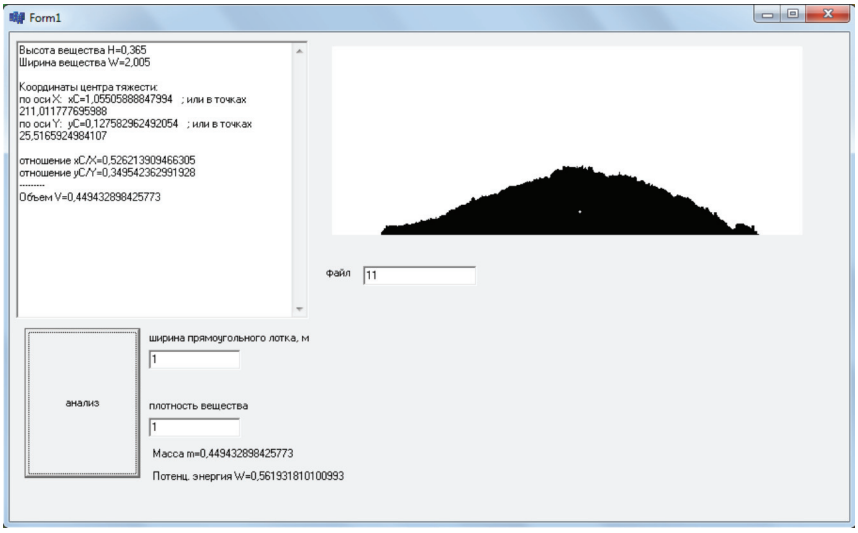

Рис. 3. Определение центра тяжести порции сыпучего материала

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.-№ 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, C1, МКИ3 G 01 F 11/00. Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов / 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, C2, МКИ3 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_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_R колец и в окружном направлении на C_R секторов:

$$C_R = \frac{360°}{\alpha}, \qquad (1)$$

где α – угол сектора.

Количество ячеек в каждой полученной части определяется формулой:

$$N_J = C_R \cdot N_R, \qquad (2)$$

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

Радиусы колец при условии одинакового объёма ячеек, вычисляются по формуле:

$$R_i = \sqrt{R_{i-1}^2 - \frac{R_0^2}{N_R}}, i = \overline{1, N_R - 1}, \quad (3)$$

где R_0 – радиус смесительной камеры.

Состояние системы в момент времени $\tau = k \cdot \Delta T$ (где k – номер перехода, ΔT – длительность перехода), представим в виде вектора-столбца размером $(N_I \times N_J) \times 1$:

$$S^k = \left[S_1^k \quad S_2^k \quad \ldots \quad S_{N_J}^k \quad S_{N_J+1}^k \quad \ldots \quad S_{N_J \cdot (N_I - 1)}^k \quad S_{N_J \cdot N_I}^k \right]^T, \quad (4)$$

Следующее состояние системы S^{k+1} зависит от текущего состояния и может быть представлено в следующей матричной форме:

$$S^{k+1} = S^k \cdot P, \quad (5)$$

где P – матрица переходных вероятностей.

Матрица переходных вероятностей с учетом трёх направлений перемещения частиц материала определяется по формуле:

$$P = P_T \cdot P_R \cdot P_A, \quad (6)$$

где P_T – матрица переходных вероятностей при перемещении частиц в окружном направлении; P_R – матрица переходных вероятностей при перемещении частиц в радиальном направлении; P_A – матрица переходных вероятностей при перемещении частиц в осевом направлении.

Известно, что смешивание складывается из элементарных одновременно протекающих в смесителе процессов: процесс конвективного смешивания, процесс диффузионного смешивания и процесс сегрегации [1, 2, 4]. Особенностью перемещений частиц сыпучего материала в лопастном смесителе является образование «застойной» зоны [2] и зоны уплотнения перед лопастью [6]. При прохождении лопасти через слой сыпучего материала частицы из зоны уплотнения ***ABCD*** перемещаются не только в соседние ячейки, но и в ячейки, расположенные по траектории движения лопасти в окружном направлении и в радиальном направлении после выхода лопасти из слоя. Частицы из «застойной» переходят в радиальном направлении после выхода лопасти из слоя сыпучего материала. В зависимости от перехода частицы могут участвовать и в конвективном, и в диффузионном смешивании. Характерные особенности данного сложного процесса перемещения частиц в лопастном смесителе необходимо учитывать при формировании матриц переходных вероятностей P_T, P_R, P_A. Учитывая данное перемещение в математической модели процесса смешивания, возможно более объективное и точное содержательное описание на основе реальной картины перераспределения частиц в лопастных смесителях. Описанная модель с учетом характерных особенностей физической природы поведения частиц в лопастных смесителях обеспечивает возможность эффективной модернизации существующих типов и проектирование новых образцов смесительного оборудования с использованием современных компьютерных технологий.

Список литературы

1. Баранцева Е. А. Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет / Е.А. Баранцева, В.Е. Мизонов, Ю.В. Хохлова. – Иваново: ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2008. – 116 с.

2. Дёмин О.В. Совершенствование методов расчёта и конструкций лопастных смесителей: дис. … канд. техн. наук. – Тамбов, 2003. – 210 с.

3. Марков А.А. Избранные труды. Теория чисел. Теория вероятности / А.А. Марков. — М.: АН СССР, 1951. – 717 с.

4. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

5. Berthiaux H. Application of the theory of Markov chains to model different processes in particle technology / H. Berthiaux, V. Mizonov, V. Zhukov // Powder Technology. – 2005. – Vol. 157, № 1–3. – P. 128–137.

6. Дёмин О.В., Смолин Д.О. Способ определения оптимальной высоты лопасти // Современные направления теоретических и прикладных исследований, 2012 // Сб. науч. Трудов SWorld. Выпуск 1. Т. 9. – Одесса: Черноморье, 2012. С. 52–54.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Шаронин А.С., Першина С.В.

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, e-mail: vagabond_tmb@mail.ru

Для моделирования механических процессов переработки сыпучих материалов широко используется математический аппарат случайных марковских процессов дискретных в пространстве и времени. Варианты моделирования процесса или устройства могут быть разные, но общие подходы одинаковы. Все моделируемое пространство делится на ячейки, как это показано на рис. 1.

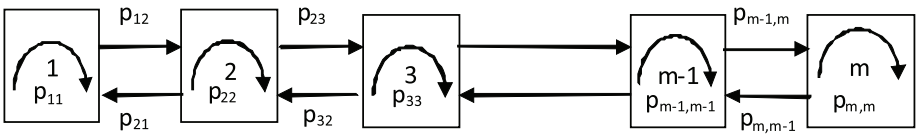

Рис.1. Графическое представление одномерной цепи Маркова

Текущее состояние системы характеризуется вектором состояния:

$$S(k) = [S_1(k)\ S_2(k)\ S_3(k) \ldots\ldots S_m(k)], \quad (1)$$

где $S(k)$ – вектор состояния системы в момент времени $t = k\Delta t$, Δt – время одного перехода, $S_i(k)$ – вероятность нахождения частиц порции материала в ячейке i после перехода k.

Состояние системы в любой момент времени $T(k+1) = (k+1)\Delta t$ определяется следующим образом:

$$S(k+1) = S(k)P, \quad (2)$$

где P – матрица переходных вероятностей, имеющая следующий вид:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & \ldots & 0 & 0 \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & P_{32} & P_{33} & \ldots & 0 & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & P_{m-1,m-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & P_{m,m-1} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$