

УДК 621.928

Расчет распределения частиц по времени пребывания на поверхности вибрационного грохота

V.A. Ogurtov, A.V. Ogurtov, A.P. Aleshina, A.M. Fatakhedinov
ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: ogurtzovvavork@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Грохочение сыпучих материалов – один из основных процессов в замкнутых системах «дробление – классификация» угольных тепловых электростанций. Проектирование нового и модернизация действующего оборудования нуждаются в достоверных методах расчета кинетики процесса и его математических моделях. Одним из основных показателей процесса, формирующих эффективность грохочения, является время пребывания частиц на грохоте, которое обычно рассчитывается на основе модели движения одиночной частицы по вибрирующей поверхности. Однако такая модель не отражает реального характера движения сыпучего материала по сити грохота, поскольку частицы движутся в виде ансамбля, в котором они взаимодействуют друг с другом. В связи с этим актуальным является построение модели, позволяющей рассчитывать распределение частиц по времени пребывания на грохоте, необходимое для достоверного прогнозирования кинетики грохочения.

Материалы и методы: Численное решение дифференциальных уравнений движения ансамбля частиц осуществляется с помощью программы Autodesk 3ds Max для DEM-моделирования, адаптированной к исследованию движения сыпучего материала по вибрирующей просеивающей поверхности грохота.

Результаты: Предлагается имитационная модель движения частиц по вибрирующей просеивающей поверхности для компьютерного экспериментирования в целях оценки функционирования грохота. Адекватность модели подвержена экспериментально.

Выводы: Достоверное прогнозирование распределения частиц по времени пребывания их на сите грохота позволяет адекватно рассчитывать кинетику грохочения без привлечения трудоемких физических экспериментов. Модель является надежной основой для проектирования виброгрохотов и выбора режимов их эксплуатации.

Ключевые слова: ансамбль частиц, вибрационный грохот, просеивающая поверхность, скорость транспортирования, кинетика классификации, время пребывания, метод дискретных элементов.

Calculation of particle distribution by the time of their residence on vibration screen surface

V.A. Ogurtov, A.V. Ogurtov, A.P. Aleshina, A.M. Fatakhedinov
Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: ogurtzovvavork@mail.ru

Abstract

Background: Screening of granular material is one of the basic processes in the closed grinding circuits «grinding – classification» at coal power plants. Design of new and modernization of the existing equipment require reliable methods of process kinetics calculation and mathematical models to calculate the kinetics. One of the main characteristics influencing the screening efficiency is the residence time of particles on the screen surface that is normally calculated based on the model of single particle motion on the vibrating surface. However, such model cannot reflect the real motion characteristics of granular material on the screen mesh where particles move as an ensemble and interact with each other. Therefore, it is now urgent to develop a model that allows taking into account the particle distribution by the time of their residence on the vibrating screen in order to make reliable prediction of the screening kinetics.

Materials and methods: The numerical solution to the set of equations of particle motion was found with the Autodesk 3ds Max program for DEM simulation adjusted to the study of granular material motion on the vibrating screening surface of a screen.

Results: The paper suggests using an imitation model of particles motion on a vibrating screening surface to estimate the screen efficiency in computer experiments. The adequacy of the model was confirmed experimentally.

Conclusions: Reliable prediction of particle distribution by the time of their residence on the vibration screen allows adequate calculation of the screening kinetics without labor and time consuming physical experiments. The model is a reliable basis for vibration screen design and choice of rational operation regimes.

Key words: particulate ensemble, vibration screen, screening surface, transport velocity, classification kinetics, residence time, discrete elements method.

DOI: 10.17588/2072-2672.2016.6.071-074

Грохочение – один из процессов в замкнутых системах «дробление – классификация»

угольных тепловых электростанций. Повышение эффективности этого процесса является

одним из способов снижения эксплуатационных затрат систем пылеприготовления, так как одна пятая часть электроэнергии на ТЭС тратится на измельчение твердого топлива.

