

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТНОГО ПОТОКА НА ЧЕШУЙЧАТЫХ ТАРЕЛКАХ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

В. А. АНИСТРАТЕНКО, А. Н. ПРОХОРОВ

Киевский технологический институт пищевой промышленности

В спиртовой и гидролизной промышленности широко внедрены прямоточные тарелки чешуйчатые, рабочая часть которых выполняется из листа с выштампованными арочными прорезями, расположенными в шахматном порядке. Жидкость движется по тарелке от приемного до сливного карманов, откуда стекает по сливным трубам в приемный карман ниже лежащей тарелки. Газ (пар), проходя через прорези рабочей части тарелки, передает жидкости свою кинетическую энергию. По высоте контактного газожидкостного слоя обе фазы совершают однонаправленное движение с переменными полями скоростей в осевом направлении.

Эффективность прямоточных чешуйчатых тарелок по сравнению с барботажными повышается благодаря тому, что обеспечивается переход от режима полного перемешивания к режиму полного вытеснения. Так как газ (пар), проходя через прорези тарелки, передает жидкости свою кинетическую энергию, то скорость жидкости возрастает, что позволяет увеличить нагрузку колонны по жидкости. Унос в таких колоннах тоже ниже, чем в колпачковых. Учитывая эти преимущества колпачковые тарелки заменяют чешуйчатыми.

Важным параметром работы массообменных аппаратов является время контактирования фаз на одной ступени. Однако нет разработанных рекомендаций о влиянии конструктивных параметров прямоточных контактных устройств на скорость движения жидкостного потока, от величины которой зависит эффективность массообменного устройства. Для решения этого вопроса необходимо теоретическое обоснование профиля скорости движения жидкостного потока на тарелке.

По результатам исследований гидродинамики и массообмена чешуйчатых тарелок [1, 2] выведены эмпирические зависимости, которые не учитывают физической сущности процесса.

Для получения математических выражений использована математическая модель процесса, которая не учитывает силы трения между контактным полотном и газом в двухфазном потоке. При струйном режиме взвешенные элементарные объемы жидкости подталкиваются направленными струйками газа, при этом скорость жидкости увеличивается за счет уменьшения средней скорости газовой струи в результате обмена количеством движения. Для взаимодействующих объемов газа и жидкости с учетом баланса количества движения прием, что вся часть газовых струй обменивается количеством движения с жидкостью.

Для элементарной поверхности контактного слоя тарелки dS , через которую в единицу времени протекает жидкость объемом Q_c , и проходит газ массой dM , составим дифференциальное уравнение баланса количества движения (рис. 1):

$$dM W_0 \cos \beta + Q_{c\rho_L} V = (dM + Q_{c\rho_L}) (V + dV), \quad (1)$$

где W_0 — скорость газа на выходе из прорезей, м/с;
 β — угол наклона осей прорези к горизонтали;
 V — скорость жидкой фазы, м/с;
 ρ_L — плотность жидкости, кг/м³.

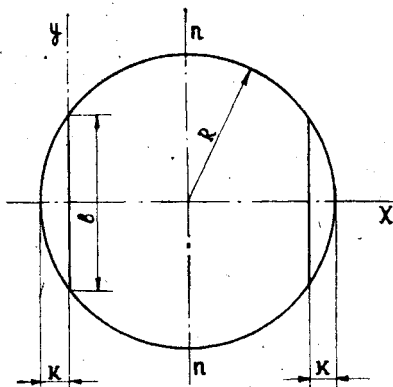


Рис. 1. Схема чешуйчатой контактной тарелки

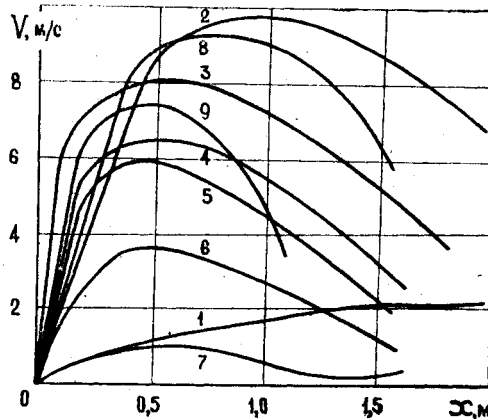


Рис. 2. Значения $W_0 \cos \beta$: 1 — const; 2 — e^{-ax} , $a = 0,5$; 3 — e^{-ax} , $a = 1$; 4 — e^{-ax} , $a = 1,5$; 5 — e^{-ax} , $a = 2$; 6 — $\frac{a}{x+c}$, $a=c=1$; 7 — $\frac{a}{x+c}$, $a=c=2$; 8 — $-\frac{1}{kx+a}$, $a=k=1$; 9 — $-\frac{1}{kx+a}$, $a=1, k=0,5$

Масса газа, проходящая через элементарную поверхность, вычисляется: $dM = W_k \rho_G dS$,
 где W_k — скорость газа над контактном слоем, м/с;
 ρ_G — плотность газа, кг/м³.

