоставов заменяем математическим ожиданием размеров кусков надрешетного продукта m_{22} и дисперсию σ_{22}^2 размеров кусков потока надрешетного продукта

$$m_{22} = \Phi_1 \cdot \frac{\gamma_{22}}{100} + \left(1 - \frac{\gamma_{22}}{100}\right) \Phi_2,$$

где Φ_1 и Φ_2 – средний кусок подрешетного и надрешетного продуктов грохота, соответственно.

Дисперсия размеров кусков надрешетного продукта

$$\sigma_{22}^2 = \frac{\gamma_{22}}{100} (m_{22} - \Phi_1)^2 + \left(1 - \frac{\gamma_{22}}{100}\right) (m_{22} - \Phi_2)^2,$$

где γ_{21} – количество класса контролируемой крупности ($-n$) в исходном продукте, поступающем на грохот, как интегральная оценка закона распределения:

$$\gamma_{21} = 100 \int_0^n \frac{\alpha_2}{\beta_2} \left(\frac{x}{\beta_2}\right)^{\alpha_2-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta_2}\right)^{\alpha_2}\right] dx,$$

Підготовчі процеси збагачення

где γ_{22} – количество готового класса ($-n$) в подрешетном продукте грохота:

$$\gamma_{22} = \frac{100(E + \varepsilon_{+1})\gamma_{21}}{(E + \varepsilon_{+1})\gamma_{21} + (100 - \gamma_{21})\varepsilon_{+1}}.$$

В приведенных выше системах уравнений (1) и (2) коэффициенты a, b, c определяются независимым разовым экспериментом на грохоте. Система уравнений (2) предполагает, что зависимость всех трех показателей грохочения от удельной нагрузки, частоты, угла наклона, длины и размера ячейки сита определена независимыми экспериментами отдельно для каждого фактора. Обоснованность и порядок уравнений регрессии систем (1) и (2) определялись рассчитанными коэффициентами значимости согласно критерию Стьюдента и удовлетворения адекватности уравнения по критерию Фишера.

Предполагается, что для пользования моделью имеется возможность регулировки удельной нагрузки на грохот, предусмотренная в технологической схеме. Частота оборотов привода грохота осуществляется частотным регулятором. Угол наклона грохота в подвесном варианте регулируется длиной подвеса, в опорном – выбирается из соображений рациональной скорости движения материала на сите. Длина сита регулируется на стадии проектирования и принятия решения по торцевой или боковой загрузке грохота или использования последовательной схемы грохочения. Размер ячейки сита связан с заменой сетки грохота, но в свою очередь, он связан с углом наклона грохота.

Таким образом, полученная математическая модель позволяет выполнять анализ процесса вибрационного грохочения и выбирать требуемые технологические показатели, изменяя регулируемые параметры в допустимых пределах.

Список литературы

1. **Надуть В.П.** Повышение показателей схем переработки горной массы на основе вариации параметрами и компьютерного моделирования работы виброгрохота: Геотехническая механика // Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск: Полиграфист, 2001. – Вып. 4. – С. 109-113.
2. **Надуть В.П., Лапшин Е.С., Прокопишин Л.Н.** Экспериментальное исследование влияния режимов виброперемещения сыпучего материала на процесс просеивания // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2001. – Вип. 13(56). – С. 9-16.
3. **Потурав В.Н., Франчук В.П., Надуть В.П.** Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах: Монография. – Днепропетровск: Национальная горная академия Украины, 2002. – 186 с.
4. **Надуть В.П.** Моделирование и средства интенсификации дробильно-сортировочных комплексов: Монография. – Днепропетровск: Национальная горная академия Украины, 2002. – 203 с.

© Франчук В.П., Надуть В.П., Егурнов А.И., 2011

*Надійшла до редколегії 29.04. 2011 р
Рекомендовано до публікації д.т.н. Є.С. Лапшиним*