

АНАЛИЗ МАССООБМЕНА В КОЛОННЫХ АППАРАТАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ОБНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТА ФАЗ

Ю. А. ЗАЯЦ, В. М. ТАРАН, В. А. АНИСТРАТЕНКО

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт
пищевой промышленности

В работе [1] для расчета коэффициентов массообмена в жидкой фазе $\beta_{жк}$ использовано основное уравнение модели обновления поверхности:

$$\beta_{жк} = \sqrt{DS}, \quad (1)$$

где D — коэффициент молекулярной диффузии, m^2/c ;

S — частота обновления поверхности контакта фаз, c^{-1} :

$$S = 1/\tau, \quad (2)$$

τ — время контакта фаз, c .

Показано [2], что при некотором $\tau = \tau_0$ имеет место максимум эффективности, поэтому всегда необходимо соблюдать основное условие протекания массообменного процесса:

$$\tau \geq \tau_n, \quad (3)$$

где τ_n — время перехода вещества из одной фазы в другую, c .

Кроме того, τ — определяющий параметр при характеристике гидродинамической структуры двухфазного потока.

На контактных устройствах $KУ$ с прямоточной зоной взаимодействия фаз газ истекает в жидкость с большой скоростью в виде струй. При определенном соотношении расходов газа и жидкости будет происходить инверсия фаз, т. е. жидкость становится дисперсной, а газ — дисперсионной фазой. Такой режим характерен при работе чешуйчатых $KУ$ и разработанных на их основе $KУ$ с двумя зонами контакта фаз в диапазоне скоростей газовой фазы $v, \geq 1,3$ м/с при жидкостной нагрузке $L \leq 0,0056$ $m^3/m^2 \cdot c$ [3]. В этом случае на поверхности контакта жидкости с газовой струей будут образовываться капли жидкости и уноситься газом. Движение капель происходит здесь в результате взаимодействия их с газовыми струями за счет трения. Поэтому частота обновления поверхности контакта S будет определяться временем контакта капель жидкости со струей газа.

Величина τ может быть определена из соотношения: $\tau = l_k/v$, (4)

где l_k — путь, пройденный каплей жидкости, т. е., путь контакта ее с газом;

v — средняя пульсационная скорость капли на отрезке l_k , м/с;

$$v = 0,5(v_0 + v_k), \quad (5)$$

где v_0, v_k — пульсационная скорость капли соответственно в момент времени $t=0$ и $t=\tau$, м/с.

В момент поступления жидкости на $KУ$ ее скорость в среднем на 1—2 порядка меньше скорости газа в сечении $KУ$, которая определяет v_k , поэтому обычно принимают, что $v_0=0$.

Для определения величин, входящих в уравнения (4) и (5), запишем уравнение движения газожидкостной смеси и уравнение движения капли сферической формы в струе газа [4]:

$$du + m dv = 0 \quad (6); \quad \frac{\pi d^2}{4} C_x = \frac{\rho_z (u - v)^2}{2} = \frac{\pi d^3}{6} \rho_k \frac{dv}{dt}, \quad (7)$$

где u — пульсационная составляющая скорости газа, м/с;
 m — соотношение расходов фаз в газожидкостном потоке;

$$m = L/G, \quad (8)$$

G, L — расход соответственно газа и жидкости, кг/с;

d — диаметр капели, м;

ρ_z, ρ_k — плотность соответственно газа и жидкости, кг/м³;

C_x — коэффициент сопротивления капели.

Как показано [5], диаметр образующихся капели определяется критической величиной числа Вебера We и рассчитывается по уравнению:

$$d = We_{кр} \sigma / \rho_z \omega_0, \quad (9)$$

где σ — поверхностное натяжение на границе газ—жидкость, Н/м;

ω_0 — начальная скорость истечения газа из отверстия КУ, м/с.

Режим движения капли в общем случае — нестационарный, т. е. имеет место изменение u и v по длине струи газа, однако в технических расчетах режим трения можно оценить по начальным скоростям движения при $t=0$:

$$u = u_0, \quad v = v_0 = 0. \quad (10)$$

Если принять для отдельных капели закон сопротивления Стокса, т. е. определяя величину C_x из соотношения:

$$C_x = 24/Re_z, \quad Re_z = (u - v) d / \nu_z, \quad (11)$$

то можно легко проинтегрировать уравнения (6) и (7) с учетом выражений (10) и (11):

$$u - u_0 + mv = 0; \quad (12)$$

$$\ln u - v/u_0 = -N(1 + m)\tau, \quad (13)$$

где

$$N = 18 \mu_z / \rho_k d^2.$$

В момент истечения газа из отверстия КУ пульсационная скорость его равна:

$$u_0 = L_k d\omega/dz, \quad (14)$$

где $d\omega/dz$ — изменение скорости газовой фазы в направлении перпендикулярном оси газовой струи, истекающей из отверстия КУ, с⁻¹.

В случае прямоочной зоны контакта ось z направлена по высоте колонного аппарата. В работе [6] показано, что газовая струя, истекающая из прямоочной зоны контакта (арочной чешуи), большую часть импульса (80—90%) передает на расстоянии до 0,08 м. Передав импульс жидкости, газ уходит из зоны контакта, поднимаясь вертикально вверх на вышележащее КУ. Таким образом, скорость газовой фазы изменяется на отрезке 0,08 м от ω_0 до скорости газа в свободном сечении колонны ω_k . Следовательно, для КУ с прямоочной зоной контакта фаз в виде арочных чешуй величину $d\omega/dz$ можно определить из выражения:

$$d\omega/dz = \omega_0 - \omega_k / 0,08.$$

Путем несложных преобразований уравнений (12), (13), (14) получаем выражение для расчета τ :

$$\ln \left[1 - \frac{2(m+1)}{(d\omega/dz)\tau} \right] = -N(1+m)\tau. \quad (15)$$

Уравнение (15) является трансцендентным относительно τ , поэтому решить его целесообразно на ЭВМ методом итераций для заданной степени точности.

