

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ВЫСОКИМИ ПЛОТНОСТЯМИ ОРОШЕНИЙ

Во многих отраслях химтехнологии широко распространены массо-обменно-реакционные процессы извлечения целевых компонентов из газовых смесей путем абсорбции или хемосорбции большими объемами жидкости. В таких процессах, как правило, требуется обеспечивать интенсивное взаимодействие фаз в зоне контакта и применять совершенные конструкции аппаратов с достаточно высокой пропускной способностью.

Традиционные насадочные, а также противоточные и перекрестноточные тарельчатые колонные аппараты обладают рядом особенностей, ограничивающих их производительность и эффективность. По литературным данным известно, что с увеличением плотности орошения до 100-150 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) диапазон устойчивой работы типовых конструкций сужается и сдвигается в сторону снижения расхода газа. При этом пропускная способность аппаратов лимитируется либо уносом жидкости с газом, либо «захлебыванием» контактных устройств, а эффективность разделения ухудшается из-за снижения относительных скоростей движения фаз.

Перспективным направлением повышения производительности тарельчатых колонных аппаратов является разработка барботажно-прямо-точных контактных устройств (БПКУ), в которых увеличение локальных относительных скоростей фаз не сопровождается ограничением их пропускной способности и приводит к образованию газожидкостных структур с развитой (интенсивно обновляемой) межфазной поверхностью. Наличие узла сепарации дает возможность эффективно использовать объем межтарельчатого пространства в условиях значительных жидкостных нагрузок. При этом важную роль играет гидравлическое сопротивление контактных устройств, заметно влияющее на выбор типа машины для транспортировки газа и на энергозатраты.

Авторы провели исследования семи вариантов разработанных БПКУ, отличающихся размерами, конструктивным оформлением контактной зоны, а также узлов сепарации и распределения жидкости [1]. Для определения потерь напора газа нами, по аналогии с другими авторами использовалось правило аддитивности, согласно которому полное гидравлическое сопротивление  $\Delta P_T$  равно сумме сопротивлений отдельных зон, т.е.

$$\Delta P_T = \Delta P_{\theta} + \Delta P_v + \Delta P_{en}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_0$ ,  $\Delta P_v$  и  $\Delta P_{\text{сп}}$  – соответственно, потери напора газа при прохождении через перфорированное полотно, в объеме циркуляционного контура и в сепарационном устройстве.

Для высоких барботажных слоев величина  $\Delta P_0$  является сравнительно небольшой и в нашем случае она находилась по известным зависимостям для струйного истечения газа из односторонне затопленных отверстий

$$\Delta P_0 = \zeta_0 (\rho_r W_{r0}^2)/2, \quad (2)$$

где  $\zeta_0 = f(S_0/d_0)$  – коэффициент сопротивления затопленного отверстия,  $\rho_r$  – плотность газа,  $W_{r0}$  – скорость газа в отверстии.

В исследованном диапазоне нагрузок для моделей БПКУ полученные значения коэффициента составили  $\zeta_0 = 1.0 \div 1.1$ .

При оценке потерь напора в циркуляционном контуре рекомендуется учитывать соответствующие профили газосодержания и скорости газа. Для этого восходящий поток нами представлен состоящим из ряда коаксиальных кольцевых элементарных объемов высотой  $H_v$ , радиусом  $r$  и шириной кольца  $dr$ . Применяя основные положения теории локально-изотропной турбулентности Колмогорова [2], нами установлена зависимость, описывающая распределение локальных скоростей газа в восходящем потоке

$$W_r = \Delta P_v \cdot W_v / (\rho_{ж} g H_v (1-\varepsilon)). \quad (3)$$

Подставляя значение  $W_r$  в уравнение неразрывности потока и решая последнее относительно  $\Delta P_v$ , получили:

$$\Delta P_v = \rho_{ж} g H_v \cdot R_v^2 / (2 \int_0^{R_v} r / (1-\varepsilon) dr). \quad (4)$$

Анализ результатов определения  $\Delta P_v$  по другим известным формулам показал, что в первом случае удастся точнее установить  $\Delta P_v$  в аппаратах укрупненных размеров, когда отношение значений газосодержания в центре потока и на его периферии заметно отличаются. При этом для расчета локальных значений газосодержания в исследованных моделях БПКУ получена эмпирическая зависимость следующего вида

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 - c_0 (r/R_v)^{n_0}), \quad (5)$$

где  $\varepsilon_0 = 1.32 \cdot \varepsilon_v \exp(-0.32 \cdot \varepsilon_v)$  – газосодержание на оси потока, а  $c_0 = -0.95 \cdot 10^{-4} - 0.35 \cdot \ln(\varepsilon_v)$ ,  $n_0 = 1.186 \cdot \exp(1.574 \cdot \varepsilon_v)$  – коэффициенты, учитывающие характер изменения профиля в радиальном направлении.

При определении величины гидравлического сопротивления узла сепарации  $\Delta P_{\text{сп}}$  по опытным данным из общего сопротивления БПКУ отнимались составляющие  $\Delta P_0$  и  $\Delta P_v$ . Такой подход вполне оправдан, учитывая сложный характер взаимодействия фаз в сепарационной зоне. Анализ полученных результатов показал, что они не лишены логическо-

го смысла ( $\Delta P_{\text{сп}} \rightarrow 0$  при  $W_r \rightarrow 0$ ) и могут быть описаны простой кинетической зависимостью:

$$\Delta P_{\text{сп}} = \zeta_{\text{сп}} (\rho_r W_{r,\text{сп}}^2)/2, \quad (6)$$

где  $\zeta_{\text{сп}}$  – коэффициент местного сопротивления сепаратора,  $W_{r,\text{сп}}$  – скорость газа, приведенная к площади живого сечения сепарационного элемента, м/с.

Факторный анализ показал, что  $\zeta_{\text{сп}}$  является функцией  $W_{r,\text{сп}}$  и  $W_{ж,\text{сп}}$ . Для моделей БПКУ 1-4, у которых оси сепарационного элемента и восходящего потока совпадали, значения  $\zeta_{\text{сп}}$  может быть рассчитано по формуле

$$\zeta_{\text{сп}} = 2864 \cdot W_{r,\text{сп}}^{-1.17} W_{ж,\text{сп}}^{1.58}, \quad (7)$$

а для моделей 5-7, у которых оси сепарационного элемента и восходящего потока не совпадали, по формуле

$$\zeta_{\text{сп}} = 3905 \cdot W_{r,\text{сп}}^{-1.27} W_{ж,\text{сп}}^{0.49} d_1^{0.81}, \quad (8)$$

где  $d_1$  – диаметр аппарата, м.

В таблице приведены средние относительные погрешности расчета гидравлического сопротивления исследованных моделей БПКУ по разработанной методике в сравнении с данными экспериментальных исследований.

Таблица

Номер конструкции	1	2	3	4	5	6	7
Количество экспериментальных точек	17	18	17	18	18	18	12
Среднее относительное отклонение, в %	5.4	17.8	5.35	5.33	4.57	3.62	2.94

Следует отметить повышение точности расчетов с увеличением размеров исследуемых контактных устройств, что возможно объяснить снижением влияния пристенных эффектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рабко А.Е. Разработка барботажно-прямоточных контактных устройств для абсорбции труднорастворимых газов химически реагирующими поглотителями: Дисс. ... канд. техн. наук. – Мн., 1993.
2. Минский Е.М. Статистическое обоснование уравнений фильтрационного движения // Доклады АН СССР. – 1981. – Т.78. – №3. – С.409-412.