

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРЯМОТОЧНОЙ СТУПЕНИ КОНТАКТА

Ранее [1] для математического описания эффективности прямоточной ступени контакта была предложена гидродинамическая модель, учитывающая циркуляцию жидкости между отдельными элементами ступени. Экспериментальная проверка адекватности модели реальному процессу проведена на ступени, выполненной в виде лотка 70 x 300 с четырьмя элементами диаметром 20 мм, расположенными в один ряд. Количество жидкости, поступающей в элемент, замерялось с помощью специальной ловушки, и на основании этих замеров определялась доля циркулирующей жидкости. Опыты показали, что во всех случаях эффективность ступени ниже расчетной, а доля циркулирующей жидкости весьма мала. Более того, результаты значительной части опытов показывают, что на тарелке наблюдается явление байпасирования жидкости. Это явление подтвердилось и при визуальном наблюдении за характером потока жидкости с помощью введения в поток трассирующего вещества – метиленового синего. Следовательно, расчетная зависимость должна учитывать явление байпаса жидкости как через всю ступень, так и через некоторые элементы.

На основании вышеизложенного для описания структуры потока жидкости на тарелке предложена модель (рис. 1), учитывающая доли: циркулирующей жидкости φL , байпасирующей через всю тарелку βL и жидкости, проскакивающей, по край-

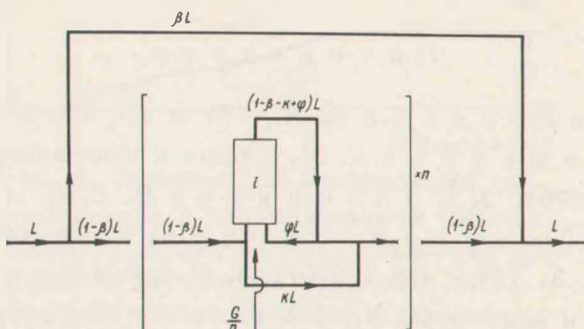


Рис. 1. Схема распределения потоков по модели.

ней мере, мимо одного элемента к L . Допущение о равномерном распределении пара по элементам оставлено в силе.

Выражение для эффективности контакта по предложенной модели получено с использованием модели функции распределения [2] и имеет вид для жидкой фазы:

$$E_{mL} = \frac{1 - a}{1 - \frac{1}{\lambda}(1 - a)}, \quad (1)$$

где

$$\lambda = \frac{mG}{L},$$

$$a = \beta + (1 - \beta) \left\{ \frac{k}{1 - \beta} + \frac{(1 - \beta - k)^2 \bar{c}(\lambda_i; E_V)}{(1 - \beta) [1 - k - \beta + \varphi - \varphi \bar{c}(\lambda_i; E_V)]} \right\}^n, \quad (2)$$

$\bar{c}(\lambda_i, E_V)$ - изображение по Лапласу функции плотности распределения времени пребывания для отдельного элемента при $p = \lambda_i, E_V$; p - параметр Лапласа; E_V - локальная эффективность

$$\lambda_i = \frac{mG}{nL(1 - \beta - k + \varphi)}. \quad (3)$$

Значение $\bar{c}(\lambda_i, E_V)$ зависит от структуры потока жидкости в элементе. Чтобы отделить влияние данного фактора, получена зависимость E_{mL} от эффективности элемента E_3 . В этом случае уравнение (2) имеет вид

$$a = (1 - \beta) \left\{ \frac{k\varphi\lambda E_3 + (1 - \beta)(1 - \beta - k)x}{(1 - \beta)\{\varphi\lambda E_3 + (1 - \beta - k)x\}} \times \frac{x [nE_3(1 - \beta - k + \varphi) + \lambda] - (1 - \beta - k)^2 \lambda E_3}{[E_3 n(1 - \beta - k + \varphi) + \lambda]} \right\}^n. \quad (4)$$

Подставив (4) в (1), получим эффективность ступени контакта, выраженную через эффективность элемента:

$$E_{mL} = \frac{(1 - \beta) \left\{ 1 - \frac{[k\varphi\lambda E_3 + (1 - \beta)(1 - \beta - k)[E_3 n(1 - \beta - k + \varphi) + \lambda] - (1 - \beta - k)^2 \lambda E_3}{(1 - \beta)\{\varphi E_3 \lambda + (1 - \beta - k)x\}} \right\}^n}{1 - \frac{1 - \beta}{\lambda} \left\{ 1 - \frac{[k\varphi\lambda E_3 + (1 - \beta)(1 - \beta - k)[E_3 n(1 - \beta - k + \varphi) + \lambda] - (1 - \beta - k)^2 \lambda E_3}{(1 - \beta)\{\varphi E_3 \lambda + (1 - \beta - k)x\}} \right\}^n}$$

$$x \cdot \frac{\left. \begin{array}{l} - (1 - \beta - k)^2 \lambda E_3 \\ \left[E_3 n (1 - \beta - k + \varphi) + \lambda \right] \end{array} \right\}^n}{\left. \begin{array}{l} - (1 - \beta - k)^2 \lambda E_3 \\ \left[E_3 n (1 - \beta - k + \varphi) + \lambda \right] \end{array} \right\}^n} \cdot \quad (5)$$