Основными технологическими характеристиками процесса грохочения являются производительность грохота и степень извлечения мелкой фракции из сыпучего сырья [1–4]. Очевидно, что степень извлечения будет тем больше, чем тоньше слой материала на грохоте и чем больше время пребывания сыпучего материала на сите. При непрерывном промышленном грохочении с уменьшением толщины слоя снижается производительность аппарата, а увеличение времени пребывания частиц на сите может быть достигнуто только за счет увеличения длины грохота, т. е. его габаритов. Поэтому поиск наилучших условий для достижения высокой степени извлечения нельзя вести без накладываемых ограничений на время пребывания сыпучего материала на грохоте [5–7].

Для расчета распределения частиц по времени пребывания их на грохоте применялась программа Autodesk 3ds Max для DEM-моделирования движения ансамбля частиц по вибрирующей, наклонной просеивающей поверхности, основанная на численном решении методом дискретных элементов системы дифференциальных уравнений движения каждой частицы [8, 9].

Виртуальный процесс, когда крупные частицы движутся по вибрирующему сити, а мелкие проваливаются через его отверстия, показан на рис. 1.

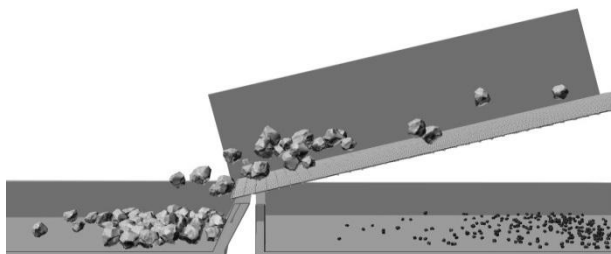


Рис. 1. Виртуальное движение сыпучего материала по вибрирующей поверхности сита

Для определения времени пребывания частиц на просеивающей поверхности в имитационном опыте фиксировалось количество частиц, которые покидали сито. В пространстве в разгрузочной части сита выставлялись две вертикальные плоскости, не обладающие физическими свойствами, с зазором, равным по величине среднему размеру крупной частицы. Подсчитывалось количество частиц, попавших в этот зазор за интервал времени Δt . На рис. 2 показана реализация такого эксперимента, который проводился при следующих условиях: угол наклона сита – 10° , амплитуда колебаний – 5 мм, частота – $104,7 \text{ с}^{-1}$, количество крупных частиц – 100, мелких – 300.

Определялось количество частиц, сошедших с сита, за интервал времени $\Delta t = 0,2 \text{ с}$.

На рис. 3 построена кумулятивная кривая, которая описывает заполнение поддона, расположенного за разгрузочной частью сита, крупными частицами за время движения их по вибрирующей просеивающей поверхности. По оси ординат отложено отношение количества крупных частиц, покинувших сито к определенному моменту времени, к общему числу крупных частиц, подаваемых на сито грохота.

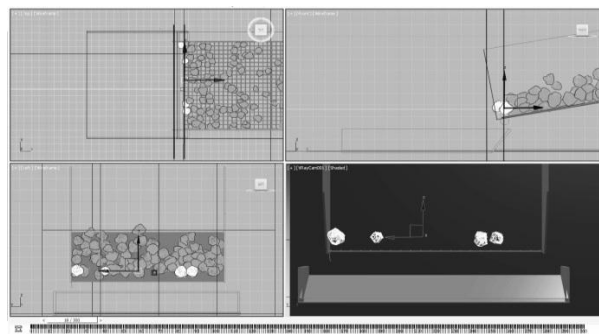


Рис. 2. Интерфейс для определения времени пребывания частиц на сите грохота

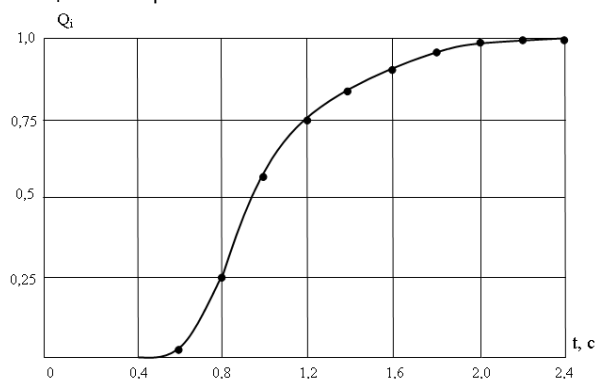


Рис. 3. Кумулятивная характеристика распределения частиц по времени их пребывания на грохоте

По кумулятивной кривой строилась гистограмма распределения частиц по времени их пребывания на сите грохота (рис. 4).

