

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИТЧАТОЙ ТАРЕЛКИ С ПЛАСТИНЧАТЫМ ОТБойНИКОМ

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.

Межтарельчатый унос является одним из основных факторов, ограничивающих повышение скорости газа (пара) в массообменных аппаратах. От величины брызгоуноса существенно зависит межтарельчатое расстояние и, следовательно, высота массообменной колонны. Для снижения уноса капель над массообменной тарелкой устанавливают каплеотбойники различных конструкций.

Другим основным гидродинамическим параметром является гидравлическое сопротивление массообменной тарелки, характеризующее энергетические затраты на перемещение газовой (паровой) фазы. По этой причине конструкция отбойника должна обладать минимальным сопротивлением.

На кафедре процессов и аппаратов химических производств БГТУ разработана и исследована новая конструкция пластинчатого отбойника с низким гидравлическим сопротивлением, который выполнен в виде двухскатной крыши, установленной над полотном ситчатой тарелки.

Исследование гидродинамических параметров ситчатой тарелки с пластинчатым отбойником проводили в системе воздух – вода в колонне диаметром 240 мм. Рабочее сечение тарелки составляло 0,0416 м<sup>2</sup>. Периметр перелива – 0,168 м. Высота переливной планки – 0,04 м. Относительное свободное сечение тарелки – 11%. Отбойник был выполнен из пластин шириной 0,02 м, которые были установлены друг над другом на расстоянии 0,01 м. Угол наклона «скатов» к горизонту составлял 45°. Скорость газа по сечению колонны изменяли в пределах от 0,6 до 3,2 м/с; нагрузку по жидкости – в пределах изменения линейной плотности орошения от 1 до 9 м<sup>3</sup>/(м · ч).

Схема установки для определения гидродинамических параметров представлена на рис. 1.

Воздух в колонну нагнетали турбогазодувкой. Вода в колонну подавалась из бака с помощью центробежного насоса. Расход воды регистрировали ротаметрами РС-5 и РС-7. Измерения величины уноса проводили с помощью мерного цилиндра и секундомера (точность измерений составила ±1 мл). Замеры между каждым расходом воздуха проводились с интервалом в 5 мин.

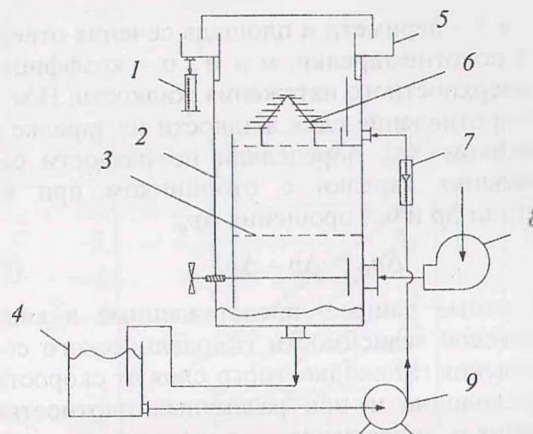


Рис. 1. Схема установки: 1 – мерный цилиндр; 2 – колонна; 3 – распределительная тарелка; 4 – бак с водой; 5 – сепаратор; 6 – пластинчатый отбойник; 7 – ротаметр; 8 – турбовоздуходувка; 9 – насос

### Гидравлическое сопротивление

Сопротивление ситчатой тарелки с отбойником можно рассчитать по формуле

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

где  $\Delta p_{\text{сух}}$ ,  $\Delta p_{\text{сл}}$ ,  $\Delta p_{\text{с}}$  – соответственно гидравлическое сопротивление сухой тарелки, слоя жидкости на тарелке с отбойником, обусловленное поверхностным натяжением жидкости.

Гидравлическое сопротивление сухой тарелки выражают формулой для местных сопротивлений

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

где  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления тарелки;  $\rho_r$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $w_0$  – скорость газа в отверстиях полотна тарелки, м/с.

Коэффициент гидравлического сопротивления ситчатой тарелки 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.

В работе [1] установлено, что расчет коэффициента сопротивления сухой ситчатой тарелки лучше всего проводить по зависимости

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

где  $\varphi_c$  – доля живого сечения тарелки,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ;  $\lambda$  – 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  $\Pi$  и  $S$  – периметр и площадь сечения отверстия в полотне тарелки, м и  $\text{м}^2$ ;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м.

