

УДК 621.928

К расчету скорости движения ансамбля частиц по поверхности вибрационного грохота

М.В. Акулова, В.А. Огурцов, А.В. Огурцов, А.П. Алешина
ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: ogurtzovvavork@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Грохоты, включенные в замкнутые системы измельчения угольных тепловых электростанций, предназначены для отделения на вибрирующем сите крупных частиц угля от мелких. Наиболее информативной характеристикой грохота является кинетика классификации, которая определяет конечный гранулометрический состав продукта отсева. Кинетику грохочения ограничивает время пребывания частиц на поверхности сита, которое рассчитывается через скорость транспортирования сыпучего материала по грохоту. Существующие математические модели, в которых движение сыпучего материала по вибрирующей поверхности сита представляется как движение одиночной частицы, определяют скорость транспортирования сыпучей среды по грохоту не всегда достоверно. Так, при некоторых режимах колебаний сита расхождение между опытными и расчетными значениями скорости движения частиц составляет более 60 %. В связи с этим актуальна разработка модели движения ансамбля частиц по грохоту, позволяющей более точно определять эту скорость для разных режимов колебаний грохота.

Материалы и методы: Модель транспортирования ансамбля частиц по вибрирующей просеивающей поверхности грохота разработана на основе программной системы Autodesk 3ds Max.

Результаты: Предлагается имитационная модель транспортирования ансамбля частиц по вибрирующей просеивающей поверхности грохота. Получено среднее время пребывания частиц на поверхности сита грохотов при различных его размерах и режимах вибрации.

Выводы: Предлагаемая модель процесса транспортирования ансамбля частиц по просеивающей поверхности виброгрохота обладает существенными преимуществами по сравнению с моделью одиночной частицы. Количественные характеристики движения частиц становятся более близкими к реальным экспериментальным результатам.

Ключевые слова: вибрационный грохот, просеивающая поверхность, скорость транспортирования, кинетика классификации, время пребывания, моделирование движения частицы.

On calculation of velocity of particule ensemble motion along a vibration screen surface

M.A. Akulova, V.A. Ogurtzov, A.V. Ogurtzov, A.P. Alyoshina
Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: ogurtzovvavork@mail.ru

Abstract

Background: Vibration screens working in closed grinding circuits of coal power plants are aimed to separate coarse and fine particles on a vibration screen. The most informative characteristic of such screens is the classification kinetics that determines the final particle size distribution in the products. This screening kinetics is limited by the particles residence time on the screen surface, which can be calculated using the velocity of material transportation along the screen. The existing mathematical models, in which this velocity is determined by a single particle motion, representing the motion of a granular material on the screen surface, are not always accurate. In some regimes of the screen oscillation, the difference between the calculated and experimental data can reach more than 60 %. This is why it is an urgent problem to develop models of particle ensemble motion along the screen, which allow a more precise prediction of this velocity for various oscillation regimes.

Materials and methods: The model of particle ensemble transportation along the vibration surface is based on the software Autodesk 3ds Max.

Results: The paper describes a simulation model of particle ensemble transportation along the screen vibration surface. The mean time of particle residence on the screen surface was obtained for various screen sizes and vibration regimes.

Conclusions: The proposed model of particle ensemble transportation along the screen surface has considerable advantages in comparison with the single particle models. The quantitative characteristics of the motion become closer to the real experimental results.

Key words: vibration screen, screening surface, transport velocity, kinetics of classification, residence time, modeling of particle motion.

DOI: 10.17588/2072-2672.2016.2.050-053

Для снижения энергозатрат систем пылеприготовления тепловых электрических

станций, работающих на углях, должен выполняться принцип «не дробить ничего лишнего».

Для этого в замкнутых системах измельчения в мельницу не должны попадать мелкие частицы угля, пригодные для сжигания. Отделение крупных частиц от мелких происходит на ситах виброгрохотов. Исследование кинетики грохочения, т. е. определение зависимости степени извлечения проходных частиц из исходного сырья от производительности грохота, в условиях производства требует больших материальных и трудовых затрат. Однако кинетика определяет конечный гранулометрический состав продуктов отсева. При заданной длине сита время пребывания частиц на нем имеет конкретное значение. Это время ограничивает процесс извлечения мелких частиц из слоя сыпучего материала. Его величина зависит от скорости транспортирования частиц по поверхности грохота [1–4]. Установим некоторые зависимости скорости движения частиц по грохоту от технологических параметров грохочения: амплитуды и частоты колебаний сита, угла его наклона к горизонту.

