После чего находим среднее значение отклонения текущей области.

Отличие цветного анализа заключается в том, что исследуется яркость по трем каналам -R, G, B – красному, синему и зеленому. Алгоритм полностью аналогичен предыдущему, но состоит из трех отдельных расчетов среднего значения и среднеквадратичного отклонения (для каждого цветового канала отдельно). В конечном итоге рассчитывается значение, учитывающее эквивалентное отклонение по трем каналам.

По эквивалентным значениям отклонений на каждом из участков находится коэффициент неоднородности для всей пробы.

Работа с программным обеспечением (далее ПО) осуществляется следующим образом: пользователь вводит название файла, либо нажимает кнопку «открыть файл» и выбирает нужный файл с изображением в формате jpg.

Затем пользователь выбирает тип анализа — для цветного или черно-белого изображения, параметр разбиения (число N, при этом изображение разбивается на  $N \times N$  участков). Если установить флажок у параметра «Отклонение по квадратам», то программа дополнительно выдаст среднеквадратичное отклонение для каждого участка.

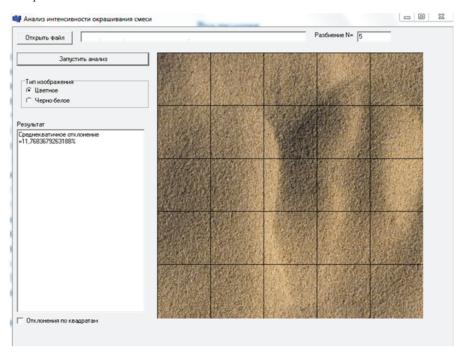


Рисунок. Интерфейс программы

Предварительные экспериментальные исследования показали, что разработанная программа может быть использована для определения качества порошкообразных смесей, но требует доработки с целью оценки качества в режиме реального времени.

## Список литературы

- 1. Першин В.Ф. Модель процесса смешивания сыпучего материала в поперечном сечении вращающегося барабана / В.Ф. Першин // Порошковая металлургия. 1986. N 10. C. 1-5.
- 2. Селиванов Ю.Т. Исследование влияния осевого движения на процесс непрерывного смешивания сыпучего материала во вращающемся барабане / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2003. Т. 46, вып. 7. С. 42-45.
- 3. Смолин Д.О. Разработка экспресс метода определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету / Д.О. Смолин, О.В. Демин, В.Ф. Першин // Вестник ТГТУ.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ЛОТКЕ

Петров Д.Г., Брянских А.С., Осипов А.А.
Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, e-mail: diamond27-92@mail.ru

Непрерывное весовое дозирование сыпучих материалов широко используется в различных отраслях

промышленности [1]. Основной метрологической характеристикой дозаторов является точность дозирования. Высокая точность дозирования особенно важна при организации процесса смешивания, поскольку именно от точности дозирования, во многом, зависит качество готовой смеси [2, 3]. Для повышения точности дозирования ранее [4] была предложена двухстадийная технология дозирования и устройство для ее реализации [5]. Сущность данной технологии заключается в том, что на первой стадии формируются отдельные порции определенного веса, а на второй стадии эти порции преобразуются в непрерывный поток. Преобразование отдельных порций в непрерывный поток возможно с использованием наклонного вибрирующего лотка с прямоугольным поперечным сечением. Результаты эксепериментов показали, что в процессе преобразования порций изменяется их форма и происходит перемещение вдоль лотка. Характерный пример движения отдельной порции показан на рис. 1.

Для расчета процесса двухстадийного дозирования, в частности, необходимо знать по каким законам происходит изменение формы порции сыпучего материала под действием вибрации. Для решения данной проблемы была проведена видеосъемка движения частиц в горизонтальном вибрирующем лотке, характерные результаты которой показаны на рис. 2.



Рис. 1. Разложение по кадрам видеоизображения процесса движения порции сыпучего материала по наклонному вибрирующему лотку

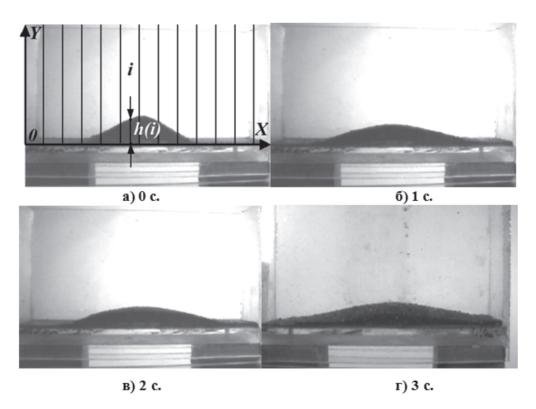


Рис. 2. Изменение формы открытой поверхности порции сыпучего материала

Для построения математической модели процесса необходимы экспериментальные данные об изменении формы порции материала под действием вибрации. Для сокращения временных затрат на экспериментальные исследования было разработано программное обеспечение (ПО), суть которого заключается в следующем:

- 1. Цифровое изображение лотка делится на равные участки по его длине (рис. 2a). Осуществляется вертикальное сканирование изображения, в процессе которого определяется высота материала h(i) в каждом i-м разбиении.
- 2. Рассчитывается объем материала на каждом участке  $V(i)=S\,h(i)\,\Delta l$ , где S ширина лотка,  $\Delta l$  длина участка и определяется координата центра тяжести  $h_{u.m.}(i)=h(i)/2$ . Учитывая, что мы задаемся очень малой величиной  $\Delta l$ , ошибка в определении  $h_{u.v.}(i)$  минимальная.