Сопротивление слоя жидкости на тарелке с отбойником  $\Delta p_{\text{сл}}$  определяли по разности сопротивления тарелки с отбойником при ее орошении  $\Delta p$  и без орошения  $\Delta p_c$ :

$$\Delta p_{\text{сл}} = \Delta p - \Delta p_c. \quad (5)$$

Опытные данные, представленные в виде графической зависимости гидравлического сопротивления газожидкостного слоя от скорости газа в колонне  $w$  при различных плотностях орошения  $q$ , линеаризуются в логарифмических координатах (рис. 2).

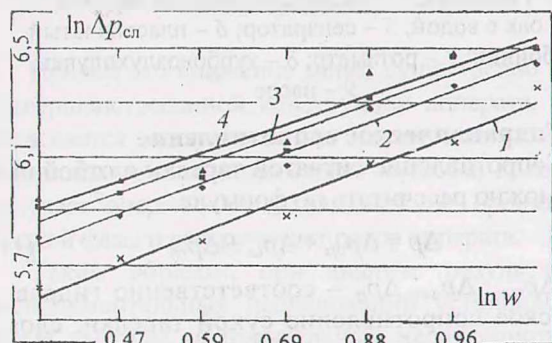


Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления газожидкостного слоя  $\Delta p_{\text{сл}}$  от скорости газа в колонне для различных плотностей орошения  $q$ : 1 –  $1 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ ; 2 –  $3 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ ; 3 –  $5 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ ; 4 –  $7 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$

Очевидно существование зависимости типа

$$\Delta p_{\text{сл}} = B \cdot w^m. \quad (6)$$

Чтобы выявить эту зависимость, был построен график  $B = f(q)$  в логарифмических координатах (рис. 3). Из рисунка видно, что эта зависимость линеаризуется, следовательно, можно записать следующее уравнение

$$B = K \cdot q^{m_1}. \quad (7)$$

Величина коэффициента  $K = 188$ . Показателя степени  $m_1 = 0,182$ .

Для оценки показателя степени  $m$  в уравнении (6) от плотности орошения был построен график  $m = f(q)$  в логарифмических координатах (рис. 4). Из рисунка видно, что эта зависимость линеаризуется, следовательно, можно записать

$$m = C \cdot q^k, \quad (8)$$

где  $C = 1$ ,  $k = -0,054$ .

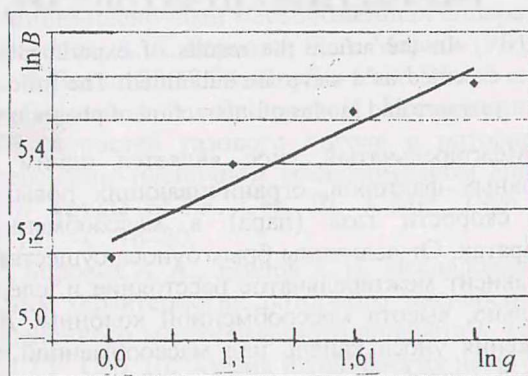


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $B$  от плотности орошения  $q$

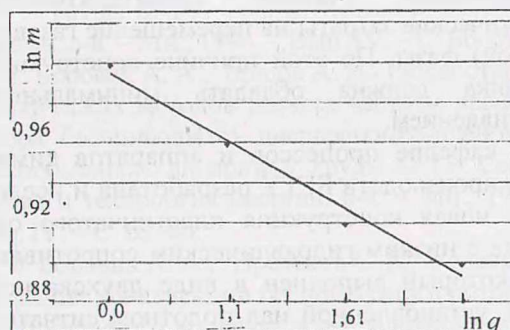


Рис. 4. Зависимость показателя степени  $m$  от плотности орошения  $q$

Таким образом, окончательное уравнение для расчета гидравлического сопротивления газожидкостного слоя ситчатой тарелки с пластинчатым отбойником принимает вид

$$\Delta p_{\text{сл}} = 188 \cdot q^{0,182} \cdot w^{q^{-0,054}}. \quad (9)$$

Относительная погрешность не превышает 15%.

#### Межтарельчатый унос

В настоящее время существует большое число публикаций по исследованию работы ситчатой тарелки, в которых выявлены три основных режима: равномерный, газовых струй и инжекционный.

