

УДК 66.047

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОЛИДИСПЕРСНОСТИ БЕЗУНОСНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Б.С. САЖИН, Л.Б. ДМИТРИЕВА, Д.Л. РАКУШИН

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

В химической, текстильной и других отраслях промышленности большинство массообменных технологических процессов проходит в условиях внешней или смешанной задачи массообмена. При этом значительную роль играет гидродинамическая обстановка внутри технологического аппарата (особенно при обработке полидисперсных материалов), поскольку она во многом определяет допустимые значения режимных параметров процесса.

Наибольшую эффективность можно получить, используя аппараты с управляемой гидродинамикой – к ним можно отнести аппараты со взвешенным слоем зернистого материала. Каждый из многочисленных режимов взвешенного слоя имеет свою область применения, в том числе классический кипящий слой (КС).

Использование КС сдерживается тем, что, несмотря на многочисленные исследования [1...5], многие вопросы остаются открытыми, в том числе вопрос нахождения расчетным путем области существования безуносного полидисперсного КС, характеризующей предельными значениями показателя полидисперсности i :

$$i = \frac{d_{\max}}{d_{\min}}, \quad (1)$$

где d_{\max} – эквивалентный диаметр частиц крупной фракции; d_{\min} – эквивалентный диаметр частиц мелкой фракции.

Показатель полидисперсности не должен превышать предельной величины, иначе для данного материала безуносный КС не может существовать. В то же время занижение i резко уменьшает область применения КС.

Для материалов со слабо выраженными адгезионно-когезионными свойствами предельные значения i можно получить расчетным путем. Существующие в специальной литературе рекомендации [1...5] крайне противоречивы и ненадежны, в связи с чем возникает необходимость разработки четкой методики определения предельных значений показателя полидисперсности i безуносного КС.

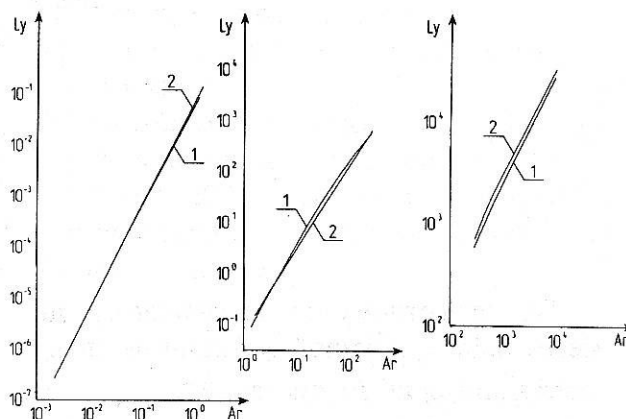


Рис. 1

Нами проведен анализ различных методов определения критических скоростей в КС. Установлено, что методы расчета скоростей витания по уравнению Тодеса

(2) и на основе баланса сил при обтекании одиночной частицы потоком (4) дают, как и следовало ожидать, практически совпадающие результаты (рис. 1: – зависимость критерия Лященко (Ly) от критерия Архимеда (Ar) для скорости витания частиц, рассчитанная по разным методам: 1 – по уравнению Тодеса (2); 2 – по уравнению (4)):

$$Re_{\text{внт}} = \frac{Ar}{18 + 0,6\sqrt{Ar}}, \quad (2)$$

где

$$Ar = \frac{gd^3}{v^2} \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}}; \quad Re_{\text{внт}} = \frac{V_{\text{внт}}d}{v}. \quad (3)$$

$$\xi Re_{\text{внт}}^2 = \frac{4}{3} Ar, \quad Re = \sqrt{\frac{4Ar}{3\xi}}. \quad (4)$$

Однако неудобством использования формул Тодеса является то, что и в левой и в правой части расчетного уравнения приводится величина d – диаметр частиц, то есть имеем уравнение с неразделенными переменными. Вследствие этого предпочтение было отдано методу И.С. Павлушенко, который ввел новый

критерий Лященко (Ly), получив таким образом расчетное уравнение с разделенными переменными:

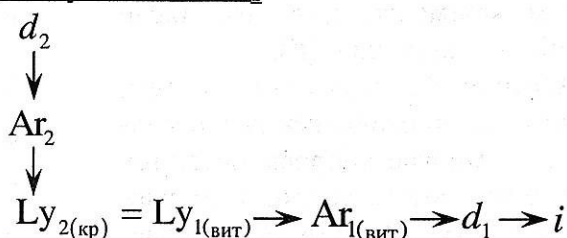
$$Ly = \frac{Re_{\text{внт}}^3}{Ar} = \frac{V_{\text{внт}}^3 d^3 v^2 \rho_{\text{г}}}{v^3 g d^3 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}})} = \frac{V_{\text{внт}}^3 \rho_{\text{г}}}{v g (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}})}. \quad (5)$$

В формулах (2)...(5) приняты обозначения: $Re_{\text{внт}}$ – критерий Рейнольдса при скорости витания $V_{\text{внт}}$ частиц; Ar – критерий Архимеда; Ly – критерий Лященко; d – эквивалентный диаметр частиц; ξ – коэффициент трения; $\rho_{\text{ч}}$ и $\rho_{\text{г}}$ – плотность частиц и газа соответственно.

