

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИКИ СИТЧАТЫХ ТАРЕЛОК**

Ситчатые тарелки – широко применяемые тепломассообменные контактные устройства. Они используются для взаимодействия жидкости и газа (пара) в абсорберах, десорберах (в том числе в деаэраторах и декарбонизаторах при водоподготовке), ректификационных колоннах, смесительных теплообменниках и др. аппаратуре. Достоинства их – простота, низкая стоимость, невысокое гидравлическое сопротивление.

Важнейшими гидродинамическими параметрами ситчатых тарелок являются их диапазон устойчивой работы и гидравлическое сопротивление. Диапазон устойчивой работы тарелок – область нагрузок по жидкости и газу при их эффективной работе. Она ограничена минимальным и максимальным значениями фиктивной скорости газа (пара) $w_{y\min}$ и $w_{y\max}$, м/с, соответственно. Более адекватно допустимые нагрузки по газу характеризуют фактором газовой нагрузки F_s , Па^{0,5}, который рассчитывают по формуле (на полное сечение тарелки):

$$F_s = w_y \sqrt{\rho_y}, \quad (1)$$

где w_y – скорость газа (пара) в расчете на полное сечение тарелки, м/с; ρ_y – плотность газа (пара) при рабочих условиях, кг/м³.

Значение w_y вычисляют:

$$w_y = \frac{V_y}{F_T}, \quad (2)$$

где V_y – объемный расход газа (пара), м³/с; F_T – площадь поперечного сечения тарелки, м².

Скорость газа в отверстиях тарелки w_{oy} , м/с:

$$w_{oy} = \frac{w_y}{f_{св}}, \quad (3)$$

где $f_{св}$ – относительное свободное сечение отверстий тарелки, м²/м².

Минимальную допустимую фиктивную скорость газа (пара) через тарелку $w_{y\min}$, м/с, можно определить по формуле [1];

$$w_{y\min} = \frac{2}{3} f_c \sqrt{\frac{2g\rho_x h_0}{\xi\rho_y}}, \quad (4)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; ρ_x – плотность жидкости, кг/м^3 ; h_0 – высота слоя светлой жидкости, м; ξ – коэффициент сопротивления сухой тарелки.

Минимальное значение фактора газовой нагрузки в расчете на скорость газа в отверстиях тарелки $F_{S\text{min}}$, $\text{Па}^{0,5}$, рассчитывают

$$F_{S\text{min}} = w_{y\text{min}} \sqrt{\rho_y}. \quad (5)$$

В формуле (4) $\frac{2}{3} \sqrt{2g} = 2,95$, тогда

$$F_{S\text{min}} = 2,95 \sqrt{\frac{\rho_x h_0}{\xi}}. \quad (6)$$

Для расчета максимальной допустимой скорости газа через тарелку $w_{y\text{max}}$, м/с, широко применяют формулу Киршбаума [2–4]:

$$w_{y\text{max}} = K \sqrt{\frac{\rho_x}{\rho_y}}, \quad (7)$$

где K – коэффициент (зависит от типа тарелки и межтарельчатого расстояния H_t , м).

Используя формулы (1) и (7), получаем формулу для расчета максимально допустимого значения фактора газовой нагрузки $F_{S\text{max}}$, $\text{Па}^{0,5}$:

$$F_{S\text{max}} = K \sqrt{\rho_x}, \quad (8)$$

Гидравлическое сопротивление орошаемой ситчатой тарелки ΔP , Па, рассчитывают по формуле [1–3]

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_{гж} + \Delta P_\sigma, \quad (9)$$

где ΔP_c – сопротивление сухой тарелки, Па; $\Delta P_{гж}$ – сопротивление газо-жидкостного слоя, Па; ΔP_σ – сопротивление, обусловленное преодолением сил поверхностного натяжения, Па.

Сопротивление сухой тарелки вычисляют по формуле [1–5]:

$$\Delta P_c = \xi \frac{\rho_y w_y^2}{2 f_{св}^2}. \quad (10)$$

Для расчетов $\Delta P_{гж}$ в литературе чаще всего рекомендуют формулу Аксельрода [2, 5]:

$$\Delta P_{гж} = 1,3 g k \rho_x (h_{п} + \Delta h), \quad (11)$$

где k – объемное газосодержание пены, $\text{м}^3/\text{м}^3$; ρ_x – плотность жидкости, кг/м^3 ; $h_{п}$ – высота сливного порога, м; Δh – уровень жидкости над сливным порогом, м.

