

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

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

$$S^k = [S_1^k \quad S_2^k \quad \dots \quad S_{N_j}^k \quad S_{N_j+1}^k \quad \dots \quad S_{N_j \cdot (N_i-1)}^k \quad S_{N_j \cdot N_i}^k]^T, \quad (4)$$

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

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 $(N_i \times N_j) \times 1$:

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 конструкции 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.

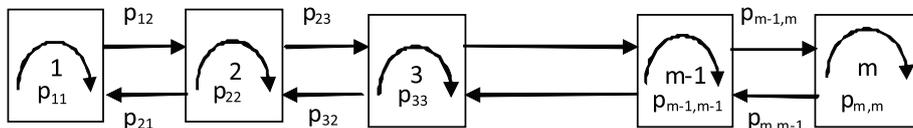


Рис. 1. Графическое представление одномерной цепи Маркова

Текущее состояние системы характеризуется вектором состояния:

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

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:

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

При моделировании периодического процесса смешивания сыпучих материалов [1, 2], весь материал в поперечном сечении смесителя делится на ячейки равного объема, и элемент матрицы состояния характеризует долю или концентрацию ключевого компонента в ячейке i . При моделировании процесса непрерывного смешивания сыпучих материалов в барабанном смесителе барабан делится на равные по длине участки [3] и вектор состояния характеризует распределение ключевого компонента по длине барабана. При моделировании процесса механической классификации [4] – элемент матрицы состояния характеризует содержание в ячейке i частиц определенной фракции. При моделировании процесса двухстадийного непрерывного дозирования матрица состояния характеризует распределение материала по длине преобразователя, что позволяет, в конечном итоге определить колебания производительности на выходе из дозатора [5].

В ряде случаев, при моделировании механического процесса переработки сыпучих материалов необходимо учитывать не только диффузионный обмен частицами между соседними ячейками, но и конвективный обмен. Например, такая ситуация возникает при моделировании процесса непрерывного двухстадийного дозирования [6, 7]. Сущность двухстадийного дозирования заключается в следующем: на первой стадии порционным дозатором формируются отдельные порции весом ΔP ; на второй стадии эти порции, через равные промежутки времени ΔT подаются в наклонный, где они преобразуются в непрерывный поток. Экспериментально было установлено [5], что в процессе преобразования изменяется форма порции и центр тяжести порции перемещается вдоль лотка. Процесс изменения формы порции можно рассматривать, как диффузионный, а процесс перемещения всей порции, как конвективный. Для моделирования конвективного процесса использовали матрицу перемещений:

$$P_M = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Было разработано две программы для моделирования процесса ссыпания сыпучих материалов со схожим функционалом, но разной областью применимости: первая представляет собой готовую программу работающую независимо, вторая является файловой функцией для пакета Matlab.

В докладе дано подробное описание программ и примеры их работы, которые показывают, что использование дополнительной матрицы перемещений позволяет обеспечить независимость между диффузионным и конвективным обменом частиц, что особенно важно при моделировании процесса смешивания сыпучих материалов [8, 9].

Список литературы

1. Першин В.Ф. Модель процесса смешивания сыпучего материала в поперечном сечении вращающегося барабана / В.Ф.Першин // Порошковая металлургия. – 1986. – № 10. – С. 1-5.
2. Баранцева Е.А. Процессы смешивания сыпучих материалов : моделирование, оптимизация, расчет / Е.А.Баранцева, В.Е.Мизонов, Ю.В.Хохлова. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина», Иваново, 2008. – 116 с.
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. Ткачев А.Г. Механическая классификация катализаторов для производства углеродных наноматериалов / А.Г.Ткачев, С.В.Маслов, В.Ф.Першин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2007. – Т 13, № 3. – С. 741-746.
5. Першина С.В. Весовое дозирование зернистых материалов / С.В. Першина, А.В. Катамылов, В.Г. Однолько, В.Ф. Першин. – М.: Машиностроение, 2009. – 260 с.
6. Пат. 2138783 Российская Федерация, С1, МКИЗ 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.
7. 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.
8. Першин В.Ф. Модель процесса смешивания сыпучего материала в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана / Теоретические основы химической технологии. – 1989. – Т.23. – №3. – С. 370
9. Першин В.Ф. Моделирование процесса смешивания сыпучих материалов в циркуляционных смесителях непрерывного действия. / В.Ф. Першин, Ю.Т. Селиванов // Теоретические основы химической технологии. – 2003. – Т.37, № 6. – С. 629 – 635.

**Секция «Исследования студентов ССУЗов»,
научный руководитель – Медведев В.П., канд. пед. наук, доцент, профессор РАЕ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРАКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ¹**

Дюдькин М.Б., Федяев Е.Ю., Семерюк О.М.

Брянский техникум энергомашиностроения
и радиоэлектроники, Брянск, e-mail: siemieriuk@mail.ru

Одна из задач профессионального образования – подготовка квалифицированных рабочих электротехнических профессий. Для выполнения этой задачи необходимо применение информационно-коммуникационных технологий в обучении. На практических занятиях по ряду разделов «Физики» и «Электротехники» на первоначальном этапе обучающиеся выполняют разработку несложных электросхем. Они составляются путем вырисовывания каждого элемента вручную карандашом, и учебное время тратится нера-

ционально на рутинную деятельность механического отображения. Специализированные компьютерные программы позволяющие совершенствовать этот процесс, во-первых, содержат большое количество условных изображений электросхем, и выбрать нужное из этого обилия непросто, а во вторых требуется время на освоения порядка проектирования в этих программах. Для повышения производительности проектирования был разработан несложный и не требующий от обучающихся специальной подготовки электронный конструктор.

Разработка выполнена на базе интегрированной конструкторско-технологической системы ADEM. Эта программа имеет библиотеку элементов электрических схем, которая была использована для разработки шаблона конструктора, а так же программа дает возможность создавать недостающие элементы электрических схем. Конструктор представляет со-

¹ Научный руководитель – Семерюк О.М.