- 3. Определяется масса m(i)= $\rho V(i)$ , где  $\rho$  плотность насыпи вещества.
- 4. Определяется значение потенциальной энергии сыпучего вещества i-го участка по следующему соотношению  $W(i)=m(i)g\ h(i)$ . Окончательно, потенциальная энергия сложной фигуры находится, как сумма потенциальных энергий элементарных фигур.

Проверкой нахождения центра тяжести фигуры из сыпучего материала может служить идеализированный пример, когда сечение порции сыпучего материала представляет собой равнобедренный треугольник. Как известно, центр тяжести равнобедренного треугольника находится на расстоянии одной трети длины высоты, считая от основания.

Работа программы для реального примера показана на рис. 3.

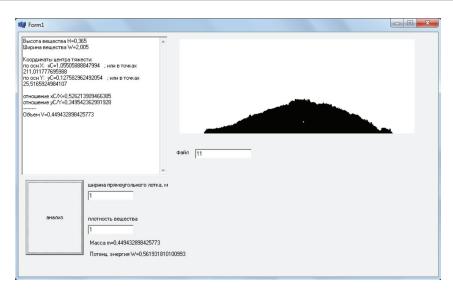


Рис. 3. Определение центра тяжести порции сыпучего материала

Теоретические и экспериментальные данные практически полностью совпадают. Полученная математическая модель позволяет находить центр тяжести порции сыпучего материала и изменение потенциальной энергии порции. Это существенно снижает трудоемкость при проектировании двухстадийных дозаторов, в которых в качестве преобразователя отдельных порций в непрерывный поток, используется наклонный лоток с прямоугольным поперечным сечением, совершающий вертикальные колебания.

## Список литературы

- 1. Першина С.В. Весовое дозирование зернистых материалов / С.В. Першина, А.В. Каталымов, В.Г. Однолько, В.Ф. Першин. М.: Машиностроение, 2009. 260 с.
- 2. Першин В.Ф. Модель процесса смешивания сыпучего материала в поперечном сечении вращающегося барабана / В.Ф. Першин // Порошковая металлургия. 1986.-N 10. С. 1-5.
- 3. Селиванов Ю.Т. Исследование влияния осевого движения на процесс непрерывного смешивания сыпучего материала во вращающемся барабане / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2003. Т. 46, вып. 7. С. 42-45.
- 4. Пат. 2138783 Российская Федерация, С1, МКИЗ G 01 F 11/00. Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов  $\Lambda$  В.Ф. Першин, С.В. Барышникова; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т.-№ 98110906/28; заяв. 02.06.98; опубл. 27.09.99, Бюл. № 27.
- 5. Пат. 2251083 Российская Федерация, С2, МКИЗ G 01 F 11/00. Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов и устройство для его осуществления / В.Ф. Першин, С.В. Барышникова, Д.К. Каляпин, А.А. Осипов; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. № 2003109774/28; заяв. 07.04.03; опубл. 27.04.05, Бюл. №12.

## К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ЛОПАСТНЫХ СМЕСИТЕЛЯХ

Смолина И.О., Смолин Д.О., Дёмин О.В.

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, e-mail: smolina.rina@gmail.com

Современные компьютерные технологии позволяют оперативно решать множество важных задач при проектировании машин и аппаратов химической и смежных с ней отраслей промышленности. Одной из таких задач является математическое моделирование процессов смешивания сыпучих материалов. Целью настоящей работы является описание особенностей построения математической модели процесса смешивания сыпучих материалов на основе теории

цепей Маркова [3]. Целый ряд исследований различных авторов [1, 2, 4, 5] показали возможность эффективного использования данного математического аппарата с различным видом цепей (одномерные, двумерные, использующие блочные матрицы и т.д.) для моделирования процесса смешивания в лопастных смесителях периодического и непрерывного способа действия.

Формализованное описание системы с помощью математической модели включает в себя содержательное описание и схему [4]. Содержательное описание составляется на основе сведений о физической природе и количественных характеристиках элементарных явлений, происходящих в системе, о степени и характере их взаимодействия и т.д. Это позволяет упростить систему и построить ее математическую модель. Описание включает разделение перемещения частиц в процессе смешивания в лопастном одновальном смесителе на три направления: осевое (представляет собой перемещение частиц материала между рядами рабочих органов вдоль смесительной камеры); радиальное (частицы материала перемещаются в пределах рядов рабочих органов смесителя); окружное (перемещение частиц материала происходит по замкнутому циркуляционному контуру).

Смесительная камера разделяется на ячейки равного объёма. В осевом направлении на  $N_{\rm J}$  одинаковых частей, равных числу рядов рабочих органов. Нумерацию частей производим от одного торца камеры до другого.

Каждую часть, полученную при разбиении в осевом направлении, разобьём последовательно в радиальном направлении на  $N_{\scriptscriptstyle R}$  колец и в окружном направлении на  $C_{\scriptscriptstyle R}$  секторов:

$$C_R = \frac{360^\circ}{\alpha},\tag{1}$$

где α – угол сектора.

Количество ячеек в каждой полученной части определяется формулой:

$$N_J = C_R \cdot N_R, \tag{2}$$

Нумеруются ячейки с индексом приращения  $J_C = (n_R - 1) \cdot C_R$ , где  $n_R = \overline{1, N_R}$  – номер кольца.