Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова, т. ХХУШ, 1978 г.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ ЧАСТИЦ В АППАРАТЕ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ РЕАГЕНТОВ

И.Н.БЕЛОГЛАЗОВ, Ф.Т.БУМАЖНОВ

В металлургической и химической отраслях промышленности широкое распространение получили реакторы с циркуляцией реагентов [I]. Применение циркуляции позволяет достаточно точно регулировать степень превращения реагирующих веществ, проводить процесс с избыточным количеством одного из реагентов, который вводится с рециркулянтом и уменьшает выход побочных продуктов реакции. Особый интерес при исследовании работы аппаратов с циркуляцией представляет мало изученный вопрос о распределении времени пребывания частиц в таких установках, т.е. определение функции распределения частиц по времени их пребывания в реакторе.

А.Бросман, А.Вебер и Э.Бариш [3] предложили следующую функцию распределения частиц по времени их пребывания в аппарате с перемешиванием и циркуляцией:

$$f(m\tau_c)=\left(1-\frac{\tau_c}{\bar{\tau}}\right)^m \qquad (I)$$

где m – количество периодов циркуляции; τ_c – продолжительность одного цикла; $\bar{\tau}$ – среднее время пребывания частиц в аппарате.

Существенным недостатком такой модели является то, что функция распределения [I] имеет прерывный характер и лишь в предельном случае, когда $\tau_c/\bar{\tau} \to 0$, становится непрерывной, но при этом режим работы реактора приближается к идеальному перемешиванию [3] Указанное обстоятельство затрудняет использование функции (I) для практических расчетов, поэтому представляет определенный интерес разработка новой математической модели аппарата указанного типа, описывающей работу оборудования в более широком интервале времени.

Рассмотрим работу реактора идеального перемешивания объемом V с внешним циркуляционным потоком (рис.I). Для вывода функции распределения частиц по времени их пребывания в таком аппарате предположим, что в установившийся поток ($Q = const$) в момент времени $\tau = 0$ импульсно введено n_0 частиц инертного индикатора, причем часть индикатора поступает

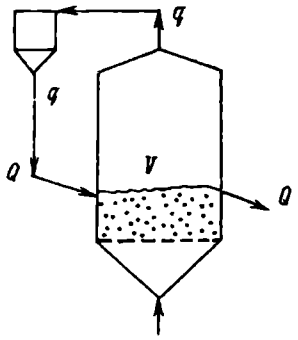


Рис. 1. Схема работы реактора с внешним циркуляционным потоком

на циркуляцию, часть – на выход из аппарата, а остаток задерживается в самом реакторе. Уравнение материального баланса для такого аппарата имеет вид

$$-\frac{f(\tau)-f(\tau+\Delta\tau)}{\Delta\tau}=\frac{Q}{V}\,\frac{n_k}{n_{k-1}} \qquad (2)$$

где $f(\tau)$ и $f(\tau+\Delta\tau)$ – доли частиц от исходного количества индикатора, задержавшихся в реакторе к моменту времени соответственно τ и $(\tau+\Delta\tau)$, $f(\tau)=n/n_0$; n_k/n_{k-1} – доля частиц, задержавшихся в реакторе за промежуток времени $\Delta\tau$

Определим, какое количество частиц задержится в реакторе за период циркуляции τ_c Будем определять количество частиц, находящихся в реакторе, через равные промежутки времени $\Delta\tau$ Результаты наблюдений представим в виде последовательных величин

$$n_0;\ n_1;\ n_2;\ \ldots\ n_{k-1};\ n_k;\ \ldots;\ n_{i-1},\ n_i$$

где $i=\tau_i/\Delta\tau$ – число наблюдений за время τ_i .

Доли частиц индикатора, задержавшихся в аппарате к моменту очередного наблюдения, соответственно равны

$$\frac{n_0}{n};\ \frac{n_1}{n_2};\ \frac{n_2}{n_3};\ \ldots\ \frac{n_{k-1}}{n_k};\ \ldots;\ \frac{n_{i-2}}{n_{i-1}},\ \frac{n_{i-1}}{n_i} \qquad (3)$$

При установившейся скорости движения потока и идеальном перемешивании за равные промежутки времени доли частиц, задерживающихся в аппаратуре, равны между собой. Перемножая почленно величины (3) друг на друга, получим равенство

$$\frac{n_0}{n_i}=\left(\frac{n_{k-1}}{n_k}\right)^i \qquad (4)$$

которое при условии $i=\text{const}$ справедливо для любого промежутка времени τ.