Если режим движения капели в струе газа — переходный или тур-

булентный, то тогда C_x определяется по уравнениям [4]. В этом случае интеграл уравнения (15) не содержит логарифма и получается выражение, которое можно в явном виде решить относительно τ . По найденным значениям τ из выражений (1) и (2) определяем величину $\beta_{ж}$.

На рисунке показана зависимость условных коэффициентов массообмена в жидкой фазе $\beta'_{ж}$ от скорости газа в колонне, полученная экспериментально (кривые 1, 1', 3, 3') и рассчитанная на основе модели обновления поверхности (кривые 2, 2', 4, 4'). Экспериментальные $\beta'_{ж}$ получены по известной методике на примере десорбции CO_2 из воды воздухом [7]. Исследовались чешуйчатые (струйные) КУ (штриховые линии) и устройства из S-образных элементов с дополнительной прямоточной зоной контакта (сплошные линии). Для этого S-образные элементы в верхней горизонтальной плоскости снабжены арочными чешуями, создающими устойчивый направленный ввод газовой фазы. Диаметр колонны 0,5 м, свободное сечение чешуйчатых КУ — 9,5%, устройств с двумя зонами контакта фаз — 12%, в том числе прямоточной зоны — 1,5% [8].

Для перехода от истинных коэффициентов массообмена $\beta_{ж}$, полученных по уравнению (1), к условным $\beta'_{ж}$ использовали соотношение:

$$\beta'_{ж} = \beta_{ж} A, \quad (16)$$

где A — удельная поверхность контакта фаз, m^2/m^2 .

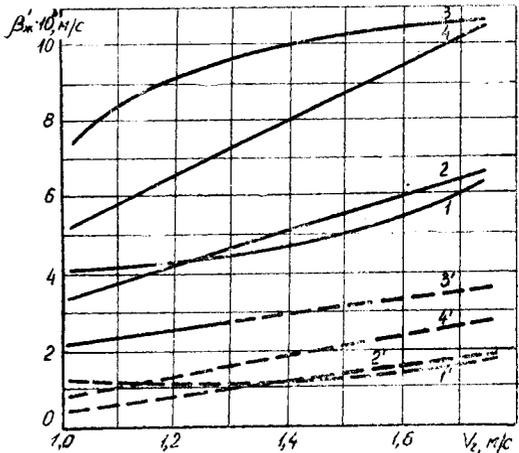
Величину A для исследованных КУ определяли по уравнениям, полученным в работе [3].

Сравнивая экспериментальные и расчетные значения $\beta'_{ж}$, можно отметить довольно хорошее совпадение, особенно при работе КУ в условиях струйного режима, когда происходит инверсия фаз и двухфазный поток представляет собой газопыльные струи, несущие капли жидкости. Так, максимальное различие между экспериментальными и расчетными $\beta'_{ж}$ при переходе от начала к развитому струйному режиму уменьшается с 30 до 2%. Аналогичное явление наблюдается при изменении расхода жидкости. Увеличение жидкостной нагрузки приводит к снижению турбулентности двухфазного потока при том же значении v_2 и, следовательно, погрешность увеличивается.

Отметим еще два положительных результата, связанных с применением модели обновления для анализа массообмена. Во-первых, появляется возможность по данным гидродинамических исследований определять истинные массообменные характеристики, не проводя сложных опытов по массообмену. Во-вторых, как следует из выражения (16), имея результаты исследований по гидродинамике и массообмену, можно определить величину удельной поверхности контакта фаз.

ВЫВОДЫ

1. Применение модели обновления поверхности контакта фаз поз-



Значения L , кг/с: 1, 1', 2, 2' — $5,45 \cdot 10^{-1}$;
3, 3', 4, 4' — $16,35 \cdot 10^{-1}$

воляет произвести аналитический расчет коэффициентов массообмена на контактных устройствах в условиях струйного режима их работы.

2. Использование модели обновления дает возможность определить истинные массообменные характеристики, а также рассчитать величину удельной поверхности контакта фаз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулов Н. Н., Максимов В. В., Малюсов В. А., Жаворонков Н. М. Массоотдача в стекающих пленках жидкости. — Теор. основы хим. технологии, 1983, № 3, с. 291.
2. Заяц Ю. А., Таран В. М., Анистратенко В. А. Влияние времени пребывания жидкости на эффективность массообменных контактных устройств. — Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1984, № 1, с. 112.
3. Анистратенко В. А. Прямочные контактные устройства брагоректификационных установок. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — 159 с.
4. Дейч М. Е., Филлипов Г. А. Газодинамика двухфазных сред. — М.: Энергоиздат, 1981. — 472 с.
5. Itchematiz J. Maximale Gasbelastung von Bodenkolonnen. — Ver — fahrenstechnik, 1974, В. 8, № 11, s. 323.
6. Анистратенко В. А., Стабников В. Н. Гидродинамика сухих чешуйчатых тарелок массообменных колонн. — Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1963, № 3, с. 143.
7. Анистратенко В. А., Таран В. М., Заяц Ю. А. Исследование массообмена в тарельчатых аппаратах с направленным движением фаз. — Киев: Пищ. пром-сть, 1982, № 2, с. 41.
8. Заяц Ю. А., Анистратенко В. А. Исследование гидродинамических характеристик барботажно-прямоточных тарелок. — Киев: Пищ. пром-сть, 1981, № 4, с. 39.

Кафедра технологического оборудования
пищевых производств

Поступила 28 III 1986