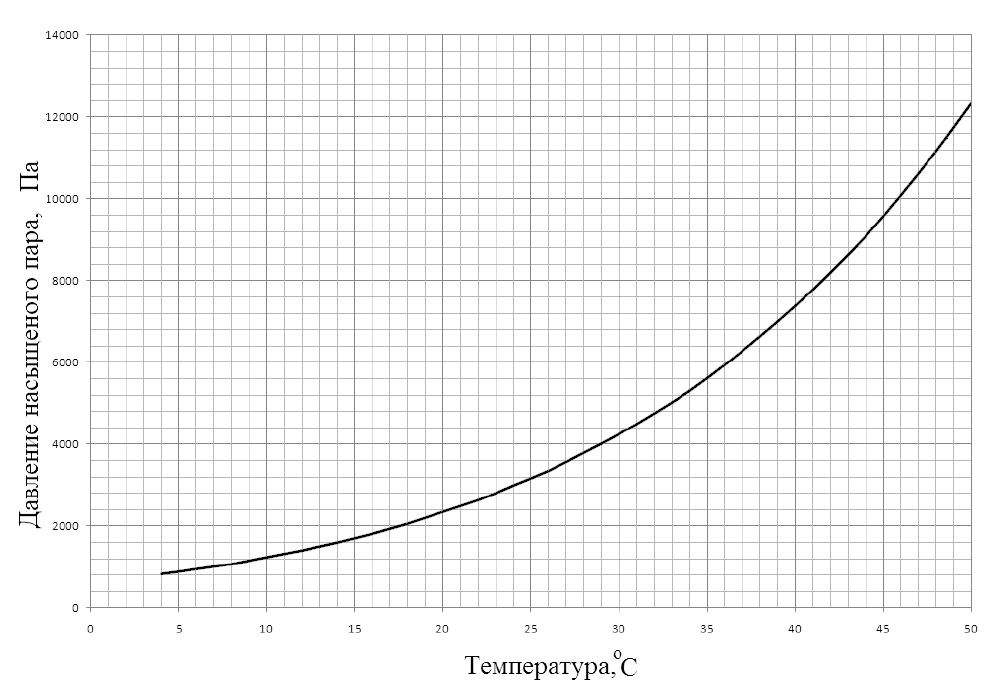
**11.2.** В процессе дыхания человека воздух, находящийся в альвеолах легких, из-за испарения воды достигает 100% влажности. Однако измерения относительной влажности выдыхаемого теплого воздуха показывают лишь 80% из-за наличия трахеи и бронхов, в которых испарение воды практически не происходит.

А) Оцените общий объем альвеол у человека (в литрах), если суммарный объем легких и дыхательных путей равен 5 литрам, а влажностью воздуха в дыхательных путях можно пренебречь.

Б) Оцените, сколько воды (в граммах) теряет здоровый человек (с температурой тела 36,6 °С) за сутки через выдыхаемый воздух, если в окружающей среде температура 20 °С и относительная влажность 50%? Принять, что в покое за 1 минуту легкие человека вентилируют 6 л воздуха, который прогревается до температуры тела. Молярная масса воды 18 г/моль.



*Решение.*

А) При выходе 100% влажного воздуха из альвеол он смешивается с практически сухим воздухом дыхательных путей, вследствие чего снижается относительная влажность.

, (1)

где *ϕ*1 = 100% – относительная влажность воздуха в альвеолах, *ϕ*2 = 80% – относительная влажность воздуха после смешивания с сухим воздухом, *VА* – объем альвеол, *Vобщ* – общий объем дыхательных путей и альвеол.

 л. (2)

Б) При температуре *T*0 = 20 °С = 293 К и относительной влажности ϕ0 = 50% окружающей среды давление паров воды во вдыхаемом воздухе будет равно

*p*0 = 0,5 \* 2400 Па = 1200 Па.

Найдем массу воды в альвеолах при поступлении туда вдыхаемого воздуха. Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона:

; (3)

. (4)

Здесь *V* – объем вентилируемого за 1 минуту воздуха, который за минуту проходит через альвеолы (80% от всего объема, т.е. *V* = 4,8 л.). Как вариант, можно рассматривать весь вентилируемый объем с относительной влажностью *ϕ*2 = 80%.

В конце вдоха температура воздуха повышается до *T*1 = 36,6 °С = 309,6 К, что при 100% влажности дает давление паров воды *p*1 = 6000 Па.

. (5)

Масса воды в альвеолах в конце вдоха:

. (6)

Таким образом, за 1 минуту испаряется масса воды:

 г. (7)

За сутки испарится 0,16 г \* 60 \*24 ≈ 230 г воды.

*Примечание*: после нагрева вдыхаемого воздуха с 20 °С до 36,6 °С его относительная влажность будет *ϕ*0 = 0,5\*2400 Па / 6000 Па = 20%. Если учесть это при решении пункта А, получим:



Решая систему уравнений, получаем  л, что близко к 4 л.

*Разбалловка*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Критерий** | **Баллы** |
| 1 | Записано уравнение (1) для влажности в альвеолах и в выдыхаемом воздухе | 1 |
| 2 | Найден объем альвеол 4 л (допустим вариант 3,75 л) | 1 |
| 3 | По графику найдено парциальное давление паров воды 1200 Па во вдыхаемом воздухе (с учетом относительной влажности 50%). | 1 |
| 4 | Записано уравнение (3) для вдыхаемого воздуха. | 1 |
| 5 | Записано выражение (4) для массы воды *m*0 для вдыхаемого воздуха в вентилируемом за 1 минуту (или другое время) объеме альвеол | 1 |
| 6 | По графику найдено парциальное давление паров воды 6000 Па для воздуха в альвеолах. | 1 |
| 7 | Записано уравнение (5) для воздуха в альвеолах. | 1 |
| 8 | Записано выражение (6) для массы воды *m*1 для воздуха в конце вдоха в вентилируемом за 1 минуту (или другое время) объеме альвеол | 1 |
| 9 | Найдена масса воды, которая испаряется в альвеолах за 1 минуту | 1 |
| 10 | Найдена масса воды, которая испаряется в альвеолах за 1 сутки | 1 |
|  | **Сумма** | **10** |

*Примечания по разбалловке*:

- могут считать вентилируемый объем сразу за 1 сутки, тогда за п. 9 и 10 ставим вместе 2 балла.

- если не учесть испарение воды только в альвеолах, то ответ получается на 20% больше – 0,20 г/мин и 288 г/сутки. За такой ответ предлагается ставить за п. 9 и 10 по 0,5 балла.