

Бальчугов Алексей Валерьевич,
д.т.н., профессор кафедры МАХП, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: balchug@mail.ru
Бонгосурен Тувшинтур,
главный технолог инженерного центра подвижных составов Уланбаторской железной
дороги, Монголия

КРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТА ФАЗ

Balchugov A.V., B. Tuvshintur

CRITERIAL DEPENDENCE FOR DETERMINING THE SPECIFIC SURFACE OF PHASE CONTACT

Аннотация. Получено критериальное уравнение для определения удельной поверхности контакта фаз на массообменной ситчатой тарелке методом анализа размерностей.

Ключевые слова: критериальное уравнение, удельная поверхность контакта фаз, массообменная ситчатая тарелка, метод анализа размерностей.

Abstract. A criterion equation is obtained for determining the specific surface of phase contact on a mass-exchange sieve plate by the method of dimensional analysis.

Keywords: criterion equation, specific phase contact surface, mass-exchange sieve plate, dimensional analysis method.

Удельная поверхность контакта фаз является важной характеристикой работы массообменных контактных устройств [1]. От удельной поверхности контакта фаз зависит интенсивность массопередачи. Методом анализа размерностей получим общий вид критериальной зависимости для определения удельной поверхности контакта фаз a ($\text{м}^2/\text{м}^3$) в газожидкостном слое на ситчатой тарелке. Удельная поверхность контакта фаз зависит от скорости газа w_2 ($\text{м}/\text{с}$), плотности газа ρ_2 ($\text{кг}/\text{м}^3$), диаметра отверстий в ситчатой тарелке d (м), плотности жидкости $\rho_{ж}$ ($\text{кг}/\text{м}^3$), вязкости жидкости $\mu_{ж}$ ($\text{Па}\cdot\text{с}$), коэффициента поверхностного натяжения σ ($\text{Н}/\text{м}$). Примем, что при $\mu_{ж} \gg \mu_{г}$ вязкостью газа $\mu_{г}$ можно пренебречь. Также примем, что скорость жидкости на тарелке $w_{жс}$ в сравнении со скоростью газа w_2 пренебрежимо мала. Зависимость удельной поверхности контакта фаз от перечисленных параметров может быть записана в виде:

$$a = f(w_2, \rho_2, d, \rho_{жс}, \mu_{жс}, \sigma). \quad (1)$$

С помощью метода анализа размерностей заменим функцию (1) критериальной зависимостью. Число переменных $p=7$, число их единиц измерения (длины, времени и массы) $k=3$. Тогда, в соответствии с теоремой Бэкингема [2], число безразмерных комплексов, описывающих процесс, должно быть равно $(p-k)=4$.

Представим функцию (1) в виде приближенной степенной зависимости:

$$a = C \cdot w_2^x \rho_2^y d^z \rho_{жс}^n \mu_{жс}^m \sigma^q, \quad (2)$$

где C – безразмерный коэффициент; x, y, z, n, m, q – безразмерные показатели степени.

Размерности величин, входящих в уравнение (2):

$$[a] = \left[\frac{M^2}{M^3} \right] = [M^{-1}]; [w_2] = \left[\frac{M}{c} \right]; [\rho_2] = \left[\frac{K\mathcal{Z}}{M^3} \right]; [d] = [M];$$

$$[\rho_{жс}] = \left[\frac{K\mathcal{Z}}{M^3} \right]; [\mu_{жс}] = [Pa \cdot c] = \left[\frac{H \cdot c}{M^2} \right] = \left[\frac{K\mathcal{Z}}{M \cdot c} \right]; [\sigma] = \left[\frac{H}{M} \right] = \left[\frac{K\mathcal{Z}}{c^2} \right].$$

Составим для уравнения (2) равенство размерностей левой и правой частей:

$$[M^{-1}] = \left[\frac{M}{c} \right]^x \cdot \left[\frac{K\mathcal{Z}}{M^3} \right]^y \cdot [M]^z \cdot \left[\frac{K\mathcal{Z}}{M^3} \right]^n \cdot \left[\frac{K\mathcal{Z}}{M \cdot c} \right]^m \cdot \left[\frac{K\mathcal{Z}}{c^2} \right]^q. \quad (3)$$

Преобразуем равенство (3) по показателям степеней при одинаковых единицах измерения (M , $K\mathcal{Z}$, c) для обеих частей уравнения:

$$\begin{aligned} -1 &= x - 3y + z - 3n - m, \\ 0 &= y + n + m + q, \\ 0 &= -x - m - 2q. \end{aligned} \quad (4)$$

В системе из трех уравнений (4) – шесть неизвестных. Выразим переменные x , y , z через n , m , q :

$$\begin{aligned} x &= -m - 2q, \\ y &= -n - m - q, \\ z &= -m - q - 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставим значения показателей степеней x , y , z в искомую степенную функцию:

$$a = C \cdot w_2^{-m-2q} \rho_2^{-n-m-q} d^{-m-q-1} \rho_{жс}^n \mu_{жс}^m \sigma^q, \quad (6)$$

или

$$a = C \cdot w_2^{-m} w_2^{-2q} \rho_2^{-n} \rho_2^{-m} \rho_2^{-q} d^{-m} d^{-q} d^{-1} \rho_{жс}^n \mu_{жс}^m \sigma^q. \quad (7)$$

Сгруппировав отдельные величины, получим зависимость:

$$a \cdot d = C \cdot \left(\frac{w_2 \cdot \rho_2 \cdot d}{\mu_{жс}} \right)^{-m} \cdot \left(\frac{w_2^2 \cdot \rho_2 \cdot d}{\sigma} \right)^{-q} \cdot \left(\frac{\rho_{жс}}{\rho_2} \right)^n, \quad (8)$$

или

$$a = \frac{C}{d} \cdot Re_{жс}^{-m} \cdot We^{-q} \cdot \left(\frac{\rho_{жс}}{\rho_2} \right)^n, \quad (9)$$

где $Re_{жс}$ – критерий Рейнольдса газожидкостной системы; We – критерий Вебера. Таким образом, получен общий вид критериальной зависимости для определения удельной поверхности контакта фаз на массообменной ситчатой тарелке. Числовые значения коэффициента C и показателей степеней m , q , n могут быть получены только экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1976. – 552 с.