

УДК 66.01

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КАСКАДНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО КЛАССИФИКАТОРА ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. Я. Борщев, А. А. Кузнецова

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Н. Ц. Гаганова

Ключевые слова и фразы: зернистый материал; каскадный гравитационный классификатор; классификация.

Аннотация: Разработана методика расчета каскадного гравитационного классификатора. В качестве критерия выбора конструктивных и режимных параметров ступени каскада принята эффективность разделения частиц зернистой среды.

В различных отраслях промышленности и в сельском хозяйстве существует актуальная проблема классификации зернистых материалов, частицы которых различаются по комплексу физико-механических свойств, чаще всего частиц, различающихся одновременно по размеру и плотности. Подобная проблема может быть решена с помощью разработанной технологии на базе каскадного гравитационного классификатора при комплексном использовании механизмов сдвигового поточного разделения и миграции [1]. Такая возможность основывается на том, что разделение неоднородных частиц в сдвиговом потоке, в общем случае, происходит вследствие локальной и пространственной неоднородности дисперсной среды [2]. Разработанная технология основывается на принципе многократного повторения процесса разделения на каскаде последовательно установленных сепарирующих элементов с организацией многоступенчатого противоточного перемещения неоднородных частиц в направлении, поперечном к направлению основного потока. В результате указанной организации процесса достигается усиление от ступени к ступени суммарного эффекта разделения по сравнению с одноступенчатой сепарацией. Использование принципа многоступенчатой классификации с противотоком неоднородных частиц в непрерывном поточном режиме позволяет повысить производительность и эффективность классификации за счет уменьшения перемешивания встречных потоков неоднородных частиц и обеспечения выделения необходимого числа фракций.

Борщев Вячеслав Яковлевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», e-mail: mahp@tambov.ru; Кузнецова Анна Александровна – магистрант кафедры «Техносферная безопасность», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Для определения конструктивных параметров разработанной конструкции каскадного гравитационного классификатора зернистых материалов необходимо располагать методикой технологического расчета, разработке которой и посвящена настоящая работа.

Задача технологического расчета каскадного гравитационного классификатора, реализующего эффект сегрегации в быстром гравитационном потоке зернистого материала, является многофакторной задачей оптимизации достаточно сложного по своей структуре объекта, состоящего из нескольких иерархических уровней (гравитационный скат – ступень – каскад). Критерий оптимальности рассматриваемой задачи является функцией значительного числа конструктивных и технологических факторов.

В данной статье ограничимся рассмотрением алгоритма технологического расчета параметров конструкции каскадного гравитационного классификатора зернистых материалов на базе модели и результатов моделирования каскадной гравитационной классификации [3]. В качестве критерия выбора конструктивных и режимных параметров ступени каскада принята эффективность разделения частиц зернистой среды, достигаемая на соответствующем числе сепарирующих элементов. Выбор критерия в указанной форме обусловлен тем, что он в достаточной мере отвечает требованиям универсальности и полноты, обычно предъявляемым к таким параметрам.

В соответствии с результатами моделирования процесса каскадной гравитационной классификации можно утверждать, что первостепенное влияние на эффективность процесса сепарации оказывает величина эффектов сегрегации и миграции (коэффициент разделения) в сдвиговом потоке на сепарирующем скате. В связи с этим технологический расчет параметров конструкции каскадного гравитационного классификатора следует начинать с определения оптимальных условий сдвигового течения.

Основными параметрами сдвигового потока, определяющими эффективность разделения частиц, как локального критерия оптимизации, являются удельный расход материала, длина и угол наклона слоя. Диапазоны изменения указанных параметров могут быть определены либо на базе экспериментально-аналитических приемов, предложенных в работе [4], либо в соответствии с рекомендациями, приведенными в источнике [5]. В последнем случае характеристики потока определяются из условия достижения наилучших значений эффективности разделения и имеют следующие величины: $4...6$ кг/(м·с) – по удельному расходу (зерновые материалы); $\sin \alpha / \sin \alpha_0 = 1,02...1,04$ – по углу наклона; $l_{ск} \geq 0,35$ – по длине ската.

На первом этапе проектирования должны быть определены кинетические характеристики процесса разделения на сепарирующем скате. При этом для несвязных неэластичных сферических частиц использованы аналитические подходы для определения эффективности (коэффициента) разделения на базе уравнения динамики сегрегации

$$\frac{\partial(c_{j,i}\rho)}{\partial t} = -\frac{\partial(uc_{j,i}\rho)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho \left(D_{\text{диф}} \frac{\partial c_{j,i}}{\partial y} - D_m \frac{\partial \ln s}{\partial y} c_{j,i} - K_s \Delta M c_{j,i} \right) \right], \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ – номер ячейки сепарации; $j = 1, 2, \dots, m$ – номер ступени каскада сепарации; $c_{j,i} = c_{j,i}(x, y, t)$ – концентрация целевого компонента в i -й ячейке сепарации на j -й ступени каскада; ρ – плотность среды; t – время; u – скорость потока в направлении оси x ; $D_{\text{диф}}, D_m, K_s$ – коэффициенты квазидиффузионного перемешивания, миграции и гидромеханической сегрегации соответственно.

Параметр неоднородности ΔM определяется как избыточная сумма моментов сил трения, тяжести и ударных импульсов [6].

Для реализации такого подхода определяют комплекс физико-механических характеристик компонентов смеси зернистых материалов: угол естественного откоса, размер и плотность, коэффициенты восстановления и трения при столкновении частиц. Затем с использованием указанных характеристик свойств частиц вычисляют кинетические характеристики процессов перемешивания и миграции частиц $D_{\text{диф}}$ и D_m для определенных условий течения зернистой среды на шероховатом скате.

