

ОБЪЯСНЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МАССООБМЕННОЙ ТАРЕЛКИ

*Беляевский М.Ю., Трошкин О.А., Беляевский Д.М., Суркова Л.В.,
Гончаров Д.В., Пирожков В.А.*

Московский государственный университет инженерной экологии

При гидравлических испытаниях тарелки из посечно-сжатого листа [1] было обращено внимание на то, что в определенном диапазоне газожидкостных нагрузок сопротивление орошаемой тарелки несколько меньше сопротивления «сухой» тарелки. Нами предпринята попытка объяснить этот факт возникновением при движении газожидкостного потока на тарелке явления взаимной эжекции газа и жидкости. Полное гидравлическое сопротивление тарелки [2] включает составляющие:

$$\Delta p = \Delta p_{ст} + \Delta p_{э} + \Delta p_{ск} + \Delta p_c + \Delta p_y + \Delta p_{\sigma},$$

где $\Delta p_{ст}$ – сопротивление статического слоя жидкости; $\Delta p_{э}$ – сопротивление, обусловленное взаимным обменом газа и жидкости количеством движения; $\Delta p_{ск}$ – сопротивление, возникающее в процессе трения при скольжении газа вдоль границы раздела фаз; Δp_c – сопротивление, сопротивление «сухой» тарелки; Δp_y – сопротивление, обусловленное изменением кинетической энергии системы в процессе контактирования фаз; Δp_{σ} – сопротивление, силам поверхностного натяжения.

Сопротивление $\Delta p_{ст}$ зависит от высоты барботируемого слоя, поэтому оно должно быть как можно меньше, чтобы избежать напрасной траты энергии на его преодоление. Его значение всегда положительно. Сопротивление $\Delta p_{э}$ влияет на интенсивность массообмена и по определению может быть величиной как положительной, так и отрицательной. Сопротивление $\Delta p_{ск}$ может быть знакопеременной величиной в зависимости от соотношения скоростей движения фаз.

Сопротивление Δp_c характеризует конструктивные особенности массообменного устройства и не влияет на интенсивность массообмена. Изменяя конструкцию массообменного устройства, можно добиться, чтобы оно было как можно меньше. Эта величина всегда положительна. Сопротивление Δp_y может быть так же величиной знакопеременной [3]. Сопротивление Δp_{σ} обычно мало, и при дальнейшем анализе им можно пренебречь.

Явление взаимной эжекции на прсечно-сжатом листе возникает, когда скорость жидкости, движущейся на тарелке в горизонтальном направлении, больше скорости газа, движущегося под тарелкой. Векторы скорости газа и жидкости при этом имеют одинаковое направление. Газ, выходящий из щели и полностью смешивающийся с жидкостью, движется в смеси с жидкостью по полотну тарелки к сливному карману и освобождается от жидкости в конце тарелки.

На рисунке приведены конструкция тарелки из прсечно-сжатого листа и схема движения по ней газожидкостного потока. Для первого ряда прсечек, предполагая, что скорость газа в них одинакова, можно записать баланс кинетических энергий отдельных потоков вида:

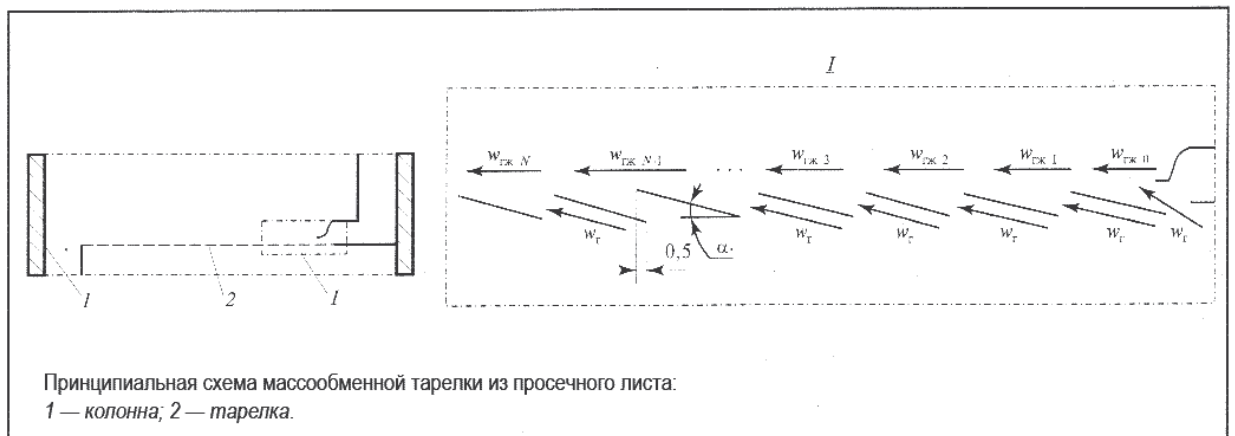
$$\frac{m_{жс} w_{жс0}^2}{2} + \frac{m_г w_г^2}{2} = \frac{(m_{жс} + m_г) w_{эжс1}^2}{2},$$

