

УДК 532.51

С.К. Протасов, доцент; В.А. Марков, профессор

ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ НА НЕОРОШАЕМОЙ СИТЧАТОЙ ТАРЕЛКЕ

In the article the results of experimental researches of hydraulic resistance of a 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.

Перепад давления на сухой неорошаемой ситчатой тарелке рассчитывают по уравнению

$$\Delta p_{\text{сух}} = \xi \frac{\rho W_{om}^2}{2}, \quad (1)$$

где ξ – коэффициент сопротивления сухой тарелки; ρ – плотность газа, кг/м^3 ; W_{om} – скорость газа в отверстиях тарелки, м/с .

Коэффициент гидравлического сопротивления ситчатой тарелки ξ является суммарным коэффициентом местных сопротивлений, который учитывает сжатие и расширение струй, трение газа о стенки отверстий, взаимное влияние струй, относительный размер отверстий, их форму и т.д.

Литературные данные по расчету коэффициента сопротивления показывают, что влияние скорости газа обычно выражают через критерий Рейнольдса для отверстий в тарелке.

Установлено, что для тарелок значительной толщины коэффициент сопротивления уменьшается с увеличением критерия Рейнольдса в интервале $Re = 3000-5000$. При значениях отношения толщины тарелки t к диаметру отверстий d больше 1 зависимость ξ от критерия Рейнольдса существенно изменяется. Когда $t/d < 1$, влиянием критерия Рейнольдса можно пренебречь. В литературе отсутствуют данные о влиянии физических свойств газа на коэффициент сопротивления.

Для тонких тарелок коэффициент ξ увеличивается с ростом t/d (до $t/d = 0,1$), а для тарелок большой толщины он независим от этого отношения вплоть до $t/d = 3-4$. В дальнейшем, вероятно, значение ξ повышается (данные отсутствуют) с увеличением отношения t/d .

Кроме скорости газа, толщины тарелки и диаметра отверстий на коэффициент ξ оказывает влияние шаг отверстий, размещение их на тарелке и другие факторы. Величина ξ в общем случае растет с увеличением d/P (где P – шаг отверстий). Эта зависимость круче для тонких тарелок. Некоторые авторы используют зависимость ξ от доли живого сечения тарелки φ . Эти факторы взаимосвязаны: $\varphi = k(d/P)^2$, но коэффициент k зависит от расположения отверстий и доли живого сечения тарелки.

В случае размещения отверстий по вершинам равносторонних треугольников опытные значения ξ в среднем на 6 % ниже, чем при размещении по вершинам квадратов. Отмечено влияние формы отверстий, обусловленной методом изготовления (ξ отличаются на 15–20 %).

Авторы работы [1] предположили, что коэффициент сопротивления является суммой частных коэффициентов, характеризующих сжатие $(1,25 - \varphi) \cdot 0,4$, расширение

$(1-\varphi)^2$ и трение $4f(t/d)$. Взаимное влияние соседних отверстий учтено введением фактора k_1 .

$$\xi = k_1 [0,4(1,25 - \varphi) + (1 - \varphi)^2 + 4f(t/d)], \quad (2)$$

где f – фактор трения.

Фактор k_1 оценивали на основе опытных данных в функциональной зависимости от t/d .

В работах [2, 3] был использован классический метод расчета диафрагмы и получена зависимость

$$\xi = \frac{(1 - \varphi^2)(P/d)^{0,2}}{k_2^2}, \quad (3)$$

где k_2 зависит от величины t/d и Re .

Уравнение (3) дает среднюю погрешность в 8 % для тарелок большой толщины и 11 % – для тонких. Недостаток уравнения (3) состоит в необходимости пользоваться графическими зависимостями k_2 от t/d и Re .

Авторы работы [4] исследовали сопротивление ситчатых тарелок на колонне диаметром 0,288 м при небольшой толщине тарелки. Ими было установлено, что влияние Re для отверстия в тонкой тарелке на ξ незначительно.

При обработке данных для 78 тарелок они получили

$$\xi = A \frac{(1 - \varphi^2)}{\varphi^{0,2}(t/d)^{0,2}}, \quad (4)$$

где $A=0,94$ или $A=1$ для треугольной и квадратной разбивки решетки. Это уравнение отклоняется от данных других авторов на 5,4 %.

Уравнение (4) справедливо для области t/d от 0,1 до 0,8 и φ от 0,015 до 0,2.

Перепад давления на сухой тарелке $\Delta p_{сух}$ можно определить по аналогии с местным сопротивлением газовому потоку

$$\Delta p_{сух} = \xi \frac{\rho W_k^2}{2\varphi^2}, \quad (5)$$

где ξ – коэффициент сопротивления; W_k – скорость газа в колонне, м/с.

