

### Тема: Решение задач «Насыщенный пар. Влажность воздуха».

При решении задач надо иметь в виду, что давление и плотность насыщенного пара не зависят от его объёма, а зависят только от температуры. Уравнение состояния идеального газа приближённо применимо и для описания насыщенного пара. Но при сжатии или нагревании насыщенного пара его масса не остаётся постоянной.

При решении некоторых задач могут понадобиться значения давления насыщенного пара при некоторых температурах. Эти данные нужно брать из таблицы.

**Задача 1.** Закрытый сосуд объёмом  $V_1 = 0,5 \text{ м}^3$  содержит воду массой  $m = 0,5 \text{ кг}$ . Сосуд нагрели до температуры  $t = 147 \text{ }^\circ\text{C}$ . На сколько следует изменить объём сосуда, чтобы в нём содержался только насыщенный пар? Давление насыщенного пара  $p_{\text{н.п}}$  при температуре  $t = 147 \text{ }^\circ\text{C}$  равно  $4,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

**Решение.** Насыщенный пар при давлении  $p_{\text{н.п}}$  занимает объём,  
$$V = \frac{mRT}{p_{\text{н.п}}M} \approx 0,2 \text{ м}^3,$$
  
равный где  $M = 0,018 \text{ кг/моль}$  — молярная масса воды. Объём сосуда  $V_1 > V$ , а значит, пар не является насыщенным. Для того чтобы пар стал насыщенным, объём сосуда следует уменьшить на

$$\Delta V = V_1 - V = V_1 - \frac{mRT}{p_{\text{н.п}}M} = 0,3 \text{ м}^3.$$

**Задача 2.** Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде при температуре  $t_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $\varphi_1 = 84 \text{ \%}$ , а при температуре  $t_2 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $\varphi_2 = 30 \text{ \%}$ . Во сколько раз давление насыщенного пара воды при температуре  $t_2$  больше, чем при температуре  $t_1$ ?

**Решение.** Давление водяного пара в сосуде при  $T_1 = 278 \text{ К}$  равно  $p_1 = \frac{\varphi_1}{100 \%} p_{\text{н.п}1}$ , где  $p_{\text{н.п}1}$  — давление насыщенного пара при температуре  $T_1$ . При температуре  $T_2 = 295 \text{ К}$  давление  $p_2 = \frac{\varphi_2}{100 \%} p_{\text{н.п}2}$ .

Так как объём постоянен, то по закону Шарля  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ .

$$\frac{p_{\text{н.п}2}}{p_{\text{н.п}1}} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \frac{T_2}{T_1} \approx 3.$$

**Задача 3.** В комнате объёмом  $40 \text{ м}^3$  температура воздуха  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , его относительная влажность  $\varphi_1 = 20 \text{ \%}$ . Сколько надо испарить воды, чтобы относительная влажность  $\varphi_2$  достигла  $50 \text{ \%}$ ? Известно, что при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  давление насыщающих паров  $p_{\text{н.п}} = 2330 \text{ Па}$ .

**Решение.** Относительная влажность  $\varphi_1 = \frac{p_{\text{п}1}}{p_{\text{н.п}}} 100 \text{ \%}$  отсюда

$$\varphi_1 = \frac{p_{\text{п}1}}{p_{\text{н.п}}} 100 \text{ \%}, \quad \varphi_2 = \frac{p_{\text{п}2}}{p_{\text{н.п}}} 100 \text{ \%}.$$

Давление пара при относительной влажности  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$

$$p_{n1} = \frac{\varphi_1 p_{n.п}}{100 \%}, \quad p_{n2} = \frac{\varphi_2 p_{n.п}}{100 \%}.$$

Плотность связана с давлением равенством  $\rho = Mp/RT$ , откуда

$$\rho_1 = \frac{Mp_{n1}}{RT}, \quad \rho_2 = \frac{Mp_{n2}}{RT}.$$

Массы воды в комнате при влажности  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$

$$m_1 = \rho_1 V = \frac{Mp_{n1}}{RT} V, \quad m_2 = \rho_2 V = \frac{Mp_{n2}}{RT} V.$$

