

Расчёт насадочного абсорбера

Задание:

В насадочном абсорбере чистой водой поглощается целевой компонент из его смеси с воздухом при давлении P и температуре t . Расход газа V_c (при нормальных условиях: 0°C , 760 мм. рт. ст.), начальное содержание A в газе y_n , степень извлечения A равна $\eta_{п.}$. Коэффициент избытка орошения ϕ , коэффициент смачивания ψ , коэффициент массопередачи K . Определить расход воды, диаметр абсорбера и высоту насадки. Принять рабочую скорость газа $\omega = 0,8\omega_3$, где ω_3 – скорость газа в точке захлёбывания.

Размер насадки, мм	Целевой компонент А	P , МПа	t , $^\circ\text{C}$	V_c , $\text{м}^3/\text{ч}$	y_n , %	$\eta_{п.}$, %	ϕ	ψ	$K \cdot 10^6$, $\frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$
Стальные кольца 35Ч35Ч2.5	сероводород H_2S	0,8	10	1000	10	93	1,4	0,88	1

Расчёт процесса абсорбции ведут, либо в относительных мольных, либо в относительных массовых долях концентрации.

$$Y_n = \frac{1 - y_n}{y_n} = \%$$

$$Y_k = Y_n(1 - h_{п.}) =$$

Равновесная зависимость системы газ-жидкость определяется законом Генри и следствием из закона Дальтона

$$Y^* = mX,$$

где $m = \frac{E}{P} =$ - коэффициент распределения

$E =$ МПа – коэффициент Генри для сероводорода при $t = 10^\circ\text{C}$.

$$X_k^* = \frac{Y_n}{m} = \%$$

Уравнение математического баланса имеет вид

$$M = G(Y_n - Y_k) = L(X_k - X_n) \quad \left[\frac{\text{кмоль}}{\text{час}} \right],$$

где M – количество распределённого компонента А,

G – расход инертного газа (воздух),

L – расход поглотителя (вода).

$$l = \frac{L}{G} = \frac{Y_n - Y_k}{X_k - X_n}$$

$$l_{\min} = \frac{Y_n - Y_k}{X_k^*} = \text{при } X_n = 0;$$

$$l = j \cdot l_{\min} =$$

$$X_k = \frac{Y_n - Y_k}{l} = \%$$

$$Y_{Xk}^* = m \cdot X_k = \%$$

$$G_{\text{масс}} = V_c \cdot r_0 \cdot (1 - y_n) = \left[\frac{\text{кг}}{\text{час}} \right]$$

$$G_{\text{мол}} = \frac{G_{\text{масс}}}{M_{\text{возд}}} = \left[\frac{\text{кмоль}}{\text{час}} \right]$$

$$L_{\text{мол}} = l \cdot G_{\text{мол}} = \left[\frac{\text{кмоль}}{\text{час}} \right]$$

$$L_{\text{масс}} = L_{\text{мол}} \cdot M_{\text{вод}} = \left[\frac{\text{кг}}{\text{час}} \right]$$

Определим среднюю движущую силу:

$$\Delta Y_{cp} = \frac{\Delta Y_n - \Delta Y_k}{\ln \left(\frac{\Delta Y_n}{\Delta Y_k} \right)} = \%,$$

$$\text{где } \Delta Y_n = Y_n - Y_{Xk}^* = \%$$

$$\Delta Y_k = Y_k = \%$$

Определим число единиц переноса.

Для линейной равновесной зависимости можно использовать аналитический метод,

$$n_y = \frac{Y_n - Y_k}{\Delta Y_{cp}} =$$

и графический (построение ломанной)

$$n_y = 6$$

Определим диаметр абсорбера.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_p}{p \cdot w_p}},$$

где V_p – расход газовой смеси при рабочих условиях

$$V_c \cdot r_0 = V_p \cdot r_z$$

отсюда получаем

$$V_p = \frac{V_c \cdot r_0}{r_z} = \left[\frac{\text{м}^3}{\text{час}} \right],$$

где $r_z = r_0 \cdot \frac{PT_0}{P_0T} = \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ – плотность газа в рабочих условиях.

Определим рабочую скорость газа в колонне.

$$\lg \left(\frac{w_{np}^2 \cdot a \cdot r_y}{g \cdot e^3 \cdot r_x} \cdot \left(\frac{m_x}{m_g} \right)^{0,16} \right) = A - B \cdot \left(\frac{L_{масс}}{G_{масс}} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{r_y}{r_x} \right)^{\frac{1}{8}},$$

где $a = 170 \text{ м}^2/\text{м}^3$ – удельная поверхность насадки,

$e = 0,9 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – порозность насадки,

$r_y = r_z = 9,98 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ – плотность газа в рабочих условиях,

$r_x = r_{вод}^{10^\circ\text{C}} = 1000 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ – плотность поглотителя в рабочих условиях,

$m_x = m_{вод}^{10^\circ\text{C}} = 1,308 \cdot 10^{-3} [\text{Па} \cdot \text{с}]$ – вязкость поглотителя в рабочих условиях,

$m_g = m_{вод}^{20^\circ\text{C}} = 1,005 \cdot 10^{-3} [\text{Па} \cdot \text{с}]$ – вязкость поглотителя в нормальных

условиях,

$A = -0,49$; $B = 1,04$ – коэффициенты, зависящие от типа насадки,

$L_{масс} = \left[\frac{\text{кг}}{\text{сек}} \right]$ – массовый расход поглотителя,

$G_{масс} = \left[\frac{\text{кг}}{\text{сек}} \right]$ – массовый расход газа.

$$\lg\left(\frac{w_{np}^2 \cdot 170 \cdot 9,98}{9,8 \cdot 0,9^3 \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1,308 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}}\right)^{0,16}\right) = -0,49 - 1,04 \cdot \left(\frac{12}{0,32}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{9,98}{1000}\right)^{\frac{1}{8}}$$

Находим из этого выражения $w_{np} = 0,28$ м/с.

