

Практическая работа № 2

Дисперсные системы в атмосфере

Дисперсные системы, состоящие из твердых или жидких частиц, распределенных в газовой фазе, называются *аэрозолями*.

Условия существования устойчивого аэрозоля:

- маленькая скорость седиментации частиц;
- отношение сил инерции к силам вязкости мало;
- система обладает высокой удельной поверхностью;
- в системе реализуется активное броуновское движение частиц.

Время жизни частиц в атмосфере определяется скоростью ее седиментации.

$$W_g = 2r^2 \rho_p g / (9\mu)$$

– уравнение Стокса при условии, что радиус частицы больше величины среднего свободного пробега молекулы, где r и ρ – радиус и плотность частицы; g – ускорение свободного падения; μ – динамическая вязкость газа (для воздуха при 298 К $\mu = 1,81 \cdot 10^{-4}$ Па·с).

В атмосфере скорость седиментации зависит от высоты над уровнем моря.

Скорость броуновского движения увеличивается с размером частиц и обычно принимается во внимание, если $r < 0,5$ мкм.

Важным следствием броуновского движения является столкновении частиц и их последующая коагуляция. Скорость коагуляции описывается уравнением:

$$-dN/dt = 8\pi D r N^2,$$

где N – число частиц в единице объёма; t – время; D – коэффициент диффузии частиц:

$$D = kt (1 + AL/t)(6\pi\mu r),$$

где k – константа Больцмана; T – абсолютная температура; A – поправочный коэффициент Стокса –Кунихема; L – средняя длина свободного пробега молекул газа ($L = 65,3$ нм при нормальных условиях).

Коэффициент A описывается уравнением:

$$A = 1,257 + 0,400 \exp(-1,10r/L).$$

Тогда

$$-dN/dt = 4kt (1 + AL/t)N^2/(3\mu).$$

Из этого уравнения следует, что скорость выведения частиц из атмосферы в результате их коагуляции пропорциональна квадрату концентрации и обратно пропорциональна радиусу частиц.

Аэрозоли обычно подразделяются на две большие группы по происхождению и по размерам частиц - микро и макрочастицы. Микрочастицы (радиус меньше 0,5 -1,0 мкм) образуются в процессах коагуляции и конденсации, тогда как макрочастицы (радиус > 1,0 мкм) возникают в основном при дезинтеграции поверхности Земли.

Примеры решения типовых задач

Пример 1. Сколько частиц пыли присутствует в каждом кубическом метре воздуха рабочей зоны при концентрации равной ПДК (р.з.) = 6 мг/м³ диаметр частиц 0,5 мкм, все частицы сферической формы.

Решение. В каждом кубическом метре воздуха содержится 6 мг пыли, состоящей из одинаковых сферических частиц. Тогда количество частиц пыли в одном метре кубическом будет равно массе пыли в 1 м³ деленной на массу одной частицы пыли. Массу одной частицы можно найти, зная объём частицы V и плотность пыли ρ : $m(\text{ч}) = V \cdot \rho$. Для частиц сферической формы $V = \pi d^3/6$, где d – диаметр частицы;
 $m(\text{ч}) = 3,14 (0,5 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 4 \cdot 10^6 / 6 = 0,26 \cdot 10^{-12} \text{ (г)} = 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ (мг)}$.

Количество частиц пыли в 1 м³ воздуха составляет:

$n(\text{ч}) = C(\text{пыли})/m(\text{ч})$, где C – концентрация частиц пыли, мг/м³ (по условию задачи, $C = \text{ПДК(р.з.)} = 6 \text{ мг/м}^3$);

$$n(\text{ч}) = 6 / (2,6 \cdot 10^{-10}) = 2,3 \cdot 10^{10} \text{ (частиц/м}^3\text{)}.$$

Ответ: в кубическом метре воздуха рабочей зоны содержится $2,3 \cdot 10^{10}$ частиц пыли.

Пример 2. В контейнер, площадь внутренней поверхности стенок которого равна 1 м², поместили пробу загрязненного воздуха объёмом 50 л. Концентрация однородных аэрозольных частиц сферической формы в пробе воздуха составляла $2,3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$. Какую часть поверхности контейнера могли бы покрыть частицы, если их средний диаметр равен 0,5 мкм?

Решение. Площадь, занимаемая одной частицей сферической формы равна площади сечения, проходящего через центр сферы:

$$S(\text{ч}) = \pi d^2/4,$$

где d – диаметр частицы ($d = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$);

$$S(\text{ч}) = 3,14 \cdot (0,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 4 = 1,96 \cdot 10^{-13} \text{ (м}^2\text{)}.$$

Площадь, занимаемая всеми частицами:

$$S = S(\text{ч})NV,$$

где N – концентрация частиц в пробе воздуха в кубическом метре; V – объём пробы воздуха, м³;

$$S = 1,96 \cdot 10^{-13} \cdot 2,310^{10} \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}.$$

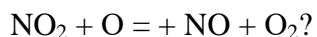
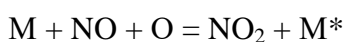
Доля площади стенок контейнера, занимаемая частицами, составит:

$$\alpha = S/S(\text{контейнера}) = 2,2 \cdot 10^{-4} / 1 = 2,2 \cdot 10^{-4}.$$

| | | | | | | | |
|----|---|---|---|-----|-----|---|----|
| 1 | 3 | 1 | 4 | 1 | 5 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 10 |
| 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 5 |
| 4 | 5 | 2 | 2 | 2 | 5 | 5 | 10 |
| 5 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 6 | 4 | 6 | 3 | 1 | 4 | 4 | 12 |
| 7 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | 1 | 10 |
| 8 | 2 | 1 | 3 | 2,5 | 3,5 | 2 | 12 |
| 9 | 6 | 3 | 2 | 1,5 | 3 | 5 | 15 |
| 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 |

Контрольные задачи

1. В каждом кубическом сантиметре воздуха присутствует $2 \cdot 10^6$ частиц сферической формы, средний диаметр, которых составляет 1 мкм. Плотность частиц равна 4 г/см^3 . Превышается ли значение ПДК для воздуха рабочей зоны, равное 6 мг/м^3 ?
2. Сравните скорость оседания аэрозолей с размерами частиц $r = 2,5 \text{ мкм}$, если их плотность составляет 2 и 5 г/см^3 . За какое время эти частицы могут быть полностью выведены из атмосферы с высоты 15 м?
3. В контейнер, площадь внутренней поверхности которого равна 4 м^2 , поместили 50 л загрязненного воздуха, в котором концентрация однородных аэрозольных частиц сферической формы составляла 10^6 см^{-3} . Какую часть поверхности покрыв бы этот аэрозоль, если бы частицы распределились в виде мономолекулярного слоя, а диаметр частиц составлял $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$? Выразите концентрацию частиц в пробе загрязненного воздуха в мг/м^3 , если их плотность равна 1 г/см^3 .
4. Какое было бы отношение концентраций NO и NO₂ в равновесной системе на высоте 11 км, если их взаимную трансформацию можно было бы ограничить следующими реакциями:



Константы скорости реакций (1) и (2) на этой высоте равны соответственно: $k_1 = 8 \cdot 10^{-32} \text{ см}^6 \cdot \text{с}^{-1}$, если M — молекулы кислорода; $k_2 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

20. Какой из фреонов а) $\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$; б) CF_3CHCl_2 более опасен для озонового слоя?