При отсутствии байпаса ($\beta = 0$) уравнение (5) принимает вид

$$E_{m\bar{L}} = \frac{1 - \left[\frac{k \varphi E_3 \lambda + (1 - k) [E_3 n (1 - k + \varphi) + \lambda] - (1 - k)^2 E_3 \lambda}{\varphi E_3 \lambda + (1 - k) [E_3 n (1 - k + \varphi) + \lambda]} \right]^n}{1 - \frac{1}{\lambda} \left\{ 1 - \left[\frac{k \varphi E_3 \lambda + (1 - k) [E_3 n (1 - k + \varphi) + \lambda] - (1 - k)^2 E_3 \lambda}{\varphi E_3 \lambda + (1 - k) [E_3 n (1 - k + \varphi) + \lambda]} \right]^n \right\}} \quad (6)$$

При отсутствии проскоков и байпаса ($k = \beta = 0$)

$$E_{mL} = \frac{1 - \left[\frac{E_3 n (1 + \varphi) + \lambda (1 - E_3)}{E_3 n (1 + \varphi) + \lambda (1 + \varphi E)} \right]^n}{1 - \frac{1}{\lambda} \left\{ 1 - \left[\frac{E_3 n (1 + \varphi) + \lambda (1 - E_3)}{E_3 n (1 + \varphi) + \lambda (1 + \varphi E)} \right]^n \right\}} \quad (7)$$

что совпадает с ранее полученным уравнением (1). Для тарелки без циркуляции, байпасов и проскоков

$$E_{mL} = \frac{1 - \left(\frac{E_3 n + \lambda - \lambda E_3}{E_3 n + \lambda} \right)^n}{1 - \frac{1}{\lambda} \left[1 - \left(\frac{E_3 n + \lambda - \lambda E_3}{E_3 n + \lambda} \right)^n \right]} \quad (8)$$

Наконец, при $n = 1$ и $\beta = k = \varphi = 0$

$$E_{mL} = E_{\varnothing} \quad (9)$$

Представляет интерес описание эффективности одного элемента с циркуляционным контуром. Из (7) при $n = 1$ получим

$$E_{mL} = \frac{(1 + \varphi) E_{\varnothing}}{\varphi E_{\varnothing} + 1} \quad (10)$$

Если принять, что в каждом элементе происходит полное перемешивание жидкости, то, используя связь [3] между локальной эффективностью (равной в данном случае эффективности элемента по газу) и эффективностью

$$E_{\varnothing} = \frac{E_V}{E_V + \frac{1 + \varphi}{\lambda} (1 - E_V)} \quad (11)$$

получим

$$E_{mL} = \frac{E_V}{E_V - \frac{1}{\lambda} (E_V - 1)}$$

или

$$E_{mL} = \frac{E_{mG}}{E_{mG} - \frac{1}{\lambda} (E_{mG} - 1)} \quad (12)$$

Таким образом, эффективность ступени с циркуляцией при постоянной локальной эффективности и полном перемешивании жидкости в пределах одного элемента не зависит от доли циркулирующей жидкости. Циркулирующая часть жидкости, поскольку ее концентрация равна выходящей из элемента, не участвует в процессе массообмена и не влияет на эффективность контура с циркуляцией.

Однако в применении к реальным условиям этот вывод не корректен, поскольку локальная эффективность есть функция времени контакта [3], определяемого для элемента как

$$\bar{\tau} = \frac{V}{L(1 + \varphi)} \quad (13)$$

где V – объем жидкости, находящейся одновременно в элементе, т.е. и E зависит от φ .

Анализ уравнения (5) показывает, что по степени влияния байпас, проскок и циркуляция располагаются именно в указанном порядке. Байпас и проскок уменьшают эффективность ступени, циркуляция (при $E = \text{const}$), согласно уравнению (10), увеличивает ее.

Л и т е р а т у р а

1. Кацашвили В.Г., Зорина Г.И., Ершов А.И. Химия и химическая технология, 8, Минск, 1974.
2. Foss A.S., Gerster J.A., Pigford R.L. A.I.Ch.E.J., 4; N 2 (1958).
3. Bubble Fray Design Manual. A.I.Ch.E, N. - J, (1958).

В.И. Жалковский, А.И. Ершов

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЯМОТОЧНО-ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Проведение широких исследований по массообмену в прямоточных контактных устройствах [1-8] обусловлено необходимостью разработки методики расчета скоростных аппаратов и их промышленного внедрения.

Перенос массы при взаимодействии фаз в закрученном потоке определяется влиянием различных факторов – расходом газа и жидкости, степенью их турбулизации, физико-химическими свойствами системы, толщиной жидкостной пленки и т. д. Целью данной работы явилось изучение влияния расходных параметров и движущей силы процесса на эффективность массообмена в прямоточно-центробежном контактном элементе при десорбции CO_2 из водного раствора воздухом.

Размеры исследуемого элемента были следующими: внутренний диаметр контактного патрубка 32 мм (средняя шероховатость стенок $R_z = 21,1$ мкм), длина патрубка $4,5d$, размеры шелей закручивателя $32 \times 4,2$ мм, количество – шесть.