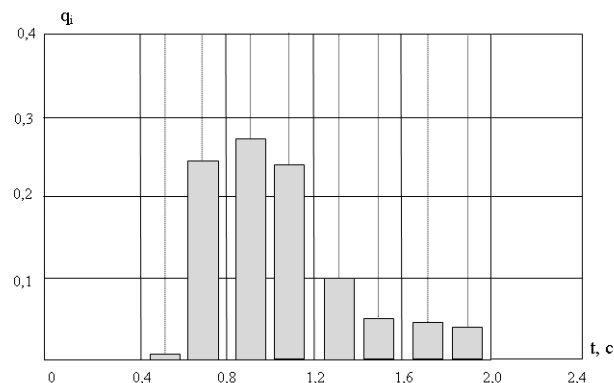


Рис. 4. Гистограмма распределения времени пребывания частиц на грохоте

Среднее время пребывания частиц на грохоте определялось как

$$\langle t \rangle = \sum q_i t_i, \quad (1)$$

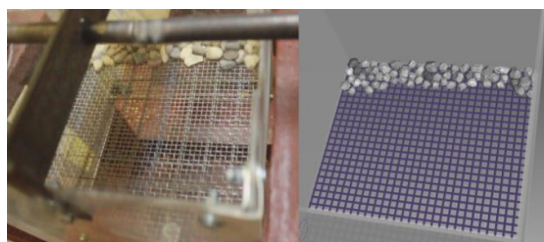
где q_i – нормированный выход крупных частиц с поверхности сита в момент времени t_i за интервал времени $\Delta t = 0,2$ с. В рассматриваемом опыте среднее время пребывания частиц на виртуальном грохоте составило 1,046 с.

Средняя скорость транспортирования частиц по сити определялась как

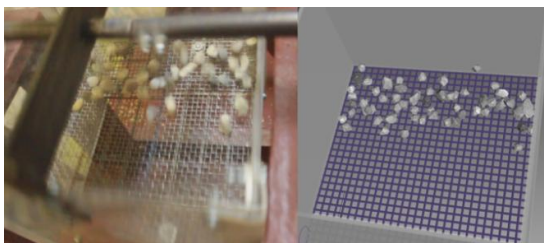
$$V_{\text{тр}} = \frac{l}{\langle t \rangle}, \quad (2)$$

где l – длина виртуального грохота. Скорость транспортирования составила 22,9 см/с.

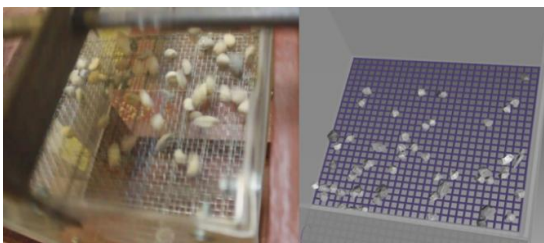
Для доказательства адекватности предлагаемой модели движения ансамбля частиц по виброгрохоту проводилось сравнение значений скорости транспортирования сыпучего материала по сити, полученных в результате обработки компьютерных данных имитационного процесса движения, и экспериментальных данных, полученных на лабораторной установке. Короб с ситом (рис. 5), соединенный с эксцентриковым валом, совершал колебания с частотой, равной частоте вращения двигателя, вращающего вал, и амплитудой, равной эксцентриситету вала.



