

ФЕРМЕНТНАЯ И СПИРТОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1

1979



Скорость движения газожидкостного слоя на прямоточных тарелках массообменных колонн

А. Н. Прохоров, В. Н. Геращенко, В. А. Анистратенко
КТИПП

В настоящее время в спиртовой промышленности применяют прямоточные тарелки: чешуйчатые, пластинчатые, модернизированные ситчатые. Характерной особенностью прямоточных тарелок является использование кинетической энергии газовых (паровых) струй для организации и ускорения движения жидкости, что способствует повышению производительности перегонного аппарата, уменьшению сопротивления тарелок и расхода пара. Важным параметром работы массообменных аппаратов является скорость движения двухфазного потока, определяющая продолжительность пребывания фаз в зоне контакта. Установлено, что по высоте газо-жидкостного слоя обе фазы совершают однонаправленное движение с переменными полями скоростей в осевом направлении.

До настоящего времени нет разработанных рекомендаций о влиянии конструктивных параметров прямоточных контактных устройств на скорость движения потоков, от величины которой зависит эффективность устройства. Для решения этого вопроса необходимо теоретическое обоснование измерения профиля скоростей движения потока на тарелке.

Ранее проведены исследования гидродинамики и массообмена прямоточных тарелок и получены эмпирические зависимости, не учитывающие физической сущности процесса.

Для получения математических выражений использована идеализированная модель процесса на тарелке без учета силы трения между контактным устройством и газом (паром) в двухфазном потоке. При струйном режиме взвешенные элементарные объемы жидкости подталкиваются направленными струйками газа (пара), при этом скорость жидкости увеличивается за счет уменьшения средней скорости газовой (паровой) струи в результате обмена количеством движения. Для взаимодействующих объемов газа (пара) и жидкости с учетом баланса количества движения принимаем, что вся часть газовых струй обменивается количеством движения с жидкостью и их скорости после взаимодействия выравниваются.

Для элементарной поверхности контактного слоя на тарелке dS , через которой в единицу

времени протекает количество жидкости $Q_{\text{сек}}$ и проходит газ (пар) массой dM , составим дифференциальное уравнение баланса количества движения:

$$dMW_0 \cos \beta + Q_{\text{сек}} \rho_L V = (dM + Q_{\text{сек}} \rho_L) (V + dV), \quad (1)$$

где W_0 — скорость газа (пара) на выходе из контактного устройства, м/с;

β — угол наклона осей чешуй или пластин к горизонтали;

V — скорость жидкой фазы, м/с;

ρ_L — плотность жидкости, кг/м³.

Масса газа (пара), проходящего через элементарную поверхность контактного слоя, равна

$$dM = W_K \rho_G dS,$$

где W_K — скорость газа (пара) над контактным слоем м/с;

ρ_G — плотность газа (пара), кг/м³.

Элементарную поверхность dS невозможно описать одним уравнением, так как функция имеет разрыв первого рода по диаметру $n-n$. Функция представляется системой уравнений

$$dS = 2 \sqrt{R^2 - (R - K - x)^2} dx \quad 0 \leq x \leq R - K$$

$$dS = 2 \sqrt{R^2 - (R + K - x)^2} dx$$

$$R - K \leq x \leq 2(R - K).$$

Подставляя в уравнение (1) выражение элементарной массы газа (пара), проходящей через поверхность dS , разделяя переменные, получим

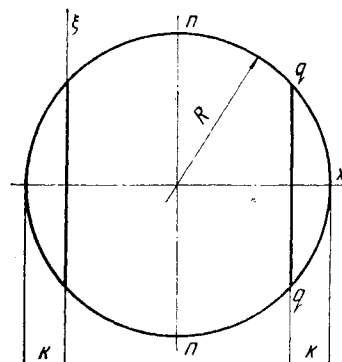


Рис. 1. Схема массообменной контактной тарелки.

$$\frac{2W_K \rho_G}{Q_{\text{сек}} \rho_L} \sqrt{R^2 - (R_{1,2} - x)^2} dx = \frac{dV}{W_0 \cos \beta - V}. \quad (2)$$