Масса воды, которую надо испарить:

$$m = m_2 - m_1 = \frac{MV}{RT} (p_{n2} - p_{n1}) = \frac{Mp_{n.п} V}{RT 100 \%} (\varphi_2 - \varphi_1) = 0,208 \text{ кг.}$$

**Задача 4.** В комнате с закрытыми окнами при температуре 15 °С относительная влажность  $\varphi = 10 \%$ . Чему станет равна относительная влажность, если температура в комнате повысится на 10 °С? Давление насыщенного пара при 15 °С  $p_{n.п1} = 12,8$  мм рт. ст., а при 25 °С  $p_{n.п2} = 23,8$  мм рт. ст.

**Решение.** Так как пар ненасыщенный, то парциальное давление пара изменяется по закону Шарля  $p_1/T_1 = p_2/T_2$ . Из этого уравнения можно определить давление ненасыщенного пара  $p_2$  при  $T_2$ :  $p_2 = p_1 T_2/T_1$ . Относительная влажность при  $T_1$  равна:

$$\varphi_1 = \frac{p_1}{p_{n.п1}} 100 \%.$$

Относительная влажность при  $T_2 = 25$  °С равна:

$$\varphi_2 = \frac{p_2}{p_{n.п2}} 100 \% = \frac{p_1 T_2}{p_{n.п2} T_1} 100 \%.$$

Из уравнения (1) получим  $p_1 = \frac{\varphi_1 p_{n.п1}}{100 \%}$ , следовательно,  $\varphi_2 = \frac{\varphi_1 p_{n.п1} T_2}{p_{n.п2} T_1} = 5,6 \%$ .

**Задача 5.** Относительная влажность воздуха в помещении 60%, температура 18 °С. До какой температуры надо охладить металлический предмет, чтобы его поверхность запотела?

**Решение.** Относительная влажность воздуха  $\varphi = (p/p_{n.п})100\%$ .

Для конденсации пара необходимо, чтобы он стал насыщенным, т. е. температура достигла точки росы. Давление пара при 18 °С должно стать равным давлению насыщенного пара при искомой температуре:

$$p = \frac{\varphi p_{n.п}}{100 \%} = 1,24 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Давление насыщенного пара  $p_{\text{нп}} = 1,23 \cdot 10^4$  Па при температуре  $t_2 = 10$  °С (определяем по таблице). Следовательно,  $t_2 \approx 10$  °С.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Как будет меняться температура кипения воды, если сосуд с водой опускать в глубокую шахту?
2. Чему равна плотность пара в пузырьках, поднимающихся к поверхности воды, кипящей при атмосферном давлении?
3. На улице моросит холодный осенний дождь. В комнате развешано выстиранное бельё. Высохнет ли бельё быстрее, если открыть форточку?
4. При температуре  $t = 20$  °С относительная влажность в комнате  $\phi_1 = 20$  %. Определите массу воды, которую нужно испарить для увеличения влажности до  $\phi_2 = 50\%$ , если объём комнаты  $V = 40$  м<sup>3</sup>. Плотность насыщенного пара воды при температуре  $t = 20$  °С равна  $\rho_{\text{нп}} = 1,73 \cdot 10^{-2}$  кг/м<sup>3</sup>.
5. Смешали воздух объёмом 5 м<sup>3</sup> и относительной влажностью 22 % при температуре 15 °С с воздухом с относительной влажностью 46 % при температуре 28 °С. Определите относительную влажность смеси, если её объём 8 м<sup>3</sup>.
6. Температура воздуха вечером была 18 °С, относительная влажность 65 %. Ночью температура воздуха понизилась до 9 °С. Выпала ли роса? Если выпала, то сколько водяного пара конденсировалось из воздуха объёмом 1 м<sup>3</sup>? При 18 °С плотность насыщенного пара 15,4 г/м<sup>3</sup>, при 9 °С — 8,8 г/м<sup>3</sup>.
7. Найдите относительную влажность воздуха, если парциальное давление водяного пара в воздухе при 19°С было 1,1 кПа.
8. Найдите относительную влажность воздуха в комнате при температуре 18°С, если при температуре 10°С появилась роса.

