

## Практическое занятие №5.

# АППАРАТЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ. РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ АДСОРБЦИИ ГАЗОВ

### Вводная часть

Физико-химическими способами очистки газов являются абсорбция, адсорбция, хемосорбция, термическая и каталитическая нейтрализация.

*Абсорбция* (газов) - это процесс поглощения одной или нескольких компонентов из газовой среды объемом жидкого поглотителя (абсорбентом), приводящий к образованию раствора. *Адсорбцией* (газов) называют процесс концентрирования одной или нескольких компонентов (адсорбата) из газовой среды на поверхности раздела между газом и адсорбентом. Если поглощение вещества связано с химическим взаимодействием с поглотителем, процесс называется *хемосорбцией*. Хемосорбция выгодна при небольшой концентрации загрязнителя, является одним из распространенных способов очистки отходящих газов от оксидов азота.

Если химическое взаимодействие отсутствует, процесс называется физической сорбцией или просто сорбцией. Обратный процесс сорбции называется *десорбцией*, применяется для регенерации (восстановления) сорбента и извлечения ценных компонентов.

При проектировании абсорберов и адсорберов необходимо уделять внимание на организации контакта газового потока с поглотителем. Чем больше поверхность раздела фаз, турбулентность потоков и диффузия, тем эффективнее процесс.

Организация контакта газового потока с жидким поглотителем осуществляется пропусканием газа через насадочную колонну, распылением жидкости, барботированием и другими способами. Газ называется хорошо растворимым, если его растворимость при  $t=0^{\circ}\text{C}$  и  $P=100$  кПа составляет сотни граммов на 1 кг растворителя. Например, для улавливания аммиака, хлористого и фтористого водорода в качестве абсорбента применяется вода; для улавливания паров воды – сернистая кислота; для улавливания ароматических углеводородов – вязкие масла.

В качестве твердых сорбентов применяют микропористые вещества, имеющие большую площадь поверхности на единицу массы.

Активированный (активный) уголь получают термической обработкой (выпаривания) различных углесодержащих веществ, без доступа воздуха. Удельная площадь поверхности активных углей составляет  $10^5$ - $10^6$  м<sup>2</sup>/кг.

Селикагели и алюмогели представляют продукты термической обработки (обезвоживания) гелей кремниевых и алюминиевых (гидроксид алюминия) кислот. Они имеют широкий набор пор различных размеров, поэтому могут поглощать сразу несколько компонентов. Цеолиты – природные и синтетические алюмосиликаты, отличаются высокой однородностью пор, а потому высокой селективностью. Это позволяет применять принцип «молекулярного сита», т.е. применения набора цеолитов с различными размерами пор для поочередной сорбции различных компонентов – от мелких молекул до крупных.

Среди сорбентов особое место занимают аниониты и катиониты – природные или синтетические ионообменные смолы в виде зерен размером до 1-1,5 мм, например, зерна сульфированного полистирола.

При выборе сорбента предъявляются следующие требования:

- селективность – избирательное поглощение компонента;
- большая поглотительная способность – уменьшает затраты;
- низкая летучесть – избежание потерь с уходящим газом;
- устойчивость – отсутствие способности к разложению, окислению;
- доступность и дешевизна, легкая генерируемость.

На практике приходится идти на компромисс в каждом конкретном случае, так как сорбент не может удовлетворять всем требованиям одновременно.

Адсорбция широко применяется: для улавливания паров растворителя из воздуха при окраске автомобилей; для очистки выхлопных газов автомобилей; для улавливания паров эфира, ацетона в производстве нитроцеллюлозы и бездымного пороха; для улавливания органических смол и паров растворителя в системе вентиляции предприятий по производству стекловолокна и стеклотканей; для улавливания ядовитых веществ на выходе лабораторных

вытяжных шкафов; для улавливания радиоактивных газов (йод) при эксплуатации ядерных реакторов и многое другое.

Термическая нейтрализация вредных примесей проводится по одной из трех схем: 1) прямое сжигание в пламени при  $t=600-800^{\circ}\text{C}$ ; 2) термическое окисление при  $t=600-800^{\circ}\text{C}$ ; 3) каталитическая нейтрализация при  $t=250-450^{\circ}\text{C}$ .

Выбор схемы проводится с учетом химического состава газов, расхода, ПДВ и ограничивается характером образующихся продуктов. Термическая нейтрализация не применяется при наличии в выбросах серы, галогенов (хлор, фтор, бром, йод) и фосфор, так как при этом образуются вещества много раз токсичные, чем первоначальные вещества.

