

ВЛИЯНИЕ СЕГРЕГАЦИИ ТРАССЕРА НА ТРАССИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОГО ПОТОКА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

МИЗОНОВ В.Е., д-р техн. наук, БАРАНЦЕВА Е.А., канд. техн. наук, ХОХЛОВА Ю.В., асп.,
BERTHIAUX H., Dr.-Eng., GATUMEL C., Dr.-Eng.

Предложена ячеечная математическая модель эволюции содержания трассера в потоке сыпучего материала с неоднородным полем скоростей в поперечном сечении. Исследовано влияние условий ввода трассера и его склонности к сегрегации в неоднородном потоке на кривые отклика и показано, что в зависимости от сочетания этих факторов распределение времени пребывания может стать бимодальным.

Ключевые слова: сыпучие материалы, ячеечная математическая модель, процесс смешивания, сегрегация, распределение времени.

THE INFLUENCE OF TRACER SEGREGATION ON THE TRACING OF BULK MATERIAL HETEROGENEOUS FLOW

MIZONOV V.E., ph.D., BARANTSEVA E. A., Ph.D., KHOKHLOVA Yu.V., postgraduate,
BERTHIAUX H., Dr.-Eng., GATUMEL C., Dr.-Eng.

The article describes the network mathematical model of tracer content evolution in bulk material flow with heterogeneous velocity field in cross-section. It contains the research of tracing condition influence and tracer tendency to segregation in heterogeneous flow at response curves it is shown that depending on the combination of these factors arrival time allocation may become bimodal.

Key words: bulk materials, network mathematical model, mixing process, time allocation.

При смешивании сыпучих материалов часто возникает необходимость смешать компоненты, склонные к сегрегации относительно друг друга. Процесс смешивания осложняется еще и тем, что поток компонентов и смеси часто неоднороден в поперечном направлении, например, пристенные слои потока, побуждаемые к движению смешивающими лопастями, движутся быстрее, чем его ядро. Цель данного исследования – выявить влияние поперечной неоднородности потока и склонности ключевого компонента к сегрегации на кривую распределения времени пребывания ключевого компонента в смесителе на основе математической модели.

основной оператор модели. В этих вероятностях выделена чисто случайная (диффузионная) составляющая, представленная через коэффициенты d_x и d_y , и конвективная составляющая, представленная через коэффициенты v_x и v_y . Конвективная составляющая в горизонтальном направлении обусловлена транспортом материала (например, действием транспортирующих лопастей), а в вертикальном направлении – возможной сегрегацией ключевого компонента. Так как материал не может сегрегировать относительно себя, v_{yj} относится только к трассеру. Для идеального трассера $v_{yj} = 0$, а все остальные вероятности совпадают с вероятностями для материала. Если $v_{yj} > 0$, трассер имеет склонность к сегрегации вниз, если $v_{yj} < 0$, трассер имеет склонность к сегрегации вверх.

Предполагается, что каждый слой материала (каждая строка ячеек) имеет преобладающую среднюю скорость, которая неизвестна заранее. Число рядов ячеек m заранее не является заданным и определяется массой материала в смесителе. Фактически, число рядов ячеек может изменяться в модели только дискретно. Число столбцов n фиксировано. Рассмотрим состояние процесса в течение дискретных моментов времени $t_i = (i - 1)\Delta t$, где Δt – длительность перехода, $i = 1, 2, \dots$. Состояние материала в смесителе может быть представлено как вектор-столбец размера $(m \times n) \times 1$, в котором вероятности расположены в соответствии с нумерацией ячеек (рис. 1):

$$\mathbf{S}^i = [S_{11}^i \dots S_{m-1,1}^i \ S_m^i \ S_{m+1,1}^i \dots \ S_{m+m,1}^i \dots \ S_{nm}^i]^t, \quad (1)$$

где индекс t означает транспонирование.

В течение i -го перехода вектор состояния \mathbf{S}^i переходит в вектор состояния \mathbf{S}^{i+1} , причем оба вектора связаны матричным равенством

$$\mathbf{S}^{i+1} = \mathbf{P} \mathbf{S}^i, \quad (2)$$

где \mathbf{P} – матрица переходных вероятностей.