Величину Δh вычисляют по формуле:

$$\Delta h = \left(\frac{V_x}{1,85\Pi k} \right)^{2/3}, \quad (12)$$

где V_x – объемный расход жидкости, м³/с; Π – периметр (длина) сливного порога, м.

Значение ΔP_σ обычно рассчитывают, используя формулу [1–3, 5]:

$$\Delta P_\sigma = \frac{4\sigma_x}{d_o}, \quad (13)$$

где σ_x – поверхностное натяжение жидкости, Н/м; d_o – диаметр отверстий тарелки, м.

С целью сопоставления и оценки погрешностей расчетов параметров гидродинамики ситчатых тарелок нами проведены экспериментальные исследования указанного контактного устройства. Параметры исследованной тарелки следующие: диаметр 0,240 м; диаметр отверстий $d_o = 0,004$ м; периметр сливного порога $\Pi = 0,185$ м; высота сливного порога $h_\Pi = 0,030$ м; относительное свободное сечение отверстий $f_{св} = 0,063$ м²/м²; межтарельчатое расстояние $H_\tau = 0,5$ м. Модельными средами при проведении опытов являлись воздух и вода. При проведении опытов величина w_y изменялась от 0,80 до 2,45 м/с при испытаниях сухих тарелок и от 0,38 до 2,45 м/с при испытаниях орошаемых тарелок. При испытаниях орошаемых тарелок расход жидкости составлял $2,5 \cdot 10^{-5}$, $7,5 \cdot 10^{-5}$ и $15,0 \cdot 10^{-5}$ м³/с.

В ходе эксперимента были определены: сопротивления сухих и орошаемых тарелок; значения минимальной допустимой скорости газа через тарелку $w_{y,min}$ (скорости начала провала жидкости через ее отверстия); значения максимальной допустимой скорости газа через тарелку $w_{y,max}$ (скорости, при которой относительный унос жидкости не превышал $e_x = 0,1$ кг жидкости/кг газа или унос жидкости составлял до 10 % от подаваемого на тарелку ее количества).

По результатам эксперимента были рассчитаны значения коэффициента сопротивления сухой тарелки ξ . Он изменялся от 1,3 до 1,6, снижаясь при увеличении скорости газа. В некоторых литературных источниках, вне зависимости от скорости газа и $f_{св}$, приводят значение $\xi = 1,83$, в иных при $f_{св}$ от 0,05 до 0,10 м²/м² рекомендуют принимать ξ от 1,81 до 1,83, в третьих – от 1,10 до 2,00 [1–5]. По нашему

мнению, для тарелок с $f_{\text{св}}$ от 0,05 до 0,10 м²/м² при расчетах можно принимать приближенно $\xi = 1,5$.

Экспериментально установлено, что провал жидкости через отверстия тарелки наблюдается при F_{Somin} от 8,0 до 8,7 Па^{0,5}. При расчете по формуле (5) получаем F_{Somin} в пределах от 9,9 до 10,7 Па^{0,5} (в зависимости от расхода жидкости). Недопустимый унос жидкости при проведении опытов наблюдался при F_{Smax} выше 1,65 Па^{0,5}. При $H_{\text{т}} = 0,5$ м ($K = 0,076$ [5]) расчет по формуле (8) дает результат: $F_{\text{Smax}} = 2,40$ Па^{0,5}.

В таблице приведены данные по гидравлическому сопротивлению описанной выше тарелки: в числителе даны экспериментальные значения, в знаменателе полужирным шрифтом – расчетные, полученные с использованием формул (9–13).

Таблица – Гидравлическое сопротивление орошаемой тарелки ΔP , Па

$w_{\text{ж}}$, м/с	$V_{\text{ж}} \cdot 10^{-5}$, м ³ /с		
	2,5	7,5	15,0
0,38	200 / 260	230 / 279	289 / 300
0,50	225 / 284	260 / 303	318 / 324
1,00	377 / 454	426 / 473	455 / 494
1,50	563 / 737	626 / 756	680 / 777

Все экспериментально полученные значения гидродинамических параметров ситчатой тарелки значительно (от 10 до 30 %) отличаются от рассчитанных по классическим зависимостям. Поэтому при необходимости получения точных данных проведение опытов обязательно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 751 с.
2. Кафаров, В. В. Основы массопередачи / В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1979. – 439 с.
3. Борисов, Г. С. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов [и др.]. Под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
4. Александров, И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования / И. А. Александров. – М.: Химия, 1971. – 296 с.
5. Романков, П. Г. Методы расчетов процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П. Г. Романков [и др.]. – СПб; Химия, 1993. – 496 с.