

**В задаче требуется оценка погрешностей!**

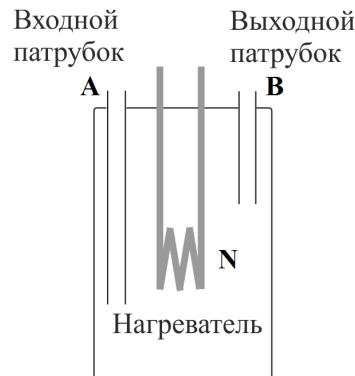


Рис. 1. Схема проточного водонагревателя.

В этой задаче вам предстоит изучить модель проточного водонагревателя (см. рисунок 1). Водонагреватель представляет собой сосуд, внутри которого расположен электрический нагреватель  $N$ . В верхней части сосуд имеет входной  $A$  и выходной  $B$  патрубки, по которым течёт вода. Если во входной патрубок заливать воду, то, заполнив пространство сосуда, она будет вытекать из выходного патрубка.

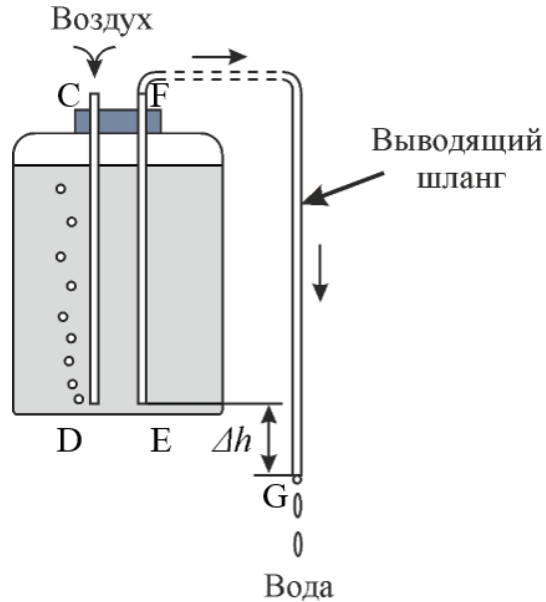


Рис. 2. Сосуд Мариотта.

Для создания потока воды постоянной величины необходимо использовать *сосуд Мариотта* (см. рисунок 2). Он представляет собой герметично закрытый сосуд с жидкостью, в крышку которого вставлены две трубки  $CD$  и  $EF$ . Трубка  $EF$  предназначена для забора воды из бутылки, к ней подключается выводящий шланг  $FG$ . Трубка  $CD$  сообщается с атмосферой.

Первоначально уровень жидкости в обеих трубках совпадает с уровнем жидкости в сосуде. Если конец  $G$  выводящего шланга  $FG$  расположить ниже конца  $E$  трубки  $EF$ , к которой он подключён, и заполнить выводящий шланг  $FG$  водой, то трубка  $CD$ , сообщаящаяся с атмосферой, целиком заполнится воздухом. По мере вытекания жидкости из сосуда через выводящий шланг  $FG$  воздух будет «пробулькивать» через трубку  $CD$  в верхнюю часть сосуда. Так как давление на концах  $E$  и  $G$  будет одинаковым и равным атмосферному, скорость движения воды будет определяться только разностью высот, на которых расположены конец  $G$  выводящего шланга  $FG$  и свободный конец  $E$  трубки  $EF$ , к которой он подключен. Это будет справедливо до тех пор, пока уровень жидкости в сосуде будет находиться выше конца  $D$  трубки  $CD$ , сообщаящейся с атмосферой.

В данной задаче роль сосуда Мариотта выполняет 4-литровая бутылка с пробкой, через которую проходят две трубки. Для запуска течения воды используется шприц. С помощью шприца надо откачать воздух из выводящего шланга, чтобы вода заполнила трубку. Если отключить шприц, вода будет вытекать из трубки самостоятельно, а ее поток будет постоянным.

**Задание.**

1. Используя имеющееся оборудование, соберите устройство, позволяющее получить постоянный поток воды через нагреватель.
2. Измерьте зависимость разности температур воды на выходе (температура  $T_2$ ) и на входе (температура  $T_1$ ) из нагревателя от потока  $W$  воды для случаев, когда в рассматриваемой системе установилось тепловое равновесие (то есть когда при неизменном потоке установлены постоянные значения температур). Поток жидкости  $W$  называется объем жидкости  $\Delta V$ , протекающий через трубку за время  $\Delta t$ :

$$W = \frac{\Delta V}{\Delta t}. \quad (1)$$

Постройте график этой зависимости в таких координатах, чтобы он оказался линейным.

3. Используя построенный график, определите мощность  $N$  нагревателя.

**Указания:**

1. При работе водонагревателя температура его корпуса может достигать значений более  $70^\circ\text{C}$ . Соблюдайте меры предосторожности!
2. Запрещается подключать водонагреватель в сеть, не заполнив его водой. Это может привести к выходу нагревателя из строя. Испорченные водонагреватели замене не подлежат.

3. Отличить входной  $A$  патрубок водонагревателя от выходного патрубка  $B$  можно по длине концов этих патрубков, опущенных внутрь водонагревателя. Входной патрубок  $A$  длиннее (см. рисунок 1).
4. Запрещается вскрывать водонагреватель.
5. Плотность воды  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , удельная теплоемкость воды  $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ .
6. Теплообменом **воды** с окружающим нагреватель воздухом можно пренебречь.

