

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОРОШАЕМОГО СЛОЯ РЕГУЛЯРНОЙ НАСАДКИ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПЛОТНОСТИ ОРОШЕНИЯ

Balchugov A.V.

EMPIRICAL DEPENDENCE OF THE HYDRAULIC RESISTANCE OF THE WATER LAYER OF THE REGULAR PACKING ON THE RESISTANCE COEFFICIENT AND IRRIGATION DENSITY

Аннотация. Получено критериальное уравнение для коэффициента сопротивления регулярной насадки, а также получена зависимость, связывающая гидравлическое сопротивление сухой и орошаемой насадки.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, ударно-распылительная насадка, критериальное уравнение.

Abstract. A criterion equation for the coefficient of hydraulic resistance of a layer of regular packing was obtained, and a dependence was obtained that connects the hydraulic resistance of a dry and irrigated packing.

Keywords: hydraulic resistance, shock-spray packing, criterion equation.

В работе [1] приведены экспериментальные данные по гидравлическому сопротивлению слоя ударно-распылительной насадки. После обработки результатов экспериментов получены линейные зависимости для гидравлического сопротивления. Представляет интерес на основе опубликованных экспериментальных данных получить критериальное уравнение для коэффициента гидравлического сопротивления слоя насадки, а также получить зависимость, связывающую гидравлическое сопротивление сухой и орошаемой насадки.

Коэффициент сопротивления ударно-распылительной насадки определим по уравнению из работы [2]:

$$\xi = \frac{\Delta P_c}{C \cdot w^2} \quad (1) \quad C = \frac{a \cdot \rho}{8 \cdot \varepsilon^3}, \quad (2)$$

где ΔP_c – гидравлическое сопротивление слоя сухой насадки высотой 1 м, Па/м; w – приведенная скорость газа в слое насадки, м/с; C – постоянный коэффициент; a – удельная поверхность насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$ ($a=59,6 \text{ м}^2/\text{м}^3$); ε – свободный объем слоя насадки ($\varepsilon=0,82 \text{ м}^3/\text{м}^3$); ρ – плотность воздуха; ξ – коэффициент сопротивления.

Результаты определения коэффициента гидравлического сопротивления, представленные на рисунке 1, описываются линейным уравнением:

$$\xi = 1,215 \cdot w + 3,239. \quad (3)$$

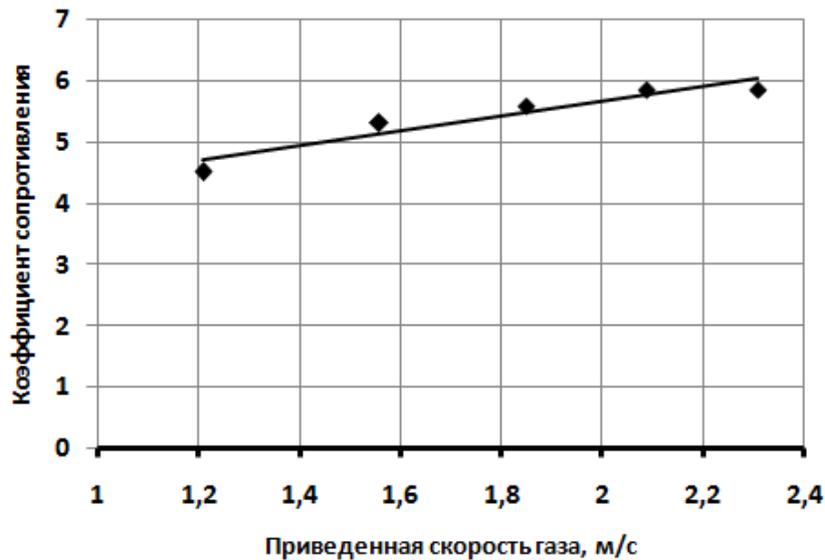


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента сопротивления слоя насадки от скорости газа

В литературе зависимость для коэффициента сопротивления слоя насадки, как правило, приводят в виде [3]:

$$\xi = A \cdot Re^n, \quad (4)$$

где A – эмпирический коэффициент.

Для получения зависимости вида (4) проведём обработку результатов экспериментов (табл.). Критерий Рейнольдса воздуха рассчитан по уравнению:

$$Re = \frac{w \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho}{\mu}, \quad (5)$$

где $d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр насадки, $d_{\text{э}}=0,055$ м; ρ – плотность воздуха, $\rho=1,19$ кг/м³; μ – динамическая вязкость воздуха, $\mu=18 \cdot 10^{-6}$ Па·с [3].

Таблица

Обработка результатов экспериментов

Приведенная скорость газа, w , м/с	Критерий Рейнольдса Re	Коэффициент сопротивления слоя насадки, ξ	$lgRe$	$lg\xi$
1,21	4399	4,52	3,64	0,66
1,56	5672	5,32	3,75	0,73
1,85	6726	5,59	3,82	0,75
2,09	7599	5,86	3,88	0,77
2,31	8399	5,86	3,92	0,77

Построим зависимость коэффициента сопротивления от критерия Рейнольдса в логарифмических координатах (рис. 2). На этом графике по оси абсцисс отложены величины $x=lgRe-3$, а по оси ординат – величины $y=lg\xi-0,65$.