Многие исследователи, изучающие процесс грохочения, считают, что движение сыпучей среды по вибрирующей плоскости сита можно моделировать как движение одиночной частицы. При этом частицы сыпучей среды представляются либо сферами, либо материальными точками [5–8]. Расчетные параметры движения одиночных частиц по грохоту существенно нелинейны и неустойчивы.

Нами предлагается имитационная модель транспортирования ансамбля частиц по вибрирующей просеивающей поверхности грохота, основанная на программной системе Autodesk 3ds Max. В программе создаем виртуальное пространство, моделируем грохот с просеивающей поверхностью длиной 240 мм и шириной 120 мм, который совершает колебания с заданной амплитудой и частотой. Размеры квадратной ячейки сита – 5 мм, размер проволоки – 1 мм. Создаем виртуальные частицы разных размеров и форм, придавая им физические свойства, аналогичные свойствам реальных частиц (масса, плотность, коэффициенты статического и динамического трения, коэффициенты восстановления удара и др.). Располагаем их над загрузочной частью поверхности сита. Включаем виртуальный процесс движения частиц по ситам (рис. 1).

На дисплее компьютера сыпучий слой движется по вибрирующей поверхности грохота, мелкие частицы проникают через отверстия сита и сыпаются в подситовый поддон, крупные сыпаются в поддон, находящийся за разгрузочной частью просеивающей поверхности.

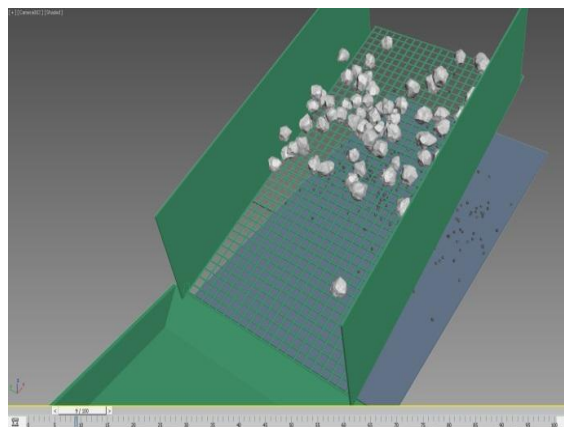


Рис. 1. Движение сыпучего материала по вибрирующей поверхности сита

Программа позволяет отслеживать движение каждой частицы из общего ансамбля частиц. Пометим частицы, размер которых больше размера отверстия сита, и проследим за их движением. На рис. 2 показаны кривые зависимостей координаты x семи из этих частиц от времени, полученные с помощью редактора кривых. Вынесение большего числа кривых на рисунок приведет к его загромождению. По оси абсцисс отложены номера кадров съемки (1 секунда соответствует 25 кадрам), по оси ординат отложены значения координаты x в мм. По каждой кривой можно определить время пребывания частицы на сите и момент времени, когда частица покинет грохот. Результаты обработки данных графиков (половины меченых частиц) позволяют получить распределение времени пребывания «непроходных» частиц на сите. Характеристики распределения времени пребывания частиц в аппарате позволили получить среднее время движения частиц по ситам и среднюю скорость транспортирования ансамбля частиц по просеивающей поверхности виброгрохота.

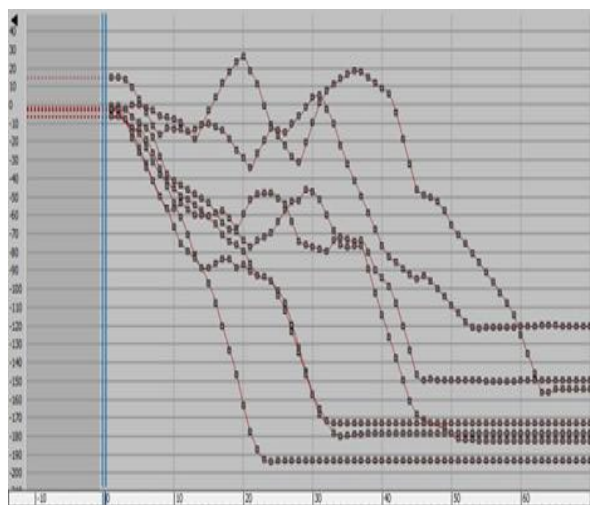


Рис. 2. Графики движение частиц сыпучего материала относительно неподвижной оси x

На рис. 3 представлены результаты расчетов зависимости скорости движения частиц по ситам от амплитуды его колебаний при разных углах наклона просеивающей поверхности к горизонту.

