

Задача 10-3. Вода из воздуха

Температуры воздуха вечером равнялась $t_0 = 25,5^\circ\text{C}$, относительная влажность $\eta = 71,0\%$.

1. Для определения температуры точки росы t_1 необходимо решить уравнение

$$P_s(t_1) = \varphi P_s(t_0) \frac{T_1}{T_0} \quad (1)$$

Сначала найдем приближенно, полагая, что $\frac{T_1}{T_0} \approx 1$

Для определения $P_s(t_0)$ для дробного значения температуры воспользуемся линейной интерполяцией

$$P_s(25,5) = \frac{P_s(25) + P_s(26)}{2} = 3266 \text{ Па}.$$

Рассчитываем парциальное давление водяных паров

$$P(t_0) = \varphi P_s(t_0) = 2319 \text{ Па}.$$

По таблице находим, что давление насыщенных паров при температуре, лежащей в диапазоне от 19° до 20° . В этом диапазоне зависимость давления насыщенных паром приблизим линейной функцией

$$P_s(t_1) = P_s(19) + (P_s(20) - P_s(19))(t_1 - 19) = 2198 + 141(t_1 - 19)$$

И запишем уравнение (1) в числах

$$2198 + 141(t_1 - 19) = 2319 \frac{t_1 + 273,15}{25,5 + 273,15} = 7,82(t_1 - 19) + 2284 \Rightarrow$$

$$(t_1 - 19) = \frac{2284 - 2198}{141 - 7,82} \approx 0,6$$

Следовательно, температура точки росы равна $t_1 = 19,6^\circ$.

2. Какой объем воздуха прошел через пирамиду, если в генераторе было получено 10 л воды. Конденсация началась при температуре $t_1 = 19,6^\circ$, а закончилась при температуре $t_2 = 15,0^\circ$ (в этом диапазоне температур пар оставался насыщенным). Плотность пара можно посчитать по формуле $\rho = \frac{P_s M}{RT}$. Следовательно, изменение плотности водяных паров равно

$$\Delta\rho = \frac{P_s(t_1)M}{RT_1} - \frac{P_s(t_2)M}{RT_2} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{8,31} \left(\frac{2283}{293} - \frac{1706}{288} \right) = 4,05 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Фактически эта величина показывает, какая масса воды выделилась из одного кубометра воздуха. Так как всего выделилось $m = 10 \text{ кг}$ воды, то через пирамиду прошел объем равный

$$V = \frac{m}{\Delta\rho} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3.$$

3. Максимальное количество сконденсируется, если вся теплота, выделяющаяся при конденсации, пойдет на нагревание камня от его начальной температуры до температуры точки росы:

$$Lm_{\text{воды}} = cm(t_1 - t_0) \Rightarrow m_{\text{воды}} = \frac{cm(t_1 - t_0)}{L} = \frac{1,8 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 19,6}{2250 \cdot 10^3} \approx 40 \text{ г}$$

В сосуд объемом $V = 10,0 \text{ л}$ вливают 1,00 л воды при температуре $t = 40,0^\circ\text{C}$ и сосуд закрывают. Считайте, что в сосуде находился сухой воздух (без водяных паров).

Теплоемкостью воздуха и сосуда, а также теплообменом с окружающей средой следует пренебречь.

4. Проведем оценочный расчет. Будем считать, что насыщенный пар будет иметь температуру 40°C , его давление при этой температуре $P_s = 6997 \text{ Па}$. Масса водяных паров (равная массе испарившейся воды)

$$m = \frac{P_s V M}{RT} = \frac{6997 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 313} \approx 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ кг}.$$

На испарение этого количества воды пошло $Q = Lm = 980 \text{ Дж}$ теплоты. Эта теплоты выделилась при остывании воды, поэтому ее температура понизилась на $\Delta t = \frac{Q}{cm} \approx 0,2^{\circ}\text{C}$.

При расчете мы предположили, что температура насыщенного пара равна 40°C , полученной отличие не значительно, поэтому наш расчет можно признать удовлетворительным. Итого, температура воды понизилась на $0,2^{\circ}$ и стала равной $38,8^{\circ}\text{C}$