Далее с использованием экспериментально-аналитического метода [4] находят величину коэффициента сегрегации с учетом параметров потока на шероховатом скате и моделируют концентрационные профили распределения частиц на базе уравнения (1).

Для случая связанных эластичных несферических частиц проводят экспериментальную оценку эффективности разделения, достигаемую на одной ступени, с использованием метода и экспериментальной установки, приведенных в работе [5].

Размер отклоняющих элементов определяется в соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [4]. В соответствии с этими рекомендациями размер отклоняющих элементов устанавливается в зависимости от сыпучести материала и размера частиц. В общем случае их размер можно принимать равным десяти диаметрам наиболее крупных частиц исходного материала. Для выполнения своего функционального назначения – перемещать материал вдоль шероховатого ската – угол наклона отклоняющих элементов рекомендуется принимать равным 50° .

В целях исключения проскока материала шероховатые гравитационные скаты должны устанавливаться каскадом друг под другом без зазора в проекции на горизонтальную плоскость. Зазор в проекции на вертикальную плоскость выбирают из условия формирования веера частиц на сыпном пороге шероховатого ската и размещения блока отклоняющих элементов.

Число ячеек сепарации (отклоняющих элементов) в одном блоке определяется в зависимости от значений коэффициента разделения и потребной эффективности для достижения требуемого качества разделения с помощью разработанной модели динамики сегрегации [3].

Число ступеней сепарации в каскаде должно быть больше или равно числу отклоняющих элементов в одной ступени, поэтому в качестве первого приближения целесообразно принимать число сепарирующих элементов равным числу отклоняющих элементов. Далее на основе математического моделирования процесса классификации определяют эффектив-

ность разделения в зависимости от числа ступеней каскада. В качестве примера ниже приведены результаты исследования эффективности разделения промышленно значимой смеси в зависимости от числа ступеней сепарации:

Число ступеней разделения	4	8	10	15	20
Эффективность разделения, %	26,3	44,8	54,0	68,2	73,7

При окончательном выборе числа сепарирующих скатов, обеспечивающих заданную эффективность разделения частиц зернистой среды, на первый план выходят габаритные размеры установки, напрямую зависящие от числа скатов. Поскольку производительность ячейкового дозатора в первом приближении можно принять равной удельной величине потока частиц в оптимальных условиях сдвигового течения, то в соответствии с известной методикой расчета такого рода дозаторов [7], при заданных коэффициентах заполнения ячеек ротора и их минимальном объеме определяют скорость вращения ротора из условия обеспечения такого потока на сепарирующем скате, при котором достигается максимальное значение коэффициента разделения.

Таким образом, на основе анализа результатов моделирования процесса для расчета классификатора с оптимальными конструктивными параметрами рекомендуется следующий алгоритм.

1. Определение физико-механических характеристик зернистой среды и условий процесса разделения на скате (удельный расход материала, длина и угол наклона слоя).
2. Определение кинетических характеристик процесса разделения (коэффициента сегрегации или разделения).
3. Определение ширины сепарирующего ската, геометрических параметров отклоняющих элементов и числа ячеек сепарации на одной ступени.
4. Определение числа ступеней сепарации в каскаде и соответственно высоты каскадного классификатора с использованием математической модели.
5. Технологический расчет ячейкового дозатора.

Список литературы

1. Пат. 2233715, Российская Федерация, МПК⁷ В 07 В 13/00. Способ классификации сыпучих материалов / Долгунин В. Н., Борщев В. Я., Дронова М. Ю., Климов А. М. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2002134343/03 ; заявл. 19.12.2002 ; опубл. 10.08.2004, Бюл. № 22 – 3 с.
2. Dolgunin, V. N. Segregation Dynamics of Solids Particles in Rapid Gravity Flow / V. N. Dolgunin, A. A. Ukolov, A. N. Kudy // International Congress of Chemical Engineering, Chemical Equipment, Design and Automation, CHISA-93, Prague, 1993. – P. 113.
3. Борщев, В. Я. Каскадная гравитационная сепарация зернистых материалов: особенности технологии и моделирования / В. Я. Борщев, В. Н. Долгунин, М. Ю. Дронова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2005. – Т. 11, № 4. – С. 903 – 909.

4. Долгунин, В. Н. Сегрегация при гравитационном течении зернистых материалов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.08 ; защищена 17.04.1993 ; утв. 11.12.1993 / Долгунин Виктор Николаевич. – М., 1993. – 345 с.

5. Пронин, В. А. Сепарация полидисперсных зернистых материалов различной плотности : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 ; защищена 18.12.1998 ; утв. 10.06.1999 / Пронин Василий Александрович. – Тамбов, 1998. – 135 с.

6. Долгунин, В. Н. Модель механизма сегрегации при быстром гравитационном течении частиц / В. Н. Долгунин, А. А. Уколов, П. В. Классен // Теорет. основы хим. технологии. – 1992. – Т. 26, № 5. – С. 707 – 716.

7. Козловский, Э. А. Бункеры, затворы, питатели и дозаторы для сыпучих материалов / Э. А. Козловский. – Иваново : Ивановский химико-технолог. ин-т, 1978. – 78 с.

Development of Methods of Calculation of the Cascade Gravitational Classifier of Granular Materials

V. Ya. Borshev, A. A. Kuznetsova

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: cascade gravitational classifier; classification; granular material.

Abstract: Methodology of calculation of a cascade-gravity classifier has been developed. The selection criterion of the design and operating parameters of the cascade is the effectiveness of separate particles of the granular material.

© В. Я. Борщев, А. А. Кузнецова, 2013