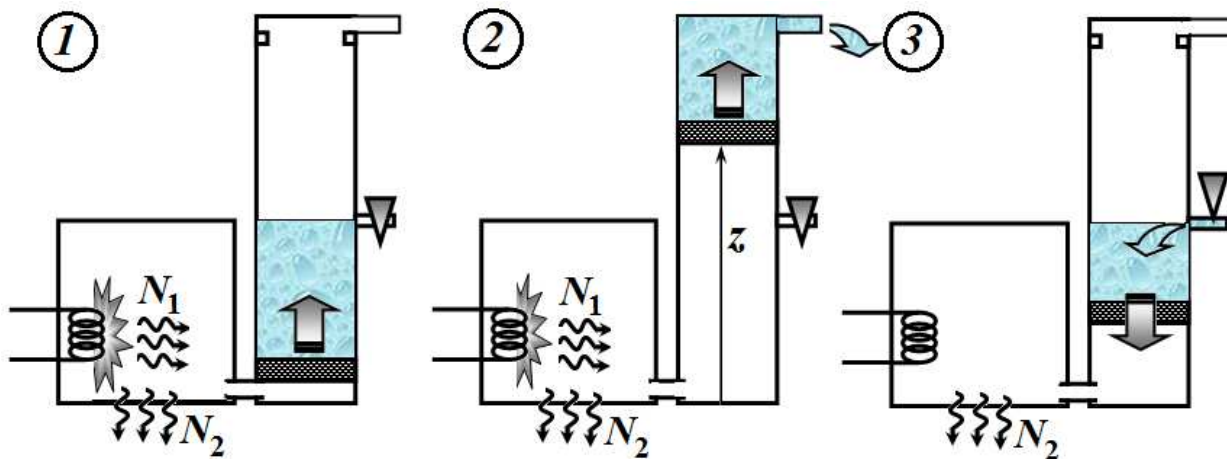
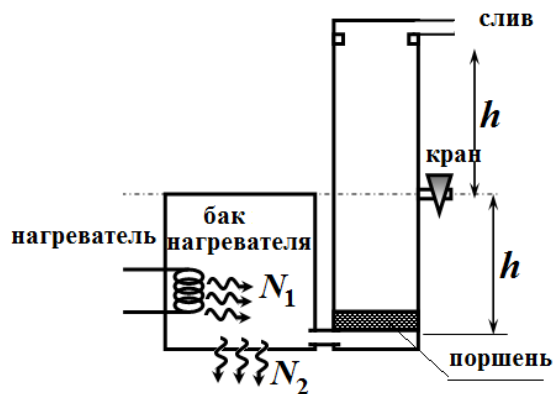


### Задача 10-3 Сначала думать, а потом делать!

Молодой, но талантливый физик Федя соорудил на даче тепловую водоподъемную машину. Ее конструкция и принцип действия просты. Цилиндрическая закрытая труба наполовину закопана в землю. Внутри трубы находится массивный плотно пригнанный поршень, который может двигаться по трубе, для ограничения его движения внутри трубы Федя расположил небольшие упоры. На уровне земли к середине трубы подведена трубка с краном, по которой в трубу может поступать вода. В верхней части трубы находится трубка для слива воды. Рабочим телом машины служит воздух. Чтобы уменьшить температуру, до которой следует нагревать воздух, к трубе подсоединен цилиндрический бак нагревателя с расположенным внутри электрическим нагревателем.



Описание работы машины начнем с начального состояния 1: поршень находится внизу, вода заполняет половину трубы (до уровня земли), кран закрыт, нагреватель включен, поршень начинает подниматься, поднимая воду.

После того, как поршень прошел половину трубы (рис. 2), вода начинает выливаться сверху. Когда поршень достигает верхней точки, вся вода выливается, после этого нагреватель отключается и поршень начинает опускаться вниз, после того как он опустится ниже уровня земли Федя открывает кран и наливающаяся вода помогает поршню опуститься до нижнего положения (рис. 3). После этого процесс повторяется.

Как ни странно, машина заработала, но не так как хотелось бы Феде. Поэтому он решил провести теоретические расчеты, описывающие работу этой машины.

Прodelайте и Вы эти расчеты. Для них могут понадобиться следующие данные:

- площадь поперечного сечения трубы (и поршня)  $S = 1,0 \text{ м}^2$  ;
- радиус бака нагревателя в три раза больше радиуса трубы, а высота в два раза меньше; расстояние от дна трубы до уровня земли  $h = 1,0 \text{ м}$ , такая же высота от уровня земли до сливной трубы;
- масса поршня  $m = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг}$ , его толщиной можно пренебречь по сравнению с высотой трубы;
- мощность нагревателя постоянна и равна  $N_1 = 5,0 \text{ кВт}$  ;

- считайте, что от рабочего воздуха в землю постоянно (не зависимо от температуры воздуха<sup>1</sup>) уходит теплота, мощность этих потерь равна  $N_2 = 1,0 \text{ кВт}$ ;
- плотность воды  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;
- атмосферное давление постоянно и равно  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,0 \text{ атм}$ ;
- ускорение свободного падения считайте равным  $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ,
- молярная теплоемкость воздуха при постоянном объеме равна  $C_v = \frac{5}{2} R$ , ( $R$  - это не радиус трубы, а газовая постоянная  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ );
- считайте, что масса воздуха в баке нагревателя и под поршнем остается постоянной, кроме того считайте, что в любой момент времени, на любой стадии процесса температура этого воздуха везде одинакова (т.е. все процессы являются равновесными);
- температура воздуха в баке нагревателя, когда поршень находится в нижнем положении (труба наполовину заполнена водой) и поршень начинает подниматься равна  $T_1 = 300 \text{ К}$ ;
- объемом воздуха под поршнем в нижнем положении и объемом соединительной трубки, трением поршня о стенки трубы, сопротивлением воздуха, вязкостью воды, зависимостью ускорения свободного падения от высоты и т.д. можно пренебречь.

## Часть 1. Термодинамика тепловой машины.

- 1.1 Чему равно количество вещества рабочего воздуха (сколько молей)?
- 1.2 Рекомендуем измерять давление в *атм* (атмосферах). Чему равно (в *атм*) гидростатическое давление воды  $p_0$  на поршень в нижнем положении? Какое давление  $p_1$  (в *атм*) оказывает поршень на воздух?
- 1.3 Постройте диаграмму циклического процесса, совершаемого воздухом, в координатах:  $P$  (давление в *атм*) -  $z$  (высота поршня над дном рабочей трубы).
- 1.4 Постройте эту же диаграмму в координатах  $T$  -  $z$ .
- 1.5 Рассчитайте коэффициент полезного действия этой машины.

## Часть 2. Кинематика тепловой машины.

- 2.1 Постройте график зависимости координаты поршня  $z$  от времени.
- 2.2 Чему равна средняя мощность этой машины?
- 2.3 Чему равно отношение средней мощности, развиваемой машиной к средней мощности, потребляемой нагревателем? Сравните это отношение с рассчитанным ранее КПД. Объясните различие между ними.

Проделав все расчеты, еще раз печально осмотрев свое творение, Федя сдал его в металлолом и на вырученные деньги по совету друзей купил насос «Ручеек» белорусского производства.

---

<sup>1</sup> Конечно, приближение не очень хорошее, но Федя, как и Вы не умеет еще решать дифференциальные уравнения!