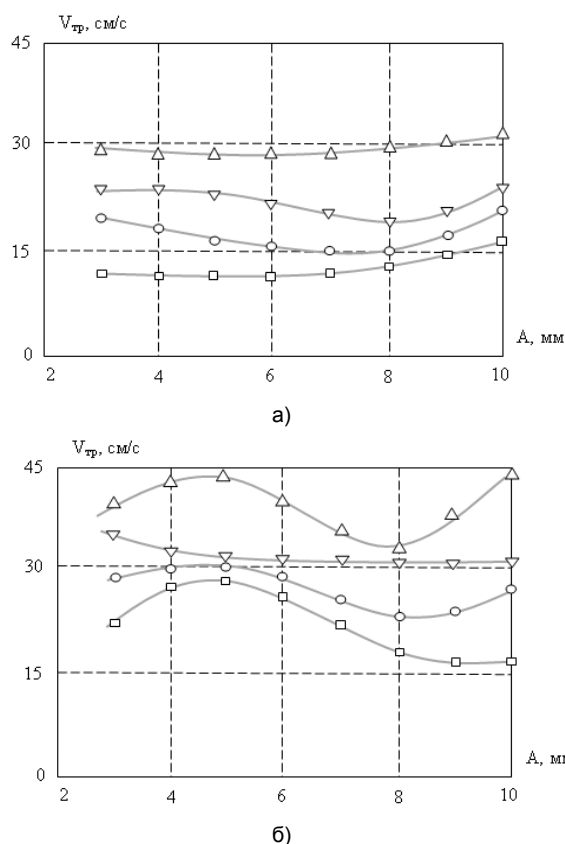


Рис. 3. Зависимость скорости движения частиц по ситам от амплитуды его колебаний: а – частота колебаний сита $78,5 \text{ c}^{-1}$; б – $104,7 \text{ c}^{-1}$, при разных углах наклона: Δ – 26° ; ∇ – 22° ; \circ – 18° ; \square – 14°

На рис. 4 представлены результаты исследования влияния частоты колебаний грохота на среднюю скорость движения частиц по поверхности сита при разных вариантах моделирования процесса вибротранспортирования.

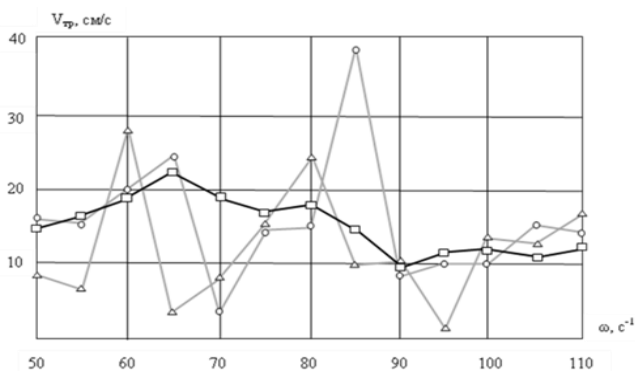


Рис. 4. Зависимость скорости движения частиц по ситам от частоты его колебаний при разных вариантах моделирования процесса транспортирования: \circ – одиночная материальная точка; Δ – одиночный шар; \square – ансамбль частиц

Расхождение результатов расчетов скорости транспортирования для некоторых режимов колебаний грохота при разных вариантах моделирования движения частиц по ситам может достигать до 63 %. При моделировании процесса движением одиночной частицы или шаром скорость транспортирования более чувствительна к изменению режима вибрации сита, чем при моделировании движения ансамбля частиц с помощью программы Autodesk 3ds Max.

Предлагаемая модель процесса транспортирования ансамбля частиц по вибрирующей просеивающей поверхности обладает существенными преимуществами по сравнению с моделью движения одиночной частицы. Количественные характеристики становятся более близкими к реальным экспериментальным результатам.

