

С. К. Протасов, доцент; А. А. Боровик, ст. преподаватель; И. В. Пелюх, студент

РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИТЧАТОЙ ТАРЕЛКИ

In the article the results of experimental researches of hydraulic resistance of irrigating plate executed as a sieve are submitted. The influence of regime and geometrical parameters on losses of pressure and modes of interaction of phases is shown.

Основными гидродинамическими параметрами массообменных тарелок являются гидравлическое сопротивление и межтарельчатый унос жидкости.

Гидравлическое сопротивление Δp ситчатой тарелки с переливными устройствами рассчитывают по известному выражению

$$\Delta p = \Delta p_{\text{сух}} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{\text{сл}}, \quad (1)$$

где $\Delta p_{\text{сух}}$, Δp_{σ} , $\Delta p_{\text{сл}}$ – гидравлическое сопротивление сухой (неорошаемой) тарелки, обусловленное поверхностным натяжением жидкости, слоя жидкости на тарелки соответственно, Па.

Сопротивление сухой тарелки определяют по формуле

$$\Delta p_{\text{сух}} = \xi \cdot \rho_{\text{г}} \cdot w_0^2 / 2, \quad (2)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления сухой тарелки; $\rho_{\text{г}}$ – плотность газа, кг/м³; w_0 – скорость газа в отверстиях полотна тарелки, м/с.

Коэффициент гидравлического сопротивления тарелки ξ является суммарным коэффициентом местных сопротивлений, которые учитывают сжатие и расширение струй, трение газа о стенки отверстия, взаимное влияние струй и т. д.

Анализ литературных данных по определению и расчету коэффициента сопротивления ситчатой тарелки выполнен в работе [1].

Нами были проведены исследования по определению коэффициента гидравлического сопротивления ξ ситчатой тарелки. Сопоставление опубликованных зависимостей и опытных данных позволяет рекомендовать для расчета коэффициента формулу

$$\xi = 0,4(1,25 - \varphi_c) + \lambda \frac{t}{d} + (1 - \varphi_c)^2, \quad (3)$$

где φ_c – доля живого сечения тарелки, м²/м²; λ – коэффициент трения; t – толщина полотна тарелки, м; d – диаметр отверстия в полотне тарелки, м.

Сопротивление, связанное с поверхностным натяжением жидкости, рассчитывают по зависимости

$$\Delta p_{\sigma} = \sigma \cdot \Pi / S, \quad (4)$$

где Π и S – периметр и площадь сечения отверстия в полотне тарелки, м и м²; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м.

Сопротивление слоя жидкости на тарелке зависит от многих факторов. Чтобы получить зависимость для расчета $\Delta p_{\text{сл}}$ в широком диапазоне изменения нагрузок по фазам, ранее были проведены исследования работоспособности ситчатой тарелки [2]. Опытные данные, представленные в виде зависимости гидравлического сопротивления слоя жидкости $\Delta p_{\text{сл}}$ от скорости газа в колонне $w_{\text{г}}$ в логарифмических координатах, позволили выявить три режима работы ситчатой тарелки: равномерный, газовых струй (струйный) и инжекционный.

По полученным графическим зависимостям были определены интервалы существования этих режимов.

В пределах значений скоростей от 0,6 до 1,1–1,2 м/с наблюдается равномерный режим (газ распределен в жидкости). В равномерном режиме газ барботирует через слой жидкости в виде пузырей, которые всплывают к поверхности за счет выталкивающей силы. Газо-жидкостной слой в этом режиме можно рассматривать как дисперсную систему, причем дисперсионной средой является жидкость, а дисперсной фазой – газ. В пределах равномерного режима с увеличением скорости газа жидкость начинает обособляться, образуя деформированные, непрерывно сталкивающиеся и разрушающиеся движущиеся агрегаты.

Режим газовых струй наблюдается в пределах от 1,1–1,2 до 2,0–2,2 м/с. В этом режиме газ образует в слое жидкости газовую струю, пронизывающую жидкость по всей высоте слоя.

Инжекционный режим находится в пределах от 2,0–2,2 до 2,8–3,2 м/с. В этом режиме сплошной фазой является газ, а дисперсной – жидкость. С увеличением скорости газа неоднородность слоя растет, вследствие чего уменьшается количество жидкости, находящейся в виде агрегатов. Такое соотношение структуры слоя не изменяется до скоростей уноса жидкости.