Адсорберы конструктивно подразделяют на вертикальные (рис. 5.1), горизонтальные и кольцевые, Адсорберы также бывают периодические и непрерывные.

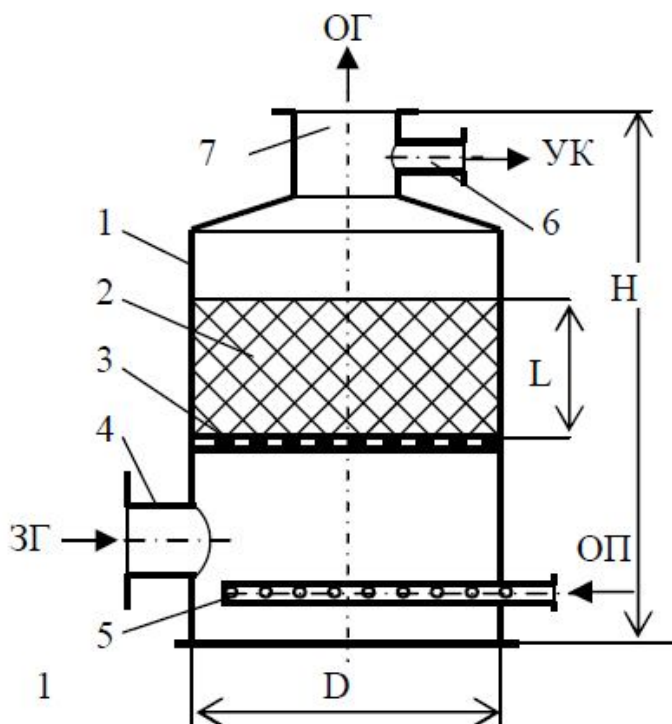


Рис. 5.1. Схема адсорбера: 1 – корпус; 2 - адсорбент; 3 – решетка; 4 - патрубок входной для ЗГ (загрязненный газ); 5 - приспособления для подачи ОП (острый пар); 6 – патрубок вывода УК (уловленный компонент) при десорбции; 7 - патрубок вывода ОГ (очищенный газ).

При расчете и проектировании адсорбера необходимо наличие следующих исходных данных:

- объемный расход очищаемого газа (выбросов)  $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ ;

- концентрация примеси на входе адсорбера  $c_0, \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

- свойства очищаемого газа (температура, плотность, вязкость);

- свойства предполагаемого типа сорбента (плотность, поглощательная способность, форма зерен и т.д.).

## 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:

$$D = \frac{0,00435T^{1,5}}{P(V_{mA} + V_{mB})} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (5.1)$$

где  $T$  – температура потока (принимается 293К);  $P$  – давление, Па (принимается 105Па);  $V_{mA}$ ,  $V_{mB}$ ,  $M_A$  и  $M_B$  – мольные объемы ( $\text{см}^3/\text{моль}$ ) и массы ( $\text{кг}/\text{кмоль}$ ) соответственно примеси (А) и воздуха (В). Для воздуха:  $V_{mB}=29,9 \text{ см}^3/\text{моль}$ ;  $M_B=29 \text{ кг}/\text{кмоль}$ .

3. Рассчитывают коэффициент массопередачи:

$$K = \frac{1,6D}{d_3^{1,46}} \left( \frac{v_0}{\nu} \right)^{0,54}, \text{ 1/с}, \quad (5.2)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $v_0$  – скорость газового потока, поступающего в адсорбер, принимаем  $v_0=0,5\text{м}/\text{с}$ ;  $\nu$  – кинематическая вязкость очищаемого газа,  $\text{м}^2/\text{с}$  (для воздуха, при  $20^\circ\text{C}$ : кинематическая вязкость  $\nu=16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , плотность  $\rho=1,2\text{кг}/\text{м}^3$ );  $d_3$  – размер зерна сорбента, м.

5. Время процесса адсорбции:

$$\tau = \left( \sqrt{\frac{cL}{v_0 c_0}} - b \sqrt{\frac{c}{K c_0}} \right)^2, \text{ с}, \quad (5.3)$$

где  $c$  – концентрация адсорбируемого вещества в адсорбенте, равновесная с концентрацией потока,  $c=\alpha\rho_n$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $L$  – высота слоя адсорбента, принимаем  $L=1\text{м}$ . Коэффициент  $b$  определяется в зависимости от концентрации примеси

на входе адсорбера  $c_0$  (кг/м<sup>3</sup>), и требуемой концентрации примеси на выходе адсорбера  $c_1$  (табл. 5.1). Принимаем  $c_1=1\text{мг/м}^3=10^{-6}\text{кг/м}^3$ .

