

УДК 66.011

**ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ТЕЧЕНИЯ
В ОРГАНИЗОВАННОМ ВЗВЕШЕННОМ СЛОЕ***А.С. БЕЛОУСОВ, Б.С. САЖИН***(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)**

Взвешивание слоя дисперсных или волокнистых материалов в аппаратах и устройствах с осевой симметрией обычно реализуется как под влиянием осевой скорости газа, действующей на часть слоя, ближайшую к ядру потока, так и при торможении дисперсных частиц в пристеночной области [1...4]. В аппаратах фонтанирующего слоя, применяемых для сушки волокнообразующих полимеров, обычно достаточно развита коническая часть, что приводит к интенсификации процесса не только в ядре потока, но и в пристеночной зоне. Теплообмен в пристеночной зоне еще более интенсифицируется при введении в конусную часть аппарата дополнительных горизонтальных струй [1...4]. Такой организованный взвешенный слой (ОВС) приобретает некоторое вращение и по аэродинамической схеме он приближается к взвешенному вихревому слою в аппаратах со встречными закрученными потоками [4] или в устройствах вихревого прядения [2]. Наибольшую сложность обычно составляет выявление внутренней структуры течения дисперсной фазы, особенно для тонкодисперсных и волокнистых слоев. Поэтому значительный интерес представляет исследование структур течения газозвесей для аппаратов с более крупнодисперсными материалами, поскольку здесь возможна организация более простых и точных экспериментов. При этом распространение результатов на устройства с аналогичной аэродинамической схемой в значительной степени будет определяться адекватностью

моделей, описывающих структуры течения.

Необходимо отметить, что имеются различные точки зрения как на структуру взвешенного слоя, так и на математические модели структуры потоков. По результатам прямых измерений, выполненных различными методами, отмечается неоднородность областей слоя, сильные циркуляционные течения, наличие двух, трех и более зон с различными скоростями и направлениями потоков дисперсной фазы. С другой стороны, при исследовании структуры течений в этих аппаратах методом трассера часто применяют модель идеального перемешивания или обычную ячеечную модель [1]. Более реалистичная модель, состоящая из двух секций смешения и циркуляционного контура, предложена в работах [3], [5]. Однако эта модель имеет фиксированную структуру, а для определения ее параметров применен интегральный метод моментов, при котором (в случае циркуляций в системе), часть информации о распределении времени пребывания материала может теряться. В данной работе предлагается многоконтурная циркуляционная модель (МКМ), учитывающая наличие в слое зон с различными свойствами, а также методика определения структуры и параметров модели. Каждый контур МКМ состоит из секционной модели в ядре потока и блока идеального вытеснения в циркуляционной линии.

Уравнения материального баланса трассера в ядре потока для k -го контура

МКМ в относительных координатах имеют вид:

$$\frac{dC_{1,k}}{d\theta} = N_k \lambda_k (1 - C_1(1 + R_k) + \bar{C}_k R_k) / M_k, \quad (1)$$

$$\frac{dC_{i,k}}{d\theta} = N_k \lambda_k (1 + R_k) (C_{i-1,k} - C_{i,k}) / M_k, \quad i=1, N_k, \quad (2)$$

для циркуляционной линии k -го контура:

$$\frac{\partial \bar{C}_k}{\partial \theta} = \lambda_k R_k \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial V} / B_k, \quad (3)$$

где N_k – число секций k -го контура в ядре потока; λ_k – доля общего потока в контуре; $R_k = Q_{r,k} / Q_k$ – поток рециркуляции;

$$C(\theta) = \sum_{k=1}^{\tilde{K}} \lambda_k \left(\sum_{j=1}^{\alpha_k} \left(\frac{A_{k,j} R_k^{j-1} \exp(-T_{k,j}((1+R_k)/(1-B_k))N_k) \Phi(T_{k,j})}{(1-B_k)^{N_k j} \Gamma(N_k j)} \right) \right),$$

$$A_{k,j} = (1 + R_k)^{(N_k-1)j} N_k^{N_k j} T_k^{(N_k j-1)}, \quad T_{k,j} = (1 - (j-1)B_k / R_k), \quad (4)$$

где α_k – число членов ряда обратного преобразования Лапласа; Γ – гамма-функция; Φ – функция Хевисайда. При $\tilde{K} = 1$ и $N_k = 2$ решение соответствует модели, предложенной в работе [3].

Для выбора адекватной структуры модели и определения ее параметров предлагается методика, построенная на идее совместного применения методов медленных компонентов [6] и нелинейного оценивания параметров по F -статистике [7]. На каждом шаге выполняется поиск параметров наиболее инерционного потока с использованием F -критерия. Интервал по времени θ , на котором производится поиск параметров, определяется с помощью анализа функции интенсивности.

Для более точного воспроизведения циркуляционных колебаний предварительно производится кубическая сплайн-интерполяция экспериментальных $C(\theta)$ -спектров. По интерполированной кривой $C^*(\theta)$ определяется интегральная функция распределения времени пребывания час-

B_k – объемная доля блока идеального вытеснения; M_k – объемная доля секции в ядре потока.

Общее решение уравнений (1)...(3) получаем с учетом соотношения между передаточной функцией системы $W_c(s)$ и передаточными функциями контуров $W_k(s)$:

$$W_c(s) = \sum_{k=1}^{\tilde{K}} \lambda_k W_k(s),$$

где s – комплексная переменная; \tilde{K} – число контуров в системе:

тиц материала $F^*(\theta) = \int_0^\theta C^*(z) dz$ и, соответственно экспериментальная функция интенсивности $L(\theta) = -d[\ln(1 - F^*(\theta))]/d\theta$.