Анализ расчетных зависимостей для $\Delta p_{\text{сл}}$ и обработка опытных данных позволили получить формулы для расчета гидравлического сопротивления слоя жидкости.

Для равномерного режима

$$\Delta p_{\text{сл}} = g \cdot h \cdot [\rho_r \cdot \varphi + \rho_{\text{ж}} \cdot (1 - \varphi)], \quad (5)$$

где h – высота переливного порога на тарелке, м; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м^3 ; $\varphi = K_2 \cdot q^{n_2} \cdot w_r^{K_3 \cdot q^{n_3}}$ – газосодержание слоя жидкости (объемная доля газа в слое), $\text{м}^3/\text{м}^3$; $K_2 = 0,465 \cdot h^{-0,121}$; q – плотность орошения, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; $n_2 = 9,83 \cdot 10^{-4} \cdot h^{-1,52}$; w_r – скорость газа, рассчитанная на полное сечение тарелки, м/с ; $K_3 = 4,2 \cdot h^{2,73}$; $n_3 = 54,2 \cdot h^{1,53}$.

Для инжекционного режима

$$\Delta p_{\text{сл}} = \frac{w_r^2}{2} [\rho_r \cdot \varphi + \rho_{\text{ж}} \cdot (1 - \varphi)], \quad (6)$$

где $\varphi = C_2 \cdot q^{f_2} \cdot w_r^{C_3 \cdot q^{f_3}}$ – газосодержание; $C_2 = 0,544 \cdot h^{-0,184}$; $f_2 = -0,33 \cdot h^{0,6}$; $C_3 = 248,4 \cdot h^{2,86}$; $f_3 = 4,49 \cdot 10^{-3} \cdot h^{-1,6}$.

Среднеквадратичное отклонение – 8%.

Межтарельчатый унос, т.е. количество унесенной в виде капель жидкости на вышерасположенную тарелку, оказывает существенное влияние на эффективность тарелки.

Авторами данной публикации ранее был выполнен подробный анализ опубликованных зависимостей для расчета межтарельчатого уноса с ситчатой тарелки [3].

Как правило, опытные данные представлены в виде эмпирических зависимостей относительного уноса от скорости газа, линейной плотности орошения, межтарельчатого расстояния и поверхностного натяжения жидкости во всем диапазоне исследуемых скоростей.

Влияние доли живого сечения и режима работы тарелки на величину уноса в этих работах не учитывалось. С этой целью были проведены исследования по определению межтарельчатого уноса с ситчатой тарелки.

Опытные данные были представлены в виде графической зависимости межтарельчатого уноса e от скорости газа по колонне w_r в логарифмических координатах. Это позволило как и для гидравлического сопротивления слоя жидкости установить наличие трех режимов работы ситчатой тарелки. Установлено также, что равномерный режим существует в пределах от 0,6 до 1,1 м/с, струйный режим – от 1,1 до 2,0 м/с и инжекционный – свыше 2 м/с.

Для каждого режима получены расчетные зависимости:

для равномерного режима

$$e = 0,45 \cdot w_r^{0,84} \cdot q^{0,93} / \varphi_c^{3,34}; \quad (7)$$

для струйного режима

$$e = 0,22 \cdot w_r^{2,76} \cdot q^{1,1} / \varphi_c^{3,34}; \quad (8)$$

для инжекционного режима

$$e = w_r^{6,2} \cdot q^{1,4} / (1,1 \cdot 10^3 \cdot \varphi_c^{1,9}), \quad (9)$$

где e – относительный межтарельчатый унос, $\text{кг жидкости/кг газа}$.

Литература

1. Протасов С. К., Марков В. А. Перепад давления на неорошаемой ситчатой тарелке // Труды БГТУ. Сер. химии и технологии неорганич. в-в. – Мн.: БГТУ, 2002. – Вып. X. С. 207–210.
2. Протасов С. К., Боровик А. А., Карабач Е. Ю. Расчет гидравлического сопротивления ситчатой тарелки с учетом режимов ее работы // Труды БГТУ. Сер. химии и технологии неорганич. в-в. – Мн.: БГТУ, 2004. – Вып. XII. С. 175–179.
3. Протасов С. К., Марков В. А. Новый подход к определению уноса жидкости с ситчатой тарелки // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы докл. НТК, Минск, 8–10 нояб. 2000 г. – Мн.: БГТУ, 2000. – С. 64–66.