Матрица переходных вероятностей для такого массива ячеек имеет размер $(n \times m) \times (n \times m)$ и

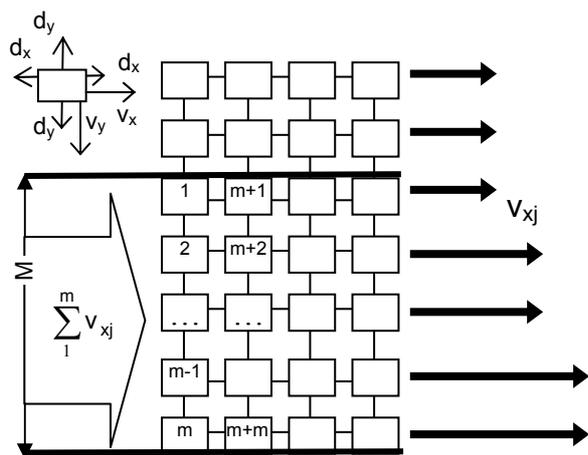


Рис. 1. Схема ячеечного представления процесса смешивания

На схеме ячеечной математической модели (рис. 1) процессу смешивания поставлена в соответствие двумерная прямоугольная цепь ячеек с вероятностями переходов между ними в горизонтальном и вертикальном направлениях, которые составляют матрицу переходных вероятностей –

строится следующим образом [1]. Каждый столбец матрицы связан с одной из ячеек согласно ее номеру. Вероятность перехода в течение Δt в какую-то ячейку должна находиться в строке с номером этой ячейки. Вероятности оставаться в ячейке в течение Δt располагаются на главной диагонали матрицы и равны разности единицы и суммы всех остальных вероятностей в соответствующем столбце. Согласно определению вероятности, эта величина должна быть неотрицательной. Последний столбец цепи относится к абсорбирующему состоянию. Для этого столбца все вероятности остаются внутри ячейки равны 1, все остальные вероятности равны 0.

Модель позволяет установить зависимость производительности от массы материала в смесителе, и наоборот, по виду этой зависимости, относительно легко получаемой экспериментально, судить о поперечной неоднородности потока в смесителе. Величина производительности рассчитывается как

$$Q(m) = \sum_1^m v_{xj} \quad (3)$$

Для единичной порции трассера начальный вектор состояния может быть записан следующим образом:

$$S^0 = \frac{1}{\sum_1^m v_{xj}} [v_{x1} \ v_{x2} \ \dots \ v_{xm} \ 0 \ \dots \ 0]^T \quad (4)$$

Кривая распределения времени пребывания рассчитывается как последовательность выходов в абсорбирующую ячейку долей единичной порции трассера (ключевого компонента). Выход трассера может быть вычислен следующим образом:

$$E(i) = \sum_{m(n-1)+1}^{mn} (S_j^{i+1} - S_j^i) \quad (5)$$

Для расчетных оценок предположим, что распределение скоростей в потоке выглядит так, как показано на рис. 2,а. Этому распределению скоростей соответствует зависимость между загрузкой зоны смешивания и производительностью (рис. 2,б).

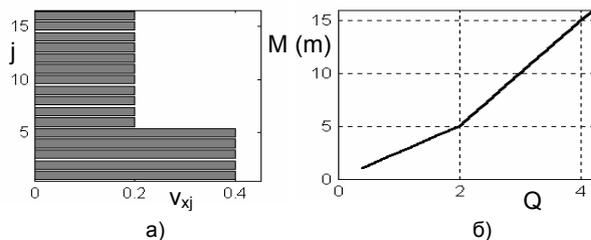


Рис. 2. Распределение скоростей в потоке материала (а) и соответствующая ему связь между производительностью и загрузкой (б)

Распределение времени пребывания при $d_x = d_y = 0; v_y = 0$ (рис. 3) соответствует идеальному трассеру. До тех пор, пока загрузка не достигла величины $M = m = 4$, распределение времени пребывания не зависит от загрузки и, соответственно, от производительности. После этого кривая распределения деформируется, и распределение постепенно становится бимодальным.

