

### Задача 11-3. Вода из воздуха

1. Так как давление насыщенного пара зависит от температуры, то при изобарном охлаждении температура водяного пара может достичь точки, когда пар при постоянном начальном давлении  $\varphi p_{н1}$  уже станет насыщенным. Проводя горизонтальную прямую изобары  $p = \varphi p_{н1} = 1,81$  кПа на графике бланка-вкладыша, найдем искомую температуру  $T_B = 16^\circ\text{C} = 289$  К.

Стоит отметить, что при охлаждении ниже найденной температуры давление водяного пара уже перестанет быть постоянным. В случае достаточно медленного процесса оно будет соответствовать давлению насыщенного пара при текущей температуре газа, как максимально возможному. С другой стороны процесс для всего воздуха в сосуде, давление которого гораздо больше, чем пара, процесс будет протекать по обычной схеме изобарного охлаждения.

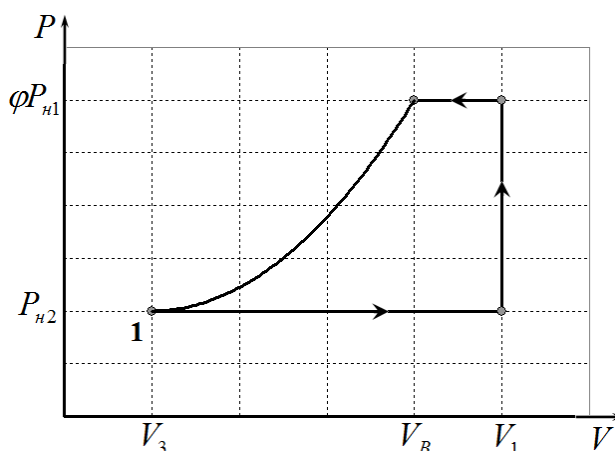
2. Так как минимальная температура холодильной установки Феди ниже  $T_B$ , то пар действительно начнет конденсироваться. Массу образовавшейся воды можно рассчитать аналогично пункту АЗ, найдя химическое количество водяного пара до ( $v_1$ ) и после ( $v_3$ ) охлаждения при помощи уравнения Менделеева-Клапейрона. Для подобного расчета необходимо найти давление насыщенного водяного пара в конце охлаждения (при температуре  $T_2 = 4,0^\circ\text{C}$ ) из графика на бланке-вкладыше:  $p_{н2} \approx 0,80$  кПа. Кроме того, необходимо получить выражение для расчета конечного объема водяного пара  $V_3$ , равного объему всего воздуха в сосуде. Для этого запишем уравнение, соответствующее изобарному охлаждению воздуха:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_3}{T_2}$ . Тогда массу образовавшейся воды можно найти следующим образом:

$$m_B = M(v_1 - v_3) = M\left(\frac{\varphi p_{н1} V_1}{RT_1} - \frac{p_{н2} V_3}{RT_2}\right) = \frac{M}{R}\left(\varphi p_{н1} \frac{V_1}{T_1} - p_{н2} \frac{V_3}{T_2}\right) = \frac{MV_1}{RT_1}(\varphi p_{н1} - p_{н2})$$

$$m_B = 3,73 \cdot 10^{-5} \text{ кг} = 37,3 \text{ мг}$$

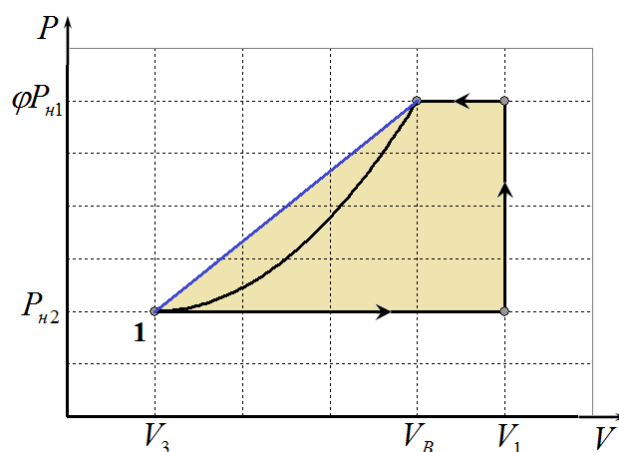
3. стакан воды можно насобирать за  $N_B = m_c/m_B = 5360$  охлаждений.

4. От начала процесса до точки конденсации водяного пара диаграмма соответствует изобарному процессу и представляет собой участок горизонтальной прямой. Далее в ходе процесса конденсации давление водяного пара будет уменьшаться. Так как в ходе изобарного охлаждения объем и давление прямо пропорциональны друг другу, то характер уменьшения давления с объемом аналогичен поведению графика давления от температуры на бланке-вкладыше. Обратный нагрев после сбора влаги будет снова проходить при постоянном давлении – ему так же соответствует участок горизонтальной прямой до первоначального объема. Наконец, при постоянном объеме и открытом отверстии химическое количество пара возвращается к первоначальному (возвращается исходная влажность воздуха) и диаграмма замыкается. Схематичное изображение процесса представлено на рисунке .



5. Для подсчета полной работы, совершаемой над содержимым сосуда, надо найти площадь, ограниченную построенной в предыдущем пункте диаграммой. Для грубой оценки заменим криволинейный участок на прямую и найдем площадь получившейся трапеции  $ABCD$ . Нам будут необходимы значения объемов в характерных точках на графике, которые можно найти, используя выражения для изобарного процесса с воздухом в сосуде:

$$V_B = V_1 \frac{T_B}{T_1} = 4,93 \text{ л}; \quad V_3 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 4,73 \text{ л}$$



Тогда полная работа, примерно равная площади трапеции  $ABCD$ , будет:

$$A_B \approx S_{ABCD} = \frac{1}{2} (AB + CD)AD = \frac{1}{2} ((V_1 - V_B) + (V_1 - V_3))(p_{n1} - p_{n2}) = 0,172 \text{ Дж}$$

В6. Для данного процесса удельная работа конденсации получается:

$$\theta_B = A_B / m_B = 4,61 \text{ кДж/кг}$$