При подстановке (4) в уравнение (5), последнее принимает вид

$$\Delta p_{сух} = A\varphi^{-0,2}(d/t)^{0,2} \left[\frac{\rho W_k^2}{2} \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \right]. \quad (6)$$

Выражение в скобках дает разность кинетической энергии газа в отверстиях тарелки и в колонне без тарелки. Определяя ξ , как фактор этой разности, выражение (6) можно представить как

$$\Delta p_{сух} = \xi' \frac{\rho W_k^2}{2} \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right), \quad (7)$$

где $\xi' = A\varphi^{-0,2}(d/t)^{0,2}$. (8)

Выражая $A\varphi^{0,2}$ в параметрах разбивки отверстий, получим:
для квадратной разбивки

$$\xi' = 1,049 \left(\frac{p^2}{td} \right)^{0,2} \quad (9)$$

для треугольной разбивки

$$\xi' = 1,015 \left(\frac{p^2}{td} \right)^{0,2} \quad (10)$$

С достаточной точностью можно принять в обоих случаях

$$\xi' = 1,03 \left(\frac{p^2}{td} \right)^{0,2} \quad (11)$$

Приведенные соотношения найдены на основании данных, полученных для сверленных тарелок с острыми краями входных отверстий. Можно ожидать, что для округленных отверстий коэффициент сопротивления будет меньше.

Для сопоставления зависимостей, полученных различными авторами, нами были проведены опыты по определению коэффициента гидравлического сопротивления в зависимости от живого сечения ситчатой тарелки.

Исследования проводили на типовой лабораторной установке для определения гидравлических характеристик тарелок с диаметром колонны 240 мм. В колонне было установлено три ситчатые тарелки с переливными устройствами. Длина переливного порога составляла 200 мм. При исследовании сухой тарелки переливы были заглушены. Гидравлическое сопротивление средней тарелки определяли по показаниям микроманометра. Через колонну пропускали воздух при температуре 20 °С. Скорость воздуха по колонне W_k изменяли в пределах от 0,5 до 3,4 м/с, а живое сечение тарелки φ – от 0,05 до 0,11 м²/м². Толщина тарелки 5 мм, диаметр отверстий $d = 5$ мм. Тарелки были выполнены из органического стекла, отверстия высверливались, кромки отверстий – острые, разбивка отверстий – треугольная, с шагом 12 мм.

Расчеты по зависимостям (2), (3) и (4) проводили при тех же геометрических и гидродинамических параметрах.

Опытные и расчетные зависимости коэффициента ξ от живого сечения φ приведены на рисунке.

Из рисунка можно видеть, что экспериментальные данные лучше всего совпадают по характеру изменения с зависимостью (2), которая учитывает сжатие, расширение, трение в отверстиях и влияние соседних отверстий. При условии, когда в зависимости (2) коэффициент $k_1 = 1$, опытные данные совпадают и по величине. Следовательно, можно предположить, что фактор k_1 не оказывает влияния на ξ и не является функцией отношения t/d .

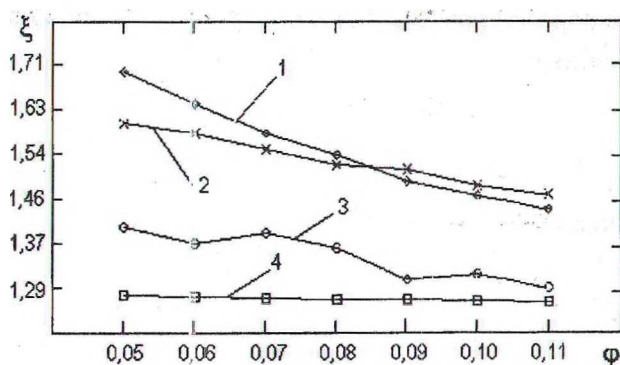


Рис. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ξ от живого сечения тарелки ϕ : 1 – расчетные данные по зависимости (4); 2 – расчетные данные по зависимости (2); 3 – опытные данные; 4 – расчетные данные по зависимости (3)

Расчет коэффициента сопротивления сухой ситчатой тарелки необходимо проводить по зависимости

$$\xi = 0,4(1,25 - \phi) + \lambda \frac{l}{d} + (1 - \phi)^2, \quad (12)$$

где λ – коэффициент трения, зависящий от режима течения газа и от шероховатости поверхности отверстий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973.
2. McAllister R.A., McGinnis P.H., Plank C.A. // Chem. Eng. Sci. – 1958. – № 9. – P. 25.
3. Kolodzie P.A., Van Winkle M.; A. I. // Chem. Eng. Journal. – 1957. – № 3. – P. 305.
4. Smith P.R., Van Winkle M.; A. I. // Chem. Eng. Journal. – 1958. – № 4. – P. 266.
5. Knoole F., Zelfel E. // Chem. Eng. Tech. – 1966. – № 38. – P. 260.

УДК 536.24

Н.П. Саевич, ассистент; Д.Г. Калишук, доцент; А.И. Ершов, профессор;
Д.И. Чиркун, студент

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ВОДЫ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ

Here the reasoning is given to the urgency of the investigation concerning the intensification of heat exchange at low temperature difference between heat transfer. The results of experimental investigation for the interval of temperature difference 2,5...11,5 K are shown.

Рост цен на энергоресурсы вынуждает уделять внимание утилизации вторичного тепла производственных процессов. Реализация энергосберегающих технологий такого рода сдерживается тем, что теплообмен необходимо осуществлять при малых температурных перепадах между теплоносителями. Однако при снижении движущей силы ин-