В интервале значений скоростей от 0,6 до 1,1–1,2 м/с наблюдается равномерный режим (газ распределен в жидкости). При данном режиме газ барботирует через слой жидкости в виде пузырей, которые всплывают к поверхности жидкости за счет выталкивающей силы. Газожидкостный слой в равномерном режиме можно рассматривать как дисперсную систему, причем дисперсионной средой является жидкость, а дисперсной фазой – газ. В пределах этого режима с увеличением скорости газа



жидкость начинает обособляться, образуя деформированные, непрерывно сливающиеся и разрушающиеся, движущиеся агрегаты жидкости.

Второй режим – газовых струй, наблюдается в интервале значений скоростей газа  $1,1-1,2 \leq w \leq 2-2,2$  м/с. В данном режиме газ образует в слое жидкости газовую струю, пронизывающую жидкость практически по всей высоте слоя.

Третий режим – инжекционный. Пределы существования данного режима  $2-2,2 \leq w \leq 2,8-3,2$  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.

Границы указанных гидродинамических режимов зависят от гидродинамических, физико-химических и конструктивных параметров системы и могут колебаться в широких пределах. В частности, на пределы гидродинамических режимов и на поведение фаз внутри отдельного режима большое влияние оказывает высота исходного слоя жидкости, ее пенообразующая способность и т. д.

При установке над ситчатой тарелкой пластинчатого отбойника, выполненного в виде двухскатной крыши, унос жидкости в равномерном режиме и режиме газовых струй снизился до такой степени, что его величину было трудно установить экспериментально. По этой причине объектом исследования стал инжекционный режим.

Опытные данные по исследованию инжекционного режима представлены на рис. 5.

Из рисунка видно, что полученные экспериментальные зависимости величины относительного уноса от скорости газа в колонне при различных плотностях орошения, а также при различных высотах  $H$  установки отбойника линеаризуются в логарифмических координатах.

Для диапазона изменения скорости газа от 2 до 3,2 м/с очевидно существование зависимости типа

$$e = A \cdot w^n. \quad (10)$$

Показатель степени  $n$  равен тангенсу угла наклона прямой, а коэффициент  $A$  – величине, отсекаемой на оси ординат при  $\ln w$ , равному нулю.

Полученные значения показателя степени  $n$  и коэффициента  $A$  сведены в таблицу.

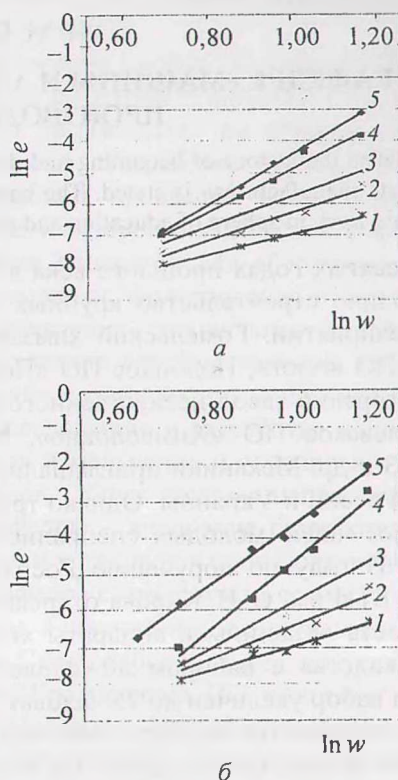


Рис. 5. Зависимость относительного уноса  $e$  от скорости газового потока в колонне при различных плотностях орошения  $q$ : 1 –  $1 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ ; 2 –  $3 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ ; 3 –  $5 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ ; 4 –  $7 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ ; 5 –  $9 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$  в логарифмических координатах при различных высотах установки отбойника  $H$ : а – 0,1 м; б – 0,05 м.

Таблица

Показатель степени  $n$  и коэффициент  $A$

$q, \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$	$H, \text{ мм}$			
	50		100	
	$A \cdot 10^6$	$n$	$A \cdot 10^6$	$n$
1	34,7	3,4	28,4	3,5
3	3,3	6,3	5,5	5,8
5	0,15	9,9	4,0	6,6
7	3,6	8,3	22,1	5,9
9	3,5	9,0	3,7	8,1

Относительная погрешность 20%.

### Литература

1. Протасов С. К., Марков В. А. Перепад давления на неорошаемой ситчатой тарелке // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганических веществ. – Мн., 2002. – Вып. X. – С. 207–210.