В реальных условиях в полидисперсном материале одновременно существует несколько фракций частиц различного диаметра. Если частицы очень различаются своими размерами, то область существования КС может выродиться в точку или вообще не будет иметь места, так как крупные частицы полидисперсного материала останутся неподвижными, а мелкие будут уноситься с потоком газа.

Алгоритм расчета показателя полидисперсности i исходя из эквивалентного диаметра частиц крупной фракции (d_2) представлен ниже.

Алгоритм расчета i по d_2



По известному эквивалентному диаметру частиц крупной фракции d_2 определяется критерий Архимеда Ar_2 :

$$Ar = \frac{gd^3}{v^2} \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}}. \quad (6)$$

Затем по графику $Ly = f(Ar)$ для Ar_2 находится (при $\varepsilon = 0,4$) соответствующее значение Ly_2 – первое критическое значение

Ly , соответствующее скорости псевдооживления для частиц крупной фракции, и равное ему значение Ly_1 – второе критическое значение Ly , соответствующее скорости витания для частиц мелкой фракции с эквивалентным диаметром d_1 (при $\varepsilon = 1$), а также значение Ar_1 .

По величине Ar_1 рассчитывается эквивалентный диаметр частиц мелкой фракции d_1 (7) и искомый максимальный показатель полидисперсности (8), при котором

существует безуносный КС:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{A\Gamma_1 v^2 \rho_r}{(\rho_4 - \rho_r)g}} \quad (7)$$

Показатель полидисперсности i определяется как отношение d_2 к d_1 :

$$i = \frac{d_2}{d_1} \quad (8)$$

Принята следующая классификация материалов по эквивалентным диаметрам частиц крупной фракции d_2 :

- пылевидные материалы $10 \leq d_2 < 100$ мкм;
- мелкозернистые материалы $100 \leq d_2 < 1000$ мкм;
- крупнозернистые материалы $1 \leq d_2 \leq 5$ мм;
- гранулированные материалы $5 < d_2 \leq 10$ мм.

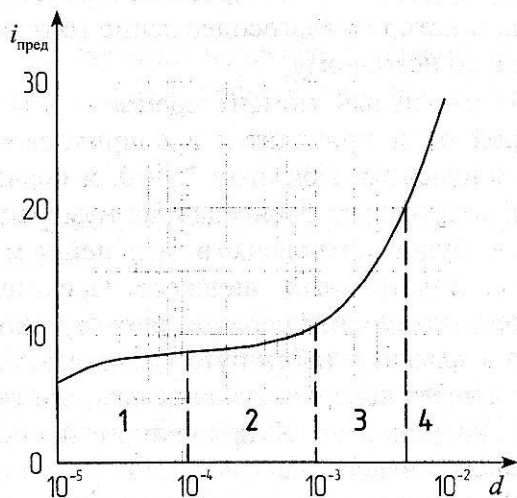


Рис. 2

Результаты расчетов, представленные в виде зависимости предельного значения $i_{пред}$ показателя полидисперсности от эквивалентного диаметра частиц крупной фракции d_2 для полидисперсного КС в безуносном режиме для различных групп дисперсных материалов ($\rho_m = 1100$ кг/м³, $t=20^\circ\text{C}$), показаны на рис. 2, где 1 – пылевидные; 2 – мелкозернистые; 3 – крупнозернистые; 4 – гранулированные материалы.

Как видно из рис. 2, расчетным путем установлено, что имеющиеся в литературе

рекомендации по ограничению предельного показателя полидисперсности i для безуносного полидисперсного КС (принято считать $i \approx 10$) являются не приемлемыми как для пылевидных, так и для крупнозернистых и гранулированных материалов.

Наши рекомендации по предельным значениям i для полидисперсного КС (в безуносном режиме) сводятся к следующему:

- для пылевидных материалов $6 \leq i < 8,5$;
- для мелкозернистых материалов $8,5 \leq i < 10$;
- для крупнозернистых материалов $10 \leq i < 20$;
- для гранулированных материалов $20 \leq i \leq 30$.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика и получены результаты, позволяющие четко определить область существования полидисперсного КС в безуносном режиме работы для основных типов дисперсных материалов и рассчитать необходимые режимные параметры. Кроме того, полученные результаты позволяют создать управляемую гидродинамическую обстановку в технологических аппаратах КС, предназначенных для сушки, грануляции, адсорбции и других технологических процессов.

2. Проведенные исследования позволили уточнить предельные значения i для широкого диапазона размеров частиц как пылевидных, мелкозернистых, так и крупнозернистых и гранулированных дисперсных материалов.

3. Разработана компьютерная программа расчета области существования полидисперсного КС, позволяющая представить результаты расчета в виде таблиц и в графической форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчеты аппаратов кипящего слоя / Под ред. И.П. Мухленова, Б.С. Сажина и В.Ф. Фролова. – Л.: Химия, 1986.
2. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. – М.: Химия, 1967.
3. Псевдооживление / Под ред. Н.Ф. Дэвидсона и Д. Харрисона. – М.: Химия, 1974.

4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу ПАХТ.– М.: Химия, 1981.
5. Розенбаум Р.Б., Тодес О.М. – ДАН СССР. Т.115., 1957, № 3.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 30.05.05.