Элементарную поверхность dS невозможно описать одним уравнением, так как функция имеет разрыв первого рода по диаметру $n-n$. Функция $S(x)$ описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} dS &= 2\sqrt{R^2 - (R - K - x)^2} dx, & 0 \leq x \leq R - K; \\ dS &= 2\sqrt{R^2 - (R + K - x)^2} dx, & R - K \leq x \leq 2(R - K). \end{aligned}$$

После подстановки необходимых величин и преобразований уравнения (1) получаем:

$$2 \frac{W_k \rho_G}{Q_{c\rho_L}} \sqrt{R^2 - (R_{1,2} - x)^2} dx = \frac{dV}{W_0 \cos \beta - v}. \quad (2)$$

Обозначим:

$$\frac{2 W_k \rho_G}{Q_{c\rho_L}} = a, \quad R - K = R_1, \quad R + K = R_2, \quad R_{1,2} - x = \eta.$$

Решение дифференциального уравнения (2)

$$V = W_0 \cos \beta - e^{a Z_1(x)} + C \quad \text{при} \quad 0 \leq x \leq R - K, \quad (3)$$

где
$$Z_1(x) = \frac{(R_1 - x)\sqrt{R^2 - (R_1 - x)^2}}{2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{R_1 - x}{R}.$$

После отыскания произвольной постоянной скорость жидкой фазы для $0 \leq x \leq R - K$ равна:

$$V_1 = e^{0,55\alpha R^2} - e^{\alpha Z_1(x)}. \quad (4)$$

Скорость жидкой фазы для $R-K \leq x \leq 2(R-K)$

$$V_2 = e^{0,55\alpha R^2} + e^{0,434\alpha R^2} - e^{\alpha Z_2(x)} - 1, \quad (5)$$

где
$$Z_2(x) = \frac{(R_2 - x)\sqrt{R^2 - (R_2 - x)^2}}{2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{R_2 - x}{R}.$$

Скорости жидкой фазы V_1 и V_2 получены при предположении, что величина $W_0 \cos \beta = \text{const}$. Однако в работе [2] и нами установлено, что $W_0 \cos \beta \neq \text{const}$. Обозначим $W_0 \cos \beta = f(x)$, $\sqrt{R^2 - (R_{1,2} - x)^2} = \varphi(x)$, где $f(x)$, $\varphi(x)$ — некоторые функции, зависящие от рабочей части тарелки x . Подставим указанные величины в уравнение (2). После преобразования получим:

$$V' + \alpha V \varphi(x) = \alpha f(x) \varphi(x). \quad (6)$$

Решение дифференциального уравнения (6) ищем методом вариации произвольной постоянной $V = C(x)e^{-\alpha \int \varphi(x) dx}$,

где
$$C(x) = C_1 + \alpha \int [f(x) \varphi(x) e^{\alpha \int \varphi(x) dx}] dx.$$

Окончательно
$$V = e^{-\alpha \int \varphi(x) dx} [C_1 + \alpha \int f(x) \varphi(x) e^{\alpha \int \varphi(x) dx} dx]. \quad (7)$$

Функция $\varphi(x)$ для тарельчатой колонны имеет сложный вид и получить значение скорости жидкой фазы по формуле (7) в явном виде практически невозможно. Поэтому примем, что $\varphi(x) = b = \text{const}$. Согласно практике эксплуатации чешуйчатых колонн и конструктив-

ным данным $b = 2R \sin \frac{\pi}{4}$.

Рассмотрим некоторые функции, по которым может изменяться величина $W_0 \cos \beta$.

Показательная функция $W_0 \cos \beta = e^{-ax} = f(x)$.

Скорость жидкой фазы ищем по уравнению (7) и после ряда преобразований получаем:

$$V_3 = \frac{ab}{ab-a} e^{-abx} [e^{(ab-a)x} - 1]. \quad (8)$$

Дробно-рациональная функция $W_0 \cos \beta = \frac{a}{x+c} = f(x)$.

Скорость жидкой фазы после преобразования и вычисления равна

$$V_4 = e^{-abx} \left\{ e^{-abc} \alpha ab \left[\ln(x+c) + ab(x+c) + \frac{ab(x+c)^2}{4} + \dots \right] - \left[e^{-abc} \alpha ab (\ln c + abc + \left(\frac{abc}{2}\right)^2) \right] \right\}. \quad (9)$$

Линейная функция $W_0 \cos \beta = -kx + a = f(x)$.

Скорость жидкой фазы после соответствующих преобразований

$$V_5 = e^{-abx} \left[e^{abx} \left(a + \frac{k}{ab} - kx \right) - \left(a + \frac{k}{ab} \right) \right]. \quad (10)$$

По формулам (8), (9), (10) вычислим скорости жидкой фазы при изменении a , c , k . По полученным значениям строим графики $V = F(x)$ при следующих параметрах исследований (рис. 2): живое сечение тарелки $F_c = 10\%$, скорость пара (газа) в свободном сечении тарелки $w_0 = 1,5$ м/с, жидкостная нагрузка $L = 20$ м³/м²·ч.

Как следует из рис. 2, важным параметром работы тарелки является распределение давления под контактным устройством. От изменения его зависит распределение V по длине рабочей части тарелки. Независимо от вида функции изменения давления под контактным устройством V в начальной части тарелки возрастает до определенной величины, а затем уменьшается. И только для $W_0 \cos \beta = \text{const}$, V растет по всей рабочей части тарелки. Локальные коэффициенты массоотдачи зависят от изменения V .

ВЫВОДЫ

1. В результате использования идеализированной модели взаимодействия газовой (паровой) и жидкой фаз получены формулы для вычисления последней в зависимости от функции изменения величины $W_0 \cos \beta = f(x)$ по длине рабочей части тарелки.

2. Для увеличения эффективности чешуйчатых тарелок необходимо предусмотреть устройство, которое выравнивало бы давление газа (пара) под тарелкой.

3. При работе прямоточной тарелки диаметром 2 м жидкая фаза достигает максимального значения скорости на длине рабочей части тарелки 0,5—0,7 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анистратенко В. А. Исследование горизонтальных однонаправленных контактных устройств для брагоректификационных аппаратов. Докт. дис., КТИПП, Киев, 1974, 263 с.
2. Таран В. М. Исследование однонаправленных тарелок для применения их в спиртовой промышленности. Канд. дис., КТИПП, Киев, 1969, 250 с.