а)



б)



в)

Рис. 5. Движение частиц по сити лабораторной и виртуальной установки: а – $t_0 = 0$ с; б – $t_1 = 0,36$ с; в – $t_2 = 0,72$ с

Наклоняя короб и фиксируя его статическое положение пружинными растяжками, изменяли угол наклона сита к горизонту. Частицы размещались на сите у одного из бортов коро-

ба. Включался вибростенд, одновременно начиналась съемка процесса движения. Частицы двигались по сити, перемещаясь к другому борту короба, покидали сито и ссыпались в кювету через прорезь.

На рис. 5 приведены результаты киносъемки процесса движения частиц по вибрирующему сити лабораторной установки и результаты имитационного процесса, полученные с помощью программы Autodesk 3ds Max для одного из серии опытов, которые проводились при одинаковых параметрах: угол наклона сита – 5° , амплитуда колебаний сита – 10 мм, частота – $\omega = 78,7$ с $^{-1}$.

На рис. 6 приведены опытные и расчетные значения скорости движения частиц по сити при различных углах его наклона к горизонту. Удовлетворительное совпадение результатов (расчетные и опытные значения отличаются не более чем на 5 %) доказывает достоверность результатов расчета при использовании имитационной модели процесса движения ансамбля частиц по вибрирующей просеивающей поверхности грохота.

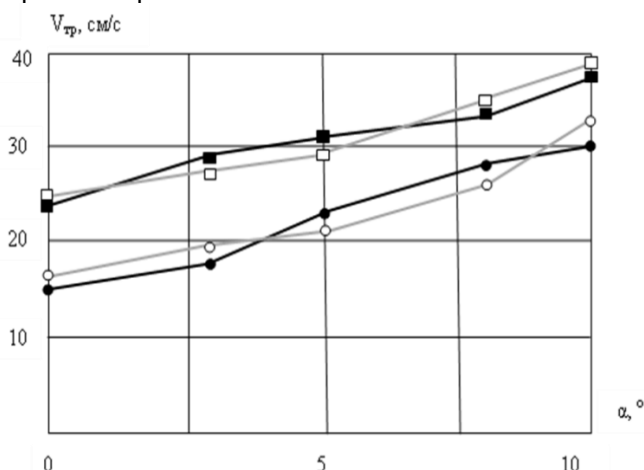


Рис. 6. Скорости движения частиц по сити при разных углах его наклона: ■, □ – расчетные и опытные значения при $\omega = 78,7$ с $^{-1}$, $A = 10$ мм; ●, ○ – расчетные и опытные значения при $\omega = 104,7$ с $^{-1}$, $A = 5$ мм

Результаты компьютерных экспериментов позволяют получить распределение времени пребывания частиц на реальном сите и среднюю скорость транспортирования сыпучего материала по просеивающей поверхности промышленного виброгрохота. Значение средней скорости можно использовать для расчета режима работы реального аппарата и пересчитать время пребывания частиц на его сите. Это позволит рассчитать эффективность отсева и производительность промышленного агрегата.

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. Молявко. – М.: Наука, 1995. – 622 с.

2. Мизонов В.Е. Оборудование для классификации сыпучих материалов // Машиностроение. Энциклопедия. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12 / под ред. М.Б. Генералова. – М.: Машиностроение, 2004. – С. 160–179.

3. 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.

4. Огурцов В.А., Мизонов В.Е., Федосов С.В. Расчетное исследование движения частиц по поверхности виброгрохота // Строительные материалы. – 2008. – № 6. – С. 74–75.

5. Вайсберг Л.А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов. – М.: Недра, 1986. – 144 с.

6. Vaisberg L.A., Rubisov D.N. Mathematische Beschreibung der Vibrationssiebung // AufbereitungsTechnik. – 1990. – № 3. – S. 378–386.

7. Вайсберг Л.А., Рубисов Д.Г. Вибрационное грохочение сыпучих материалов: моделирование процесса и технологический расчет грохотов. – СПб.: Институт «Механобр», 1994. – 47 с.