Рабочую скорость газа в процессе берём на 20% меньше скорости захлёбывания $w_p = w_{np} \cdot 0,8 = 0,224$ м/с.

Тогда диаметр аппарата равен:

$$D = 0,6 \text{ м}$$

Выбираем стандартный диаметр стального абсорбера $D = 0,6$ м.

Находим высоту насадки.

$$H = \frac{G_{\text{мол}}(Y_n - Y_k)}{K_{yv} \cdot \Delta Y_{cp} \cdot S \cdot \gamma} = 2,81 \text{ м},$$

где $K_{yv} = K \cdot \Pi \cdot a = \left[\frac{\text{кмоль}}{\text{час} \cdot \text{м}^3} \right]$ - объёмный коэффициент массопередачи,

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,28 \text{ м}^2$$

Вывод:

В результате проведённых расчётов получаем насадочный абсорбер с диаметром кожуха в 0,6 метра, и высотой насадки 2,81 метра. Так как высота насадки лежит в пределах $(3-5) \cdot D = (1,8-3)$ м, то насадку разбиваем на слои:

$$h_{\text{сл.1}} = 3 \cdot D = 3 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ м}$$

$$h_{\text{сл.2}} = 2,81 - 1,8 = 1,01 \text{ м}$$

Расчет удерживающей способности насадки

Определяем площадь сечения колонны:

$$S = \frac{p \cdot D^2}{4} = \text{м}^2$$

Фактическая скорость газа в колонне:

$$v = \frac{V_c}{S_{\text{кол}}} = \text{м/с}$$

Находим эквивалентный диаметр насадки:

$$d_{\text{э}} = 4 \cdot \frac{e}{a} = \text{м}$$

$$V_{\text{кан}} = V_{\text{кол}} \cdot e = D \cdot H \cdot e = \text{м}^3 \quad 47$$

$$n_{\text{кан}} = 4 \cdot \frac{V_{\text{кол}}}{p \cdot d_{\text{э}}^2 \cdot H_{\text{кан}}} = \frac{4 \cdot H_{\text{кол}} \cdot \frac{p \cdot d_{\text{кол}}^2}{4}}{H_{\text{кан}} \cdot p \cdot d_{\text{э}}^2} = \frac{H_{\text{кол}}}{H_{\text{кан}}} \cdot \left(\frac{d_{\text{кол}}}{d_{\text{э}}} \right)^2 =$$

Проследим изменение гидравлического сопротивления и скорости изменения расхода жидкости в зависимости от изменения рабочего диаметра насадки.

Принимаем коэффициент насадки 0,1.

Определим толщину стенки насадки:

$$d = k \cdot \frac{d_{\text{э}}}{2} = \text{м}$$

Тогда рабочий диаметр насадки определяется:

$$d_p = d_{\text{э}} - 2 \cdot d = \text{м}$$

Рабочая порозность насадки:

$$e_p = e \cdot \left(\frac{d_p}{d_{\text{э}}} \right)^2 = \text{м/м}$$

Число Рейнольдса для газовой фазы:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_p \cdot r_z}{m_z \cdot e_p} =$$

$$I = \frac{36}{\text{Re}} + 0.6 =$$

Гидравлическое сопротивление насадки составит:

$$\Delta p = l \cdot \frac{H}{d_p} \cdot r_{жс} \cdot \frac{v_{\phi}^2}{2} \cdot \frac{1 - e_p}{e_p^{4.75}} =$$

Определим коэффициенты интегрирования:

$$t_0 = \frac{\Delta p}{2 \cdot H} \cdot (R - d) =$$

$$C_0 = \frac{t_0}{m_{жс}} (R - d) - \frac{g \cdot r}{2 \cdot m_{жс}} (R - d)^2 =$$

Определим скорость движения жидкости в насадке:

$$v = \frac{g \cdot r}{4 \cdot m} (R^2 - r^2) + C_0 \cdot (\ln r - \ln R) =$$

Расход жидкости:

$$Q = \frac{g r p}{8 m} \cdot \left[(2 R d - d^2)^2 + (R - d)^2 \cdot \left(2 R d - d^2 - (R - d)^2 \cdot \ln \frac{R - d}{R} \right) \right] -$$

$$- \frac{p}{2 m} \cdot \frac{\Delta p}{2 H} \cdot (R - d)^2 \cdot \left(2 R d - d^2 - (R - d)^2 \cdot \ln \frac{R - d}{R} \right) =$$

Для коэффициентов насадки $k = 0.3, 0.5, 0.7$ расчет проводится аналогично.

Полученные значения сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчетные параметры удерживающей способности насадки.

k	δ	Q	V_z
0,1	0,00106	0,0010	0,000814
0,3	0,00318	0,0045	0,0032
0,5	0,0053	0,0083	0,0049
0,7	0,00742	0,0117	0,006100

По полученным значениям построим график зависимости $V = f(Q)$.