

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4.

## РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ

### АДСОРБЦИИ ГАЗОВ

**Цель работы:** Применение приобретенных знаний при расчете процесса адсорбции и аппарата адсорбера

#### **Основные положения**

При проектировании адсорбера необходимы следующие исходные данные:

- объемный расход очищаемого газа (воздуха)  $Q$ , м<sup>3</sup>/с;
- концентрация примеси  $C_0$ , кг/м<sup>3</sup> ;
- свойства очищаемого газа (температура, плотность, вязкость);
- давления отходящих газов.

# Методика расчета

1. Выбирают рабочую температуру (минимально возможную) и тип сорбента. Выбор сорбента проводится по изотерме адсорбции при данных  $t$  и  $C_0$

В данной расчетной работе параметры сорбента приведены в таблице исходных данных (вариантов).

2. Рассчитывают коэффициент диффузии примеси в воздухе  $D$ , м /с:

$$D = \frac{0,00435 \cdot T^{1,5}}{P(V_{mA} + V_{mB})} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}},$$

где  $T$  - температура потока, К;  $P$  - давление (атмосферное), Па;

$V_{mA}$ ,  $V_{mB}$ ,  $M_A$  и  $M_B$  - мольные объемы ( $\text{см}^3/\text{моль}$ ) и массы ( $\text{кг}/\text{кмоль}$ ) соответственно примеси (А) и воздуха (В).

Мольные объемы определяют как сумму атомных объемов элементов.

Мольные массы определяют как сумму атомных масс элементов.

Для воздуха:  $V_{mB} = 29,9 \text{ см}^3/\text{моль}$ ;  $M_B = 29 \text{ кг}/\text{кмоль}$ .

# Методика расчета

3. Рассчитывают коэффициент массопередачи **K**, 1/с:

$$K = 1,6 \cdot \frac{D \cdot v_0^{0,54}}{v^{0,54} \cdot d_3^{1,46}},$$

где **D** – коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;

**v** - кинематическая вязкость очищаемого газа, м<sup>2</sup>/с

(для воздуха, при 20 °С  $v=16 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, плотность  $\rho=1,2$  кг/м<sup>3</sup>);

**d<sub>3</sub>** -размер зерна сорбента, м.

4. Определяют время процесса адсорбции **τ**, с:

$$\tau = \left( \sqrt{\frac{C \cdot H}{v_0 \cdot C_0}} - b \cdot \sqrt{\frac{C}{K \cdot C_0}} \right)^2,$$

где **C=α·ρн** - концентрация адсорбируемого вещества в адсорбенте,

равновесная с концентрацией потока, кг/м<sup>3</sup>; **H** - высота слоя адсорбента, принимаем **H=1м**;

**v<sub>0</sub>** - скорость газового потока, поступающего в адсорбер, принимаем **v<sub>0</sub>=0,5 м/с**.

Коэффициент **b** определяется в зависимости от концентрации примеси на входе адсорбера **C<sub>0</sub>**, и требуемой концентрации примеси на выходе адсорбера **C<sub>1</sub>** (табл. 1), принимаем **C<sub>1</sub>=0,1 мг/м<sup>3</sup>**.

# Методика расчета

Таблица 1. Значения коэффициента **b**

$C_1/C_0$	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,012	0,014	0,030
<b>b</b>	1,84	1,80	1,76	1,73	1,70	1,67	1,62	1,58	1,35

5. Определяют минимально необходимую массу сорбента **m**, кг:

$$m = \frac{Q \cdot C_0 \cdot \tau}{\alpha \cdot K_3}$$

где  $\alpha$  - статическая поглотительная способность сорбента в рабочих условиях, кг/кг.  $K_3=1,2$  - коэффициент запаса.

6. Коэффициент формы зерен, учитывающий неравную доступность всей поверхности зерна обдуваемому потоку:

$$K_\phi = \frac{1,5 \cdot d_3 \cdot l_3}{(l_3 + 0,5 \cdot d_3) \cdot (1,5 d_3^2 \cdot l_3)^{1,3}}$$

где  $d_3$  - диаметр зерен, мм

# Методика расчета

7. Пористость слоя сорбента:

$$\Pi = \frac{\rho_{\text{к}} - \rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{к}}},$$

где  $\rho_{\text{к}}$  и  $\rho_{\text{н}}$  - кажущаяся и насыпная плотность сорбента, кг/м<sup>3</sup>.