8. Chen Y., Tong X. Modeling screening efficiency with vibrational parameters based on DEM3D simulation // Mining Science and Technology. – 2010. – V. 20, issue 4. – P. 615–620.

9. Zhao L., Zhao Y., Liu C., Li J., Dong H. Simulation of screening process on a circularly vibrating screen using 3D-DEM // Mining Science and Technology. – 2011. – V. 21, issue 5. – P. 677–680.

References

1. Belovolov, V.V., Bochkov, Yu.N., Davydov, M.V. *Tekhnika i tekhnologiya obogashcheniya ugley* [Techniques and technology of coal cleaning]. Moscow, Nauka, 1995. 622 p.

Огурцов Валерий Альбертович,
ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии строительного производства,
e-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

Ogurtsov Valery Albertovich,
Ivanovo State Polytechnic University,
Doctor of Engineering, Professor, Head of Construction Technologies Department,
e-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

Огурцов Александр Валерьевич,
ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,
ассистент кафедры архитектуры и реставрации,
e-mail: shishok85@mail.ru

Ogurtsov Aleksandr Valeryevich,
Ivanovo State Polytechnic University,
Lecturer of Architecture and Restoration Department,
e-mail: shishok85@mail.ru

Алешина Анна Павловна,
ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительной механики,
e-mail: annaricci89@mail.ru

Aleshina Anna Pavlovna,
Ivanovo State Polytechnic University,
Candidate of Engineering, Senior Lecturer of Structural Mechanics Department,
e-mail: annaricci89@mail.ru

Фатахетдинов Артем Мяскутович,
ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,
аспирант кафедры технологии строительного производства,
e-mail: fhthdvn@mail.com

Fatakhettidinov Artem Myaksutovich,
Ivanovo State Polytechnic University,
Postgraduate Student of Construction Technologies Department,
e-mail: fhthdvn@mail.com

2. Mizonov, V.E. *Oborudovanie dlya klassifikatsii sypuchikh materialov* [Equipment for classification of granular materials]. *Mashinostroenie. Entsiklopediya. Mashiny i apparaty khimicheskikh i neftekhimicheskikh proizvodstv. T. IV-12* [Encyclopedia of machine building. Machines and apparatuses of chemical and petrochemical industry]. Moscow, Mashinostroenie, 2004, pp. 160–179.

3. Akulova, M.V., Aleshina, A.P., Ogurtsov, A.I.V., Ogurtsov, An.V. *Modelirovanie protsessa klassifikatsii sypuchikh materialov na vibrogrokhotakh s mnogoyarusnoy komponovkoy sit* [Modeling of granular materials classification on vibration screens with multilayer screen design]. *Vestnik MGSU*, 2013, no. 2, pp. 80–87.

4. Ogurtsov, V.A., Mizonov, V.E., Fedosov, S.V. *Raschetnoe issledovanie dvizheniya chastits po poverkhnosti vibrogrokhota* [Computational investigation of particle motion along the surface of a vibration screen]. *Stroitel'nye materialy*, 2008, no. 6, pp. 74–75.

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

6. Vaisberg, L.A., Rubisov, D.N. *Mathematische Beschreibung der Vibrationssiebung*. *Aufbereitungs Technik*, 1990, no. 3, pp. 378–386.

7. Vaysberg, L.A., Rubisov, D.G. *Vibratsionnoe grokhochenie sypuchikh materialov: modelirovanie protsessa i tekhnologicheskii raschet grokhotov* [Vibration screening of granular materials: modeling and technological calculation of the processes]. Saint Petersburg, Institut «Mekhanobr», 1994. 47 p.

8. Chen, Y., Tong, X. *Modeling screening efficiency with vibrational parameters based on DEM3D simulation*. *Mining Science and Technology*, 2010, vol. 20, issue 4, pp. 615–620.

9. Zhao, L., Zhao, Y., Liu, C., Li, J., Dong, H. *Simulation of screening process on a circularly vibrating screen using 3D-DEM*. *Mining Science and Technology*, 2011, vol. 21, issue 5, pp. 677–680.