Расчетная оценка влияния стохастической составляющей движения потока и трассера показала, что рост продольного перемешивания d_x делает кривые распределения времени пребывания более пологими, а рост поперечного перемешивания d_y влияет весьма незначительно, поэтому для реального потока величиной d_y можно пренебречь.

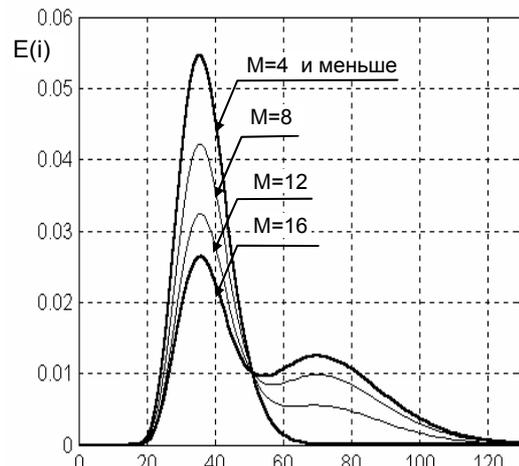


Рис. 3. Влияние параметров потока на распределение времени пребывания ($d_x = d_y = 0; v_y = 0$)

Анализ зависимости распределения времени пребывания от склонности трассера к сегрегации (рис. 4) показывает, что сегрегация трассера вниз слабо влияет на распределение времени пребывания в качественном отношении, на количественные изменения ее влияние также не очень существенно. Наоборот, сегрегация вверх, в область меньших скоростей, влияет значительно, а именно – усиливает тенденцию к бимодальности. Существенно, что при неидеальном трассере среднее расходное время пребывания материала и среднее время пребывания, рассчитанное по его распределению, оказываются неравными друг другу (рис. 4, верхний правый угол). Необходимо подчеркнуть, что эти выводы получены только для данной конфигурации потока, другая конфигурация может дать другие результаты, но все они могут быть оценены с помощью предложенной модели.

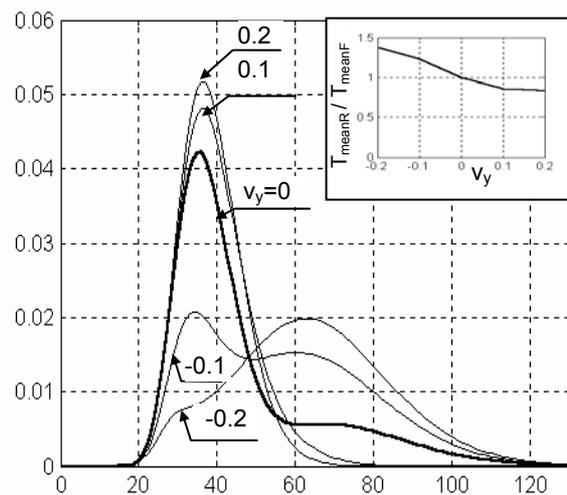


Рис. 4. Влияние сегрегации трассера на распределение времени пребывания ($M = 8; d_x = d_y = 0$)

Модель была применена для описания экспериментальных кривых распределения времени пребывания, полученных на лопастном смесителе непрерывного действия Gericke-500. На основе этой модели получено достаточно адекватное прогнозирование изменения формы кривых распределения времени пребывания в зависимости от роста произ-

водительности, приводящего к росту массы материала в смесителе и попаданию его части в зоны с меньшими скоростями продольного движения. Это позволяет использовать предложенную модель при расчете смесительного оборудования.

Список литературы

1. Марик К., Баранцева Е.А. и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2001. – Т. 44. – Вып. 2. – С.121–123.

Мизонов Вадим Евгеньевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной математики,
e-mail: mizonov@home.ivanovo.ru

Баранцева Елена Александровна,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики,
e-mail: barantseva77@mail.ru

Berthiaux Henri,
Горный институт (г. Алби, Франция),
доктор, профессор,
e-mail: berthiua@enstimac.fr

Gatumel Cenderin,
Горный институт (г. Алби, Франция),
доктор, доцент,
e-mail: gatumel@enstimac.fr

Хохлова Юлия Владимировна,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры прикладной математики,
телефон (4932) 26-97-45.