8. Эквивалентный диаметр зерен  $d_{\text{Э}}$ ,  
м.

$$d_{\text{Э}} = \frac{\Pi \cdot d_3 \cdot l_3}{(1 - \Pi) \cdot (0,5 \cdot d_3 + l_3)^{1,3}} = \frac{\Pi \cdot d_3}{1,5 \cdot (1 - \Pi)},$$

где  $d_3$  – диаметр зерен, м;  $\Pi$  – пористость слоя сорбента.

# Методика расчета

9. Критерий Рейнольдса, учитывающий характер потока:

$$Re = \frac{v_0 \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{г}}}{\mu},$$

где  $v_0=0,5$  м/с;  $\rho_{\text{г}}=1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu=19,2 \cdot 10^{-6}$  Па·с.

10. Коэффициент гидравлического сопротивления:

**при  $Re < 50$**

$$R = 220/Re,$$

**при  $50 \leq Re < 7200$**

$$R = 11,6/Re^{0,25}.$$

11. Определяют скорость потока газа  $u$  (м/с) через адсорбер в зависимости

(

и газа:

$$v = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot K_{\text{ф}} \cdot \Delta P \cdot d_{\text{э}} \cdot \Pi \cdot \rho_{\text{н}} \cdot Q}{3 \cdot R \cdot \rho_{\text{г}} \cdot (1 - \Pi) \cdot m}},$$

где  $\Delta P$  – падение давления,  
Па.

# Методика расчета

12. Диаметр адсорбера  $D_A$ ,

**М:**

$$D_A = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v \cdot \Pi}}.$$

13. Длина (высота) слоя сорбента  $L$ ,

**М:**

$$L = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \rho_H \cdot D_A^2}.$$

14. Длина (высота) слоя сорбента  $L$ ,

**М:**

$$H = 1.2 \dots 1.5 D,$$

**М:**

# Исходные данные

№ вар.	Q, м <sup>3</sup> /ч	Вещ.	V <sub>мА</sub> см <sup>3</sup> /МОЛЬ	C <sub>0</sub> мг/м <sup>3</sup>	d <sub>э</sub> мм	ρ <sub>н</sub> <sup>ρ</sup> кг/м <sup>3</sup>	ρ <sub>к</sub> <sup>ρ</sup> кг/м <sup>3</sup>	α, кг/кг	ΔP, кПа
1	600	SO <sub>3</sub>	30,7	100	4	500	750	0,30	1,4
2	650	NO <sub>2</sub>	44,8	90	3	450	700	0,29	1,5
3	700	CO	23,6	80	5	400	650	0,28	1,6
8	300	SO <sub>2</sub>	25,8	70	2	350	550	0,27	1,7
5	350	NO	32,9	60	6	550	800	0,26	1,8
6	500	NH <sub>3</sub>	48,4	50	4	600	850	0,25	1,9
7	550	H <sub>2</sub> S	96,0	40	7	500	750	0,29	2,0
8	400	F <sub>2</sub>	24,6	65	5	450	700	0,27	2,1
9	450	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	71,5	85	6	400	650	0,26	2,2
10	500	Cl <sub>2</sub>	34,6	75	3	500	750	0,27	2,0
11	400	I <sub>2</sub>	27,1	55	5	450	700	0,28	1,6
12	350	CO	67,8	100	5	400	650	0,26	1,4
13	550	SO <sub>2</sub>	42,5	90	4	350	550	0,29	1,5
14	450	NO	50,1	80	3	550	800	0,27	1,6
15	600	NH <sub>3</sub>	30,7	70	5	600	850	0,30	1,7
16	650	H <sub>2</sub> S	44,8	60	2	500	750	0,29	1,8
17	700	F <sub>2</sub>	23,6	50	6	450	700	0,28	1,9
18	300	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	25,8	40	4	400	650	0,27	2,0
19	350	Cl <sub>2</sub>	32,9	65	7	500	750	0,26	2,1
21	500	I <sub>2</sub>	48,4	85	5	430	710	0,25	2,2
21	550	SO <sub>3</sub>	96,0	75	6	330	650	0,29	2,2
22	400	NO <sub>2</sub>	24,6	55	4	350	680	0,27	1,9
23	450	CH <sub>4</sub>	71,5	95	3	440	800	0,26	1,7