где $m_{жс}$ – расход жидкости на одну прсечку тарелки, кг/с; $w_{жс0}$ – начальная скорость жидкости, выходящей из приемного кармана, м/с; $m_г$ – расход газа через одну прсечку на тарелке, кг/с; $w_г$ – скорость газа, проходящего через прсечку в тарелке, м/с; $w_{эжс1}$ – скорость газожидкостного потока в первом ряду прсечек, м/с.

Для N-ого ряда прсечек это уравнение имеет вид:

$$\frac{[m_{жс} + m_г (N - 1) \cos \alpha] w_{эжс(N-1)}^2}{2} + \frac{m_г w_г^2}{2} = \frac{\{m_{жс} + m_г [(N - 1) \cos \alpha + 1]\} w_{эжсN}^2}{2} \quad (1)$$

где N – число рядов прсечек на тарелке; α – угол ввода газа на тарелку; $w_{эжс(N-1)}, w_{эжсN}$ – скорость газожидкостного потока соответственно (N-1)-м и N-м рядах прсечек.



Приняв без значительных погрешностей, что при $\alpha = 0-15^\circ$ $\cos \alpha = 1$, из уравнения (1) найдем:

$$w_{жсN} = W_z \sqrt{\frac{1 + \frac{m_{жс}}{Nm_z} \left(\frac{w_{жс0}}{w_z} \right)^2}{1 + \frac{m_{жс}}{Nm_z}}} \quad (2)$$

где $m_{жс} = \rho_{жс} L_v v / M$; $\rho_{жс}$ – плотность жидкости, кг/м³; L_v – удельная жидкостная нагрузка на тарелке, м³/(м•с); v – длина сливной планки, м; M – число просечек в ряду; $m_z = \rho_z V_z / MN$; ρ_z – плотность газа; V_z – расход газа, проходящего через полное сечение колонны, м³/с; $w_{жс0} = \varphi \sqrt{2gh}$; g – ускорение силы тяжести, м/с²; h – высота подпора жидкости в сливном кармане, м; φ – коэффициент скорости для сливных устройств принятых форм и размеров $\varphi \approx 1,0$; $w_z = V_z / MNS$; S – доля свободного сечения просечки.

Скорость газожидкостного потока в N-м ряду просечек больше скорости газа в том же ряду при условии, что подкоренное выражение в уравнении (2) больше единицы. Это неравенство будет соблюдаться при

$$\left(\frac{w_{жс0}}{w_z} \right)^2 > 1 \text{ или } w_z < \sqrt{2gh}$$

Если высота h подпора жидкости в сливном кармане равна 0,5 м, то скорость истечения жидкости

$$w_{жс0} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,5} = 3,13 \text{ м/с}$$

В этом случае критическая скорость газа в полном сечении равна

$$w_{сз} = w_{жс0} S_z = 3,13 \cdot 0,195 = 0,61 \text{ м/с,}$$

где $S = 0,195$ – относительное свободное сечение исследуемой тарелки.

Таким образом, если скорость газа в полном сечении колонны меньше критической скорости газа $w_{сз}$, то жидкая фаза при движении инжектирует газовый поток, т. е. составляющая $\Delta\rho_y$ полного сопротивления имеет отрицательный знак. В этой ситуации может наступить момент, когда сопротивление орошаемой тарелки будет меньше сопротивления «сухой» тарелки.

1. **Беляевский М. Ю., Беленов Е. А. и др.** Основные характеристики массообменных тарелок из просечно-сжатого листа // Нефтепереработка и нефтехимия: НТСИС. – М: ЦНИИТЭнефтехим, 1996. – № 10.
2. **Беленов Е. А., Беляевский М. Ю. и др.** Определение составляющих скоростей газожидкостных потоков на массообменной тарелке, выполненной из просечно-сжатого листа // Нефтепереработка и нефтехимия: НТСИС. – М: ЦНИИТЭнефтехим, 1996. – № 11.