Список литературы

1. **Техника** и технология обогащения углей / В.В. Беловолов, Ю.Н. Бочков, М.В. Давыдов и др.; под ред. В.А. Чантурия, А.П. Молякко. – М.: Наука, 1995. – 622 с.
2. **Огурцов В.А., Федосов С.В., Мизонов В.Е.** Моделирование кинетики виброгрохочения на основе теории цепей Маркова // Строительные материалы. – 2008. – № 5. – С. 33–35.
3. **Мизонов В.Е.** Оборудование для классификации сыпучих материалов // Машиностроение. Энциклопедия. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12 / под общ. ред. М.Б. Генералова. – М.: Машиностроение, 2004. – С. 160–179.
4. **Моделирование** процесса классификации сыпучих материалов на виброгрохотах с многоярусной компоновкой сит / М.В. Акулова, А.П. Алешина, Ал.В. Огурцов, Ан.В. Огурцов // Вестник МГСУ. – 2013. – №2. – С. 80–87.
5. **Огурцов В.А., Мизонов В.Е., Федосов С.В.** Расчетное исследование движения частиц по поверхности виброгрохота // Строительные материалы. – 2008. – № 6. – С. 74–75.
6. **Вайсберг Л.А.** Проектирование и расчет вибрационных грохотов. – М.: Недра, 1986. – 144 с.
7. **Vaisberg L.A., Rubisov D.N.** Mathematische Beschreibung der Vibrationssiebung // Aufbereitungs Technik. – 1990. – № 3. – S. 378–386.
8. **Вайсберг Л.А., Рубисов Д.Г.** Вибрационное грохочение сыпучих материалов: моделирование процесса и технологический расчет грохотов. – СПб.: Институт «Механобр», 1994. – 47 с.

References

1. Belovolov, V.V., Bochkov, Yu.N., Davydov, M.V. *Tekhnika i tekhnologiya obogashcheniya ugley* [Techniques and technologies of coal cleaning]. Moscow, Nauka, 1995. 622 p.
2. Ogurtsov, V.A., Fedosov, S.V., Mizonov, V.E. Modelirovanie kinetiki vibrogrokhocheniya na osnove teorii tsepey Markova [Modeling of vibrating-screening kinetics based on the theory of Markov chains]. *Stroitel'nye materialy*, 2008, no. 5, pp. 33–35.
3. Mizonov, V.E. *Oborudovanie dlya klassifikatsii sypuchikh materialov* [Equipment for the classification of the particulate materials]. *Mashinostroenie. Entsiklopediya. Mashiny i apparaty khimicheskikh i neftekhimicheskikh proizvodstv. T. IV-12* [Engineering. Encyclopedia. Machines and apparatuses of chemical and petrochemical industries. Vol. IV-12]. Moscow, Mashinostroenie, 2004, pp. 160–179.
4. Akulova, M.V., Aleshina, A.P., Ogurtsov, Al.V., Ogurtsov, An.V. *Modelirovanie protsessa klassifikatsii sypuchikh materialov na vibrogrokhotakh s mnogoyarusnoy kompozitsionnoy sit* [Modeling of the process of classification of granular

materials using vibration screens]. *Vestnik MGSU*, 2013, no. 2, pp. 80–87.

5. Ogurtsov, V.A., Mizonov, V.E., Fedosov, S.V. Raschetnoe issledovanie dvizhenie chastits po poverkhnosti vibrogrokhota [Computational investigation of particles motion on a vibrating screen surface]. *Stroitel'nye materialy*, 2008, no. 6, pp. 74–75.

6. Vaysberg, L.A. *Proektirovanie i raschet vibratsionnykh grokhotov* [Design and calculation of vibrational screens]. Moscow, Nedra, 1986. 144 p.

7. Vaisberg, L.A., Rubisov, D.N. Mathematische Beschreibung der Vibrations-siebung. *Aufbereitungs Technik*, 1990, no. 3, pp. 378–386.

8. Vaysberg, L.A., Rubisov, D.G. *Vibratsionnoe grokhotenie syupuchikh materialov: modelirovanie protsessov i tekhnologicheskii raschet grokhotov* [Vibrational screening of granular materials: simulation of process and screen process design]. Saint-Petersburg, Institut «Mekhanobr», 1994. 47 p.

Акулова Марина Владимировна,

ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительного материаловедения, специальных технологий и технологических комплексов,

e-mail: m_akulova@mail.ru

Огурцов Валерий Альбертович,

ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии строительного производства,

e-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

Огурцов Александр Валерьевич,

ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,

ассистент кафедры архитектуры и реставрации,

e-mail: shishok85@mail.ru

Алешина Анна Павловна,

ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,

кандидат технических наук, ассистент кафедры строительной механики,

e-mail: annaricci89@mail.ru