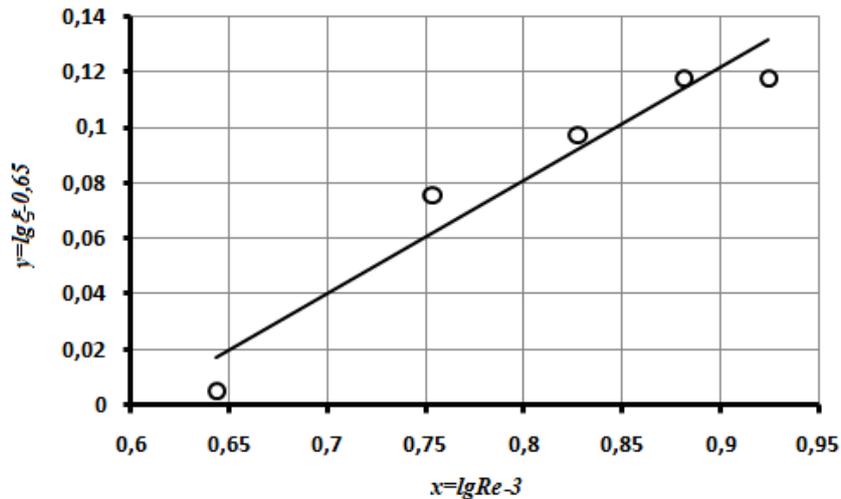


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента сопротивления слоя насадки от критерия Рейнольдса в логарифмических координатах

Уравнение полученной прямой линии:

$$y = 0,407 \cdot x - 0,245. \quad (6)$$

$$\lg \xi - 0,65 = 0,407 \cdot (\lg Re - 3) - 0,245. \quad (7)$$

Откуда:

$$\xi = 0,153 \cdot Re^{0,407}. \quad (8)$$

Критериальное уравнение (8) может быть использовано для определения коэффициента гидравлического сопротивления слоя сухой ударно-распылительной насадки для любого газа при $4400 < Re < 8400$. Гидравлическое сопротивление сухой насадки можно найти, подставив значение коэффициента сопротивления в уравнение:

$$\Delta P_c = \xi \cdot C \cdot w^2. \quad (9)$$

Зависимость отношения гидравлического сопротивления орошаемой насадки к сопротивлению сухой насадки от плотности орошения принято выражать уравнением [2]:

$$\frac{\Delta P_{op}}{\Delta P_c} = f(U), \quad (10)$$

где U – плотность орошения, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Найдем зависимость между гидравлическим сопротивлением орошаемой и сухой ударно-распылительной насадки в виде:

$$\frac{\Delta P_{op}}{\Delta P_c} = B \cdot U^n, \quad (11)$$

где B – эмпирический коэффициент.

На рисунке 3 представлены результаты определения гидравлического сопротивления орошаемой насадки в логарифмических координатах: по оси

абсцисс $x = \lg U - 1$, по оси ординат $y = \lg(\Delta P_{op}/\Delta P_c)$. Экспериментальные точки на рисунке 3 описываются линейным уравнением:

$$y = 0,057 \cdot x + 0,247. \quad (12)$$

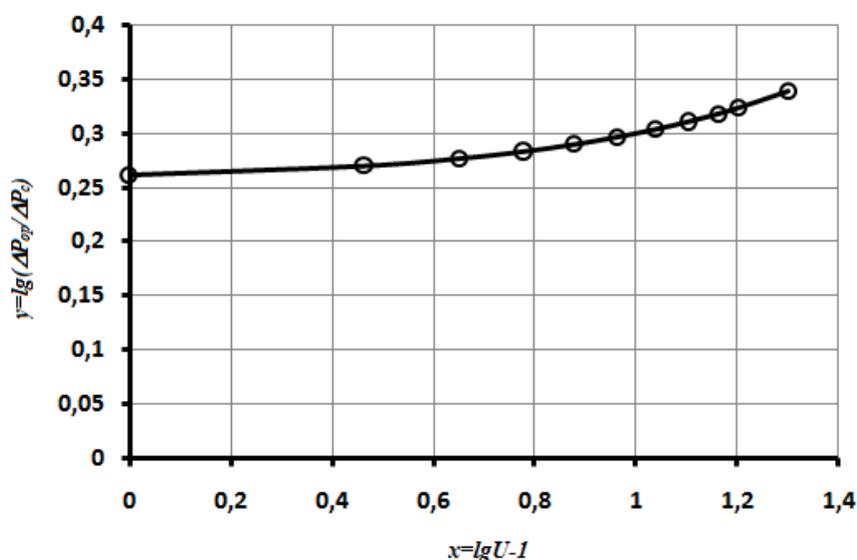


Рисунок 3 – Результаты экспериментов по определению гидравлического сопротивления в логарифмических координатах

После подстановки получим:

$$\lg \frac{\Delta P_{op}}{\Delta P_c} = 0,057 \cdot (\lg U - 1) + 0,247. \quad (13)$$

$$\frac{\Delta P_{op}}{\Delta P_c} = 1,55 \cdot U^{0,057}. \quad (14)$$

Уравнение (14) справедливо при приведенных скоростях газа 1,21-2,31 м/с и плотности орошения 29,08-159,39 м³/(м²·ч).

Таким образом, в результате обработки экспериментальных данных получены эмпирические уравнения для определения гидравлического сопротивления сухой и орошаемой ударно-распылительной насадки. Данные уравнения могут быть использованы при проектировании новых насадочных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев М.В., Бальчугов А.В., Бадеников А.В., Коробочкин В.В. Гидродинамические исследования слоя ударно-распылительной насадки в режиме орошения. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017, №12, с. 116-123.
2. Рамм В.М. Абсорбция газов. М., Химия, 1976, 655 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л., Химия, 1976, 552 с.