Таблица 5.1

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
$b$	1,84	1,80	1,76	1,73	1,70	1,67	1,62	1,58	1,35

5. Минимально необходимая масса сорбента: 
$$m = \frac{Qc_0\tau}{\alpha} K_3, \text{ кг}, \quad (5.4)$$

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:

$$K_\phi = \frac{1,5d_3l_3}{(l_3 + 0,5d_3)(1,5d_3^2l_3)^{1,3}}, \quad (5.5)$$

где  $d_3$  и  $l_3$  – диаметр и длина зерен, мм. При  $d_3=l_3$  получим:

$$K_\phi = \frac{d_3}{1,69d_3^{3,9}}, \quad (5.6)$$

где  $d_3$  диаметр зерен в [мм].

7. Пористость слоя сорбента: 
$$\Pi = \frac{\rho_k - \rho_n}{\rho_k}, \quad (5.7)$$

где  $\rho_k$  и  $\rho_n$ , - кажущаяся и насыпная плотность сорбента, кг/м<sup>3</sup>

8. Эквивалентный диаметр зерен:

$$d_\varepsilon = \frac{\Pi d_3 l_3}{(1 - \Pi)(0,5d_3 + l_3)^{1,3}} = \frac{\Pi d_3}{1,5(1 - \Pi)}, \text{ м}; \quad (5.8)$$

где  $d_3$  диаметр зерен в [м];  $\Pi$  – пористость слоя сорбента.

10. Коэффициент гидравлического сопротивления:

$$R = \left\{ \begin{array}{l} \frac{220}{\text{Re}}, -\text{при} - \text{Re} < 50 \\ \frac{11,6}{\text{Re}^{0,25}}, -\text{при} - 50 \leq \text{Re} \leq 7200 \end{array} \right\} \quad (5.9)$$

10. Критерия Рейнольдса  $\text{Re}$ , учитывающий характер потока:

$$\text{Re} = \frac{v_0 d_\varepsilon \rho_\varepsilon}{\mu}, \quad (5.10)$$

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

11. Определяют скорость потока газа через адсорбер в зависимости от падения давления, параметров сорбента и газа:

$$v = \sqrt[3]{\frac{4K\phi\Delta P d_3 \Pi^3 \rho_H Q}{3R\rho_2(1-\Pi)m}}, \text{ м/с,} \quad (5.11)$$

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

12. Диаметр адсорбера:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v \Pi}}, \text{ м.} \quad (5.12)$$

13. Длина (высота) слоя сорбента:

$$L = \frac{4m}{\pi \rho_H D^2}, \text{ м.} \quad (5.13)$$

14. Высота аппарата:

$$H = (1,2 \dots 1,5)D. \quad (5.14)$$

15. Начертить конструктивную схему аппарата с размерами (рис. 5.1).

Таблица 5.2

Исходные данные (варианты)

№ 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>з</sub> , мм	ρ <sub>н</sub> , кг/м <sup>3</sup>	ρ <sub>к</sub> , кг/м <sup>3</sup>	α, кг/кг	ΔP, Па
1, 10	1000	CO	30,7	60	8	500	750	0,20	3500
2, 11	950	SO <sub>2</sub>	44,8	70	7	450	700	0,19	4000
3, 12	1200	NO	23,6	80	10	400	650	0,18	2500
4, 13	1100	NH <sub>3</sub>	25,8	90	9	350	550	0,17	4500
5, 14	900	H <sub>2</sub> S	32,9	140	8	550	800	0,16	2000
6, 15	800	Cl <sub>2</sub>	48,4	130	7	600	850	0,15	3500
7, 16	550	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	96,0	120	5	500	750	0,19	1500
8, 17	1200	Cl	24,6	110	10	450	700	0,17	3000
9, 18	450	I <sub>2</sub>	71,5	100	6	400	650	0,16	2000

### Контрольные вопросы

1. Что такое абсорбция, адсорбция, хемосорбция и десорбция?
2. Сорбенты и требования к ним.
3. Параметры процесса адсорбции.
4. Область применения сорбции.