**Оборудование:**

Водонагреватель, источник питания для нагревателя, электронный термометр, мерный цилиндр (100 мл), секундомер, бутылка (4 л), пробка для бутылки с двумя продетыми и закреплёнными в ней трубками, два силиконовых шланга (длинный и короткий), воронка, шприц (150 мл), ведро с водой комнатной температуры, ведро пустое, штатив с лапкой, стул, тряпочка для поддержания рабочего места в чистоте.

**Решение.****Пункт 1.**

В данной задаче роль сосуда Мариотта выполняет 4-литровая бутылка с пробкой, через которую проходят две трубки. Установим бутылку на парту, а в штативе, поставленном на пол, закрепим нагреватель. Выходную трубку нагревателя направим в ведро, установленное на пол возле нагревателя. Для запуска течения воды будем использовать шприц, высасывая воздух из выходной трубки сосуда Мариотта. Для регулировки скорости потока жидкости будем менять высоту расположения проточного нагревателя.

**Пункт 2.**

В данной задаче мы пренебрегаем теплообменом воды с окружающим нагреватель воздух. В то же время признаётся тот факт, что тепло, вырабатываемое нагревателем, не в полной мере расходуется на нагрев воды. Общее уравнение теплового баланса для процессов в проточном водонагревателе:

$$N = c\rho W (T_2 - T_1), \quad (2)$$

где  $N$  – искомая мощность нагревательного элемента,  $c$  – удельная теплоёмкость воды,  $\rho$  – плотность воды,  $W$  – объемный расход воды,  $T_1$  – температура воды на входе,  $T_2$  – температура воды на выходе.

Заправим сосуд Мариотта водой. Запустим процесс течения воды через нагреватель. Для того, чтобы вычислить величину объемного расхода воды, будем измерять объём протекшей воды  $v$  и время ее истечения  $t$ . Для измерения объёма будем использовать мерный цилиндр, для измерения времени – секундомер. Измеряя с помощью термометра температуру вытекающей из нагревателя воды, дождёмся установления стационарной температуры. После этого зафиксируем температуры воды на выходе  $T_2$  и на входе  $T_1$ . Периодически меняя высоту установки нагревателя относительно сосуда Мариотта, измерим зависимость разности температур воды на выходе (температура  $T_2$ ) и на входе (температура  $T_1$ ) из нагревателя от потока  $W$  воды. Результаты измерений приведены в таблице 3.

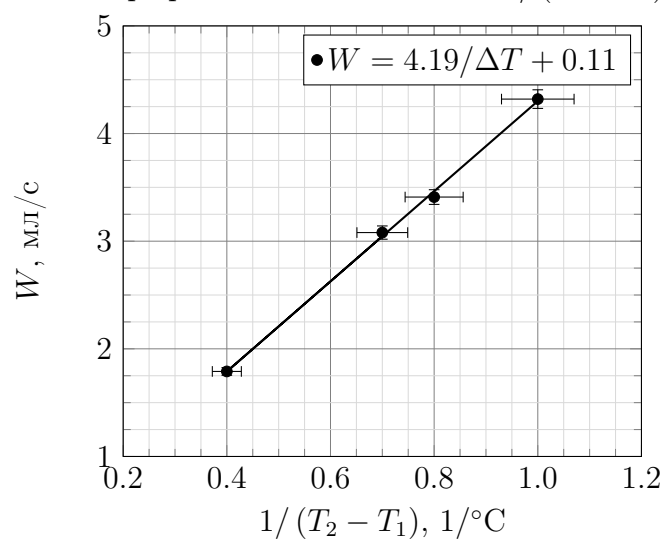
**Пункт 3.**

Выражение 2 указывает на линейность зависимости  $W$  от  $1/(T_2 - T_1)$ . Построим график зависимости  $W$  от  $1/(T_2 - T_1)$  (см. рисунок 4). Используя угловой коэффициент  $k = 4.2 \frac{\text{мл}}{\text{с}}$  °C построенного графика, а также табличные значения величин  $c$  и  $\rho$ , вычислим искомое значение мощности  $N$ :

$$N = kc\rho = 18 \text{ Вт}. \quad (3)$$

Рис. 3. Результаты измерений и вычислений.

$v$ , мл	$t$ , с	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$W$ , мл/с	$(T_2 - T_1)^{-1}$ , 1/°C
100	23.2	19.5	20.5	4.32	1
100	29.3	19.5	20.8	3.41	0.8
100	55.7	19.5	22	1.79	0.4
100	32.5	19.5	21	3.08	0.7

Рис. 4. График зависимости  $W$  от  $1/(T_2 - T_1)$ .**Методические указания.**

В роли водонагревателя выступает пластиковая бутылка. В пробке бутылки закреплены два патрубка и выводы резистора-нагревателя. Резистор имеет параметры 10 Ом 10 Вт. Нагреватель укомплектован адаптером 220 В – 14 В. Для подачи воды используется гибкая силиконовая трубка. За время эксперимента 4-литровую ёмкость экспериментатору придётся перезаправлять 2-3 раза.