Приближенное значение F -критерия рассчитывалось как:

$$F = (0,03 C_{\max})^2 / S_{\text{ост}},$$

где C_{\max} – максимум экспериментальной C -кривой, а $S_{\text{ост}}$ – остаточная дисперсия для модели соответствующего контура. Для поиска применялась процедура оптимизации по методу градиента. Как показали расчеты, для циркуляционных моделей могут возникать области локальных экстремумов. Для их отсева применялся метод случайного наброса начальных условий поиска на область допустимых значений параметров (не менее 10m вариантов при каждом поиске, где m – число параметров).

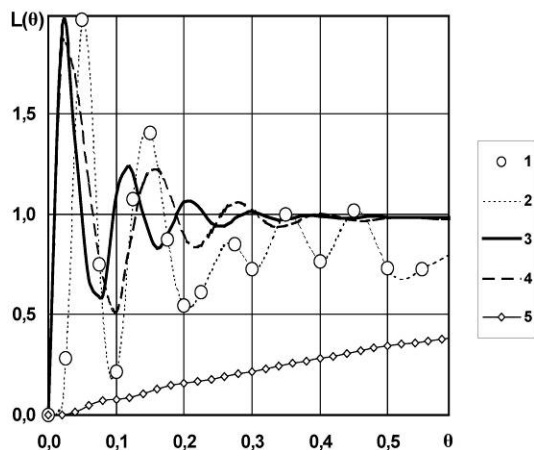


Рис. 1

На рис. 1 и 2 представлены расчетные и экспериментальные кривые L -функций, характеризующие циркуляционную структуру потоков в аппарате с диаметром $D = 0,18$ м и одинаковой высотой цилиндрической и конической части $H_{\text{ц}} = H_{\text{к}} = 0,2$ м. Использовался дисперсный материал с диаметром частиц $d_{\text{м}} = 1,2 \cdot 10^{-3}$. Прочие характеристики экспериментальной установки приведены в работе [5].

Данные на рис. 1 получены для модели с двумя секциями смешения. Кривые на рис. 1 обозначают: 1,2 – экспериментальная $L(\theta)$ -функция интенсивности в точках замеров и между ними; 3–функция интенсивности двухсекционной модели, параметры определены по методу моментов [5], $F = 33,06$; 4– функция интенсивности двухсекционной модели, параметр R_1 уточнен с помощью процедуры оптимизации, $F = 10,83$; 5– экспериментальная функция распределения времени пребывания $F^*(\theta)$.

На рис. 2 представлены данные, полученные для модели МКМ с помощью методики, изложенной в данной статье. Обозначения кривых на рис. 2 соответствуют обозначениям на рис. 1, за исключением: 3– модель МКМ, $k = 2$, $F = 3,89$; 4– двухпоточная модель МКМ без циркуляционных контуров, $F = 33,33$.

Как видно из полученных данных, двухсекционная модель не описывает полностью циркуляции в системе, при $\theta \geq 0,3$

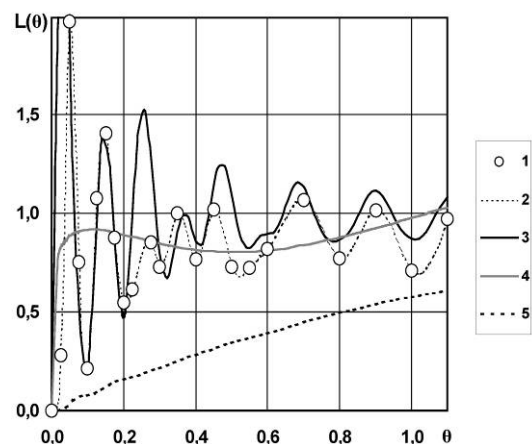


Рис. 2

модель прогнозирует полное затухание циркуляций. С другой стороны, из рис. 2 следует, что двухконтурная модель МКМ хорошо описывает все стадии циркуляционных процессов. При табличном значении критерия $F_T = 4,7$ только эта модель является адекватной. Точка минимума двухпоточной модели без циркуляций соответствует границе между областями влияния различных контуров.

Существование двух контуров циркуляции хорошо соответствует обнаруженной с помощью прямых замеров трехзонной структуре фонтанирующего слоя [1]. В устройствах вихревого прядения и при режиме разделения течений в аппарате со встречными закрученными потоками также следует ожидать двухконтурную циркуляцию материала в слое.

ВЫВОДЫ

1. Предложена многоконтурная циркуляционная модель взвешенного слоя и методика определения ее структуры и параметров.

2. Установлено существование двух контуров циркуляций во взвешенном слое, определена структура модели, описывающей это явление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1979.

2. Павлов Г.Г. Аэродинамические основы безверетенных способов прядения.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.

3. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. – М.: Наука, 1997.

4. Belousov A., Sazin B. Application of Guided Vortex Breakdown for Drying and Separation of the Powder in Vortex Cyclone// Proceeding of NDC-03, CD, Copenhagen, Denmark, 2003, P.1...5.

5. Сажин Б.С., Лукачевский Б.П., Кикалишвили О.И. и др. Структура перемешивания дисперсного материала в аппарате фонтанирующего слоя с хордальным вводом теплоносителя. Деп. в ЦНИИ-ТЭИлегпром, 1984, №952, ЛП–Д84.

6. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. – М.: Наука, 1976.

7. Белоусов А.С., Сажин Б.С. Диффузионная модель перемешивания в технологических аппаратах при малых числах Пекле //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, №2. С.96...100.

Рекомендована кафедрой процессов, аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 25.12.06.