Подставляя равенство (4) в уравнение (2) и обозначив $\bar{\tau}=V/Q$, при $\Delta\tau \to d\tau$ преобразуем уравнение (2) к виду

$$-\frac{df(\tau)}{d\tau}=-\frac{d\,\frac{n}{n_0}}{d\tau}=\frac{1}{\bar{\tau}}\left(\frac{n}{n_0}\right)^{\frac{1}{i}} \qquad (5)$$

Разделим переменные и проинтегрируем выражение (5) по $\frac{n}{n_0}$ в пределах от I до $\frac{n}{n_0}$ и по τ от 0 до τ , тогда

$$f(\tau)=\frac{n}{n_0}=\left[1-(1-c)\,\frac{\tau}{\bar{\tau}}\right]^{\frac{1}{1-c}} \qquad (6)$$

где $c=1/i$ – величина, характеризующая циркуляционный режим.

Таким образом, область существования предложенной математической

модели находится между моделями идеального перемешивания и периодического действия (рис. 2).

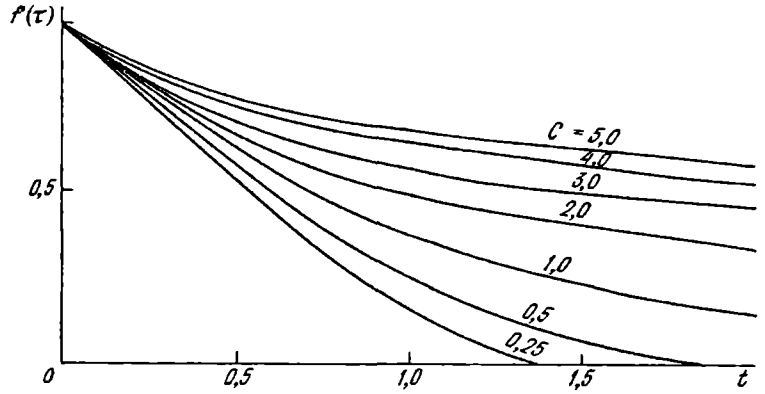


Рис. 2. Функция распределения частиц по времени их пребывания в реакторе с циркуляционным потоком

Параметр C можно определить графическим и аналитическим способами [2] При графическом способе уравнение (5) логарифмируют:

$$\ln\left|\frac{d\,1-\frac{n}{n_0}}{d\tau}\right| = \ln\frac{1}{\tau} + C\ln\frac{n}{n_0} \qquad (7)$$

и параметр C находят как тангенс угла наклона прямой, построенной в системе координат

$$\ln\left|\frac{d\,\frac{n}{n_0}}{d\tau}\right| = f\left[\ln\frac{n}{n_0}\right]$$

Для определения параметра C используется экспериментальная кривая функции распределения, полученная при импульсном вводе индикатора в исследуемый аппарат.

При аналитическом способе нахождения параметра C используется интегральная функция распределения (6), для чего на экспериментальной кривой выбирается два значения $\frac{n}{n_0}$, связанные соотношением

$$\frac{n_1}{n_0} = \left(\frac{n_2}{n_0}\right)^2 \qquad (8)$$

и формула

$$C = 1 + \frac{\ln\frac{\tau_1}{\tau_2} - 1}{\ln\frac{n_2}{n_0}} \qquad (9)$$

где τ_1 и τ_2 – моменты времени, отвечающие значениям соответственно $\left|\frac{n_1}{n_0}\right|$ и $\left|\frac{n_2}{n_0}\right|$ на кривой распределения.

Таким образом, использование предложенной модели для определения скорости циркуляции реагентов позволяет значительно упростить расчеты, связанные с выбором оптимальных режимов циркуляции.

Литература

1. Брайнес Я.М. Введение в расчеты химических и нефтехимических реакторов. М., Химия, 1976.

2. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. М., Химия, 1969.

3. Brotman A., Weber A., Barish E. - Chem.Met.Eng. 7, III ,1945.