Обозначим

$$\frac{2W_K \rho_G}{Q_{\text{сек}} \rho_L} = \alpha, \quad R - K = R_1, \quad R + K = R_2,$$

$$(R_{1,2} - x) = y, \quad -dx = dy.$$

Проинтегрируем левую и правую части уравнения (2).

$$\alpha \int \sqrt{R^2 - (R_1 - x)^2} dx = -\alpha \left[\frac{y \sqrt{R^2 - y^2}}{2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{y}{R} \right] = -\alpha \left[\frac{(R_1 - x) \sqrt{R^2 - (R_1 - x)^2}}{2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{R_1 - x}{R} \right].$$

$$\int \frac{dV}{W_0 \cos \beta - V} = -\ln(W_0 \cos \beta - V).$$

Получаем

$$\alpha \left[\frac{(R_1 - x) \sqrt{R^2 - (R_1 - x)^2}}{2} + \frac{R}{2} \arcsin \frac{R_1 - x}{R} \right] = \ln(W_0 \cos \beta - V).$$

Обозначим

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

$$V = W_0 \cos \beta - l^{\alpha Z(x)} + C. \quad (3)$$

При $x = 0$ $V \cong 0$.

Согласно конструктивным разработкам

$$K = R \left(1 - \cos \frac{\pi}{4} \right)$$

Вычислим постоянную интегрирования:

$$c = l^{0,55R^2} - W_0 \cos \beta.$$

Окончательно формула скорости для $0 \leq x \leq R - K$ примет вид

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

Для $R - K \leq x \leq 2(R - K)$ расчетное значение скорости жидкой фазы имеет вид уравнения (3), в котором

$$Z(x) = Z_1(x) = \frac{(R_2 - x) \sqrt{R^2 - (R_2 - x)^2}}{2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{R_2 - x}{R}, \quad c = c_1,$$

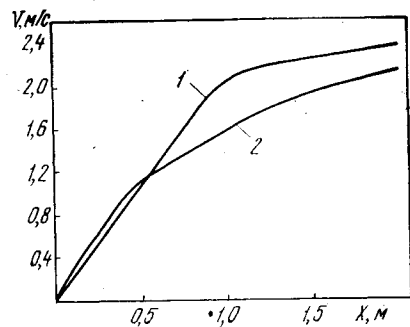


Рис. 2. Изменение скорости газожидкостного слоя в зависимости от длины тарелки:

1 - $V = f(x)$, вычисленная по формулам 4 и 5; 2 - $V = f(x)$, определенная экспериментально.

Чтобы определить значение новой постоянной, необходимо в уравнение (4) подставить $x = (R - k)$ и приравнять

$$W_0 \cos \beta + l^{\alpha Z_1(x)} + c_1 = l^{0,55R^2 \alpha} - l^{\alpha Z(x=R-K)},$$

$$c_1 = l^{0,55R^2 \alpha} - 1 - W_0 \cos \beta + l^{\alpha Z(x=R-K)},$$

$$c_1 = l^{0,55R^2 \alpha} - 1 - W_0 \cos \beta + l^{0,434R^2 \alpha},$$

Скорость жидкой фазы при $R - k \leq x \leq 2(R - k)$

$$V = l^{0,55R^2 \alpha} + l^{0,434R^2 \alpha} - 1 - l^{\alpha Z(x)}. \quad (5)$$

Значение скоростей жидкой фазы в сечениях $n - n$ и $q - q$ имеет вид

$$V_{n-n} = l^{0,55R^2 \alpha} - 1,$$

$$V_{q-q} = l^{0,55R^2 \alpha} + l^{0,434R^2 \alpha} - 1 - l^{-0,16R^2 \alpha}.$$

По приведенным формулам построен график $V = f(x)$ (рис. 2).

В результате использования идеализированной модели взаимодействия газовой (паровой) и жидкой фаз получена формула для вычисления последней в зависимости от длины рабочей части тарелки. Полученная формула дает результаты, не расходящиеся с экспериментальными данными.

При работе проточной тарелки диаметром 2 м жидкая фаза достигает почти максимального значения скорости движения на длине рабочей части $R - k$.