**Задача 1.** Закрытый сосуд объёмом  $V_1 = 0,5 \text{ м}^3$  содержит воду массой  $m = 0,5 \text{ кг}$ . Сосуд нагрели до температуры  $t = 147 \text{ }^\circ\text{C}$ . На сколько следует изменить объём сосуда, чтобы в нём содержался только насыщенный пар? Давление насыщенного пара  $p_{\text{н.п}}$  при температуре  $t = 147 \text{ }^\circ\text{C}$  равно  $4,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

**Задача 2.** Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде при температуре  $t_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $\phi_1 = 84 \%$ , а при температуре  $t_2 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $\phi_2 = 30 \%$ . Во сколько раз давление насыщенного пара воды при температуре  $t_2$  больше, чем при температуре  $t_1$ ?

**Задача 3.** В комнате объёмом  $40 \text{ м}^3$  температура воздуха  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , его относительная влажность  $\phi_1 = 20 \%$ . Сколько надо испарить воды, чтобы относительная влажность  $\phi_2$  достигла  $50 \%$ ? Известно, что при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  давление насыщающих паров  $p_{\text{н.п}} = 2330 \text{ Па}$ .

**Задача 4.** В комнате с закрытыми окнами при температуре  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  относительная влажность  $\phi = 10 \%$ . Чему станет равна относительная влажность, если температура в комнате повысится на  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Давление насыщенного пара при  $15 \text{ }^\circ\text{C}$   $p_{\text{н.п1}} = 12,8 \text{ мм рт. ст.}$ , а при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$   $p_{\text{н.п2}} = 23,8 \text{ мм рт. ст.}$

**Задача 5.** Относительная влажность воздуха в помещении  $60\%$ , температура  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . До какой температуры надо охладить металлический предмет, чтобы его поверхность запотела?

1. Как будет меняться температура кипения воды, если сосуд с водой опускать в глубокую шахту?

2. Чему равна плотность пара в пузырьках, поднимающихся к поверхности воды, кипящей при атмосферном давлении?

3. На улице моросит холодный осенний дождь. В комнате развешано выстиранное бельё. Высохнет ли бельё быстрее, если открыть форточку?

4. При температуре  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  относительная влажность в комнате  $\phi_1 = 20 \%$ . Определите массу воды, которую нужно испарить для увеличения влажности до  $\phi_2 = 50\%$ , если объём комнаты  $V = 40 \text{ м}^3$ . Плотность насыщенного пара воды при температуре  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $\rho_{\text{н.п}} = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$ .

5. Смешали воздух объёмом  $5 \text{ м}^3$  и относительной влажностью  $22 \%$  при температуре  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  с воздухом с относительной влажностью  $46 \%$  при температуре  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите относительную влажность смеси, если её объём  $8 \text{ м}^3$ .

6. Температура воздуха вечером была  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $65 \%$ . Ночью температура воздуха понизилась до  $9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Выпала ли роса? Если выпала, то сколько водяного пара конденсировалось из воздуха объёмом  $1 \text{ м}^3$ ? При  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  плотность насыщенного пара  $15,4 \text{ г/м}^3$ , при  $9 \text{ }^\circ\text{C}$  —  $8,8 \text{ г/м}^3$ .

7. Найдите относительную влажность воздуха, если парциальное давление водяного пара в воздухе при  $19^\circ\text{C}$  было  $1,1 \text{ кПа}$ .

8. Найдите относительную влажность воздуха в комнате при температуре  $18^\circ\text{C}$ , если при температуре  $10^\circ\text{C}$  появилась роса.