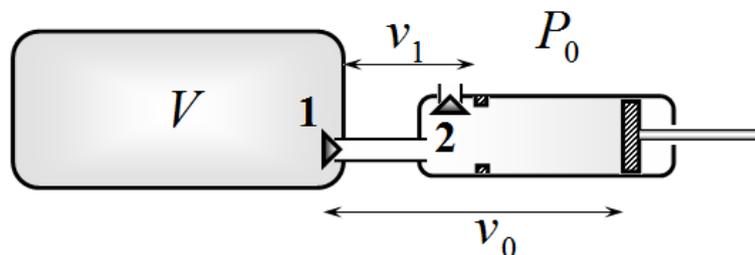


### Задача 10-3 Насос

Поршневой насос состоит из цилиндрического сосуда с подвижным поршнем, соединенным с электродвигателем (на рисунке не показан). К цилиндру подключены два клапана 1 и 2. Каждый клапан можно считать идеальным: он пропускает газ (без сопротивления) в одну сторону и полностью перекрывает поток при изменении его направления. Насос подключают к сосуду, объем которого равен  $V$ . Электродвигатель заставляет поршень периодически перемещаться от начального положения (когда объем камеры равен  $v_0$ ), до конечного положения (в котором объем камеры равен  $v_1$ ) и обратно.



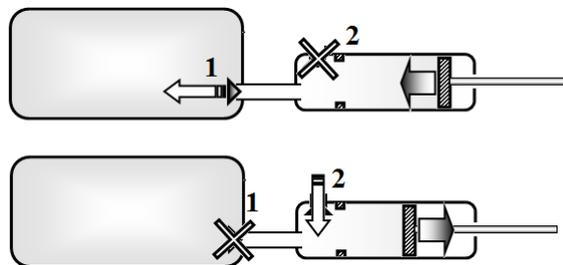
Численные значения параметров установки следующие:

- объем сосуда  $V = 20,00$  л ;
- полный объем камеры насоса  $v_0 = 1,00$  л ;
- объем камеры при вдвинутом поршне («мертвое» пространство)  $v_1 = 0,20$  л ;
- атмосферное давление  $P_0 = 1,0 \text{ атм} = 1,0 \cdot 10^5$  Па ;

Насос работает медленно, поэтому все процессы следует считать изотермическими. Трением и вязкостью воздуха можно пренебречь.

#### Часть 1. Накачка.

Для накачивания воздуха в сосуд клапаны устанавливают так, чтобы клапан 1 открывается, когда газ входит в сосуд (естественно, когда давление в камере насоса незначительно превышает давление в сосуде) и закрывается, не давая газу выходить из сосуда. Клапан два соединяет камеру насоса с атмосферой, он не дает выходить воздуху из камеры насоса и открывается, когда давление в камере насоса становится чуть ниже атмосферного давления.



Обозначим  $P_k$  - давление в сосуде после  $k$  циклов работы насоса.

1.1 После совершения  $k$  циклов работы насоса давление в сосуде поднялось до значения  $P_k$ . Постройте схематический график процессов в камере насоса на диаграмме  $(P, v)$ , где  $P, v$  - давление и объем газа в камере. Началом цикла считайте положение полностью выдвинутого поршня ( $v_0$ ) и давления в камере  $P_0$

Запишите уравнения всех процессов  $P(V)$ , укажите начальные и конечные значения параметров газа на каждом участке цикла.

Все результаты (в виде формул) занесите в таблицу 1.

**Таблица 1. Цикл накачки.**

Процесс	Начальное состояние		Уравнение процесса	Конечное состояние	
	Объем	Давление		Объем	Давление
1 → 2					
2 → 3					
...					

1.2 Перед началом работы насоса давление в сосуде равно атмосферному давлению  $P_0$ . На бланке 1 постройте графики двух первых циклов. Оцифровку оси давления проведите самостоятельно. В таблице укажите численные значения параметров в вершинах цикла.

1.3 Пусть давление в сосуде после  $k$  циклов равно  $P_k = 2,0 \text{ атм}$ . На бланке 2 постройте график одного следующего цикла. Оцифровку оси давления проведите самостоятельно, она может отличаться от оцифровки предыдущего графика. В таблице укажите численные значения параметров в вершинах цикла.

1.4 Покажите, что давление в сосуде после  $k$  циклов  $P_k$ , может быть выражено через давление после  $(k - 1)$  цикла  $P_{k-1}$  с помощью рекуррентной формулы

$$P_k = \gamma P_{k-1} + a, \quad (1)$$

Где  $\gamma, a$  - постоянные величины. Выразите значения параметров  $\gamma, a$  через характеристики установки  $v_0, v_1, V$  и атмосферное давление  $P_0$ .

1.5 Найдите, до какого максимального давления  $\bar{P}$  можно поднять давление в сосуде.

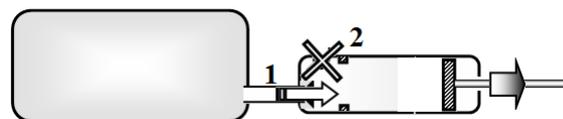
1.6 Обозначим  $\delta_k = \bar{P} - P_k$  - отклонение давления в сосуде после  $k$  циклов от максимально возможного. Выразите величину  $\delta_k$  через  $\delta_{k-1}$  и параметры  $\gamma, a$  из формулы (1).

1.7 Получите формулу, описывающую в явном виде давление в сосуде  $P_k$  в зависимости от числа совершенных циклов  $k$ . Постройте схематический график этой зависимости.

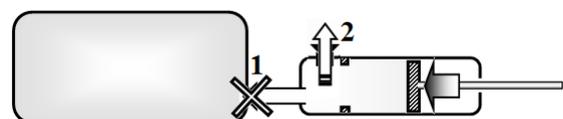
1.8 Рассчитайте, сколько циклов должен совершить насос, чтобы давление в сосуде достигло значения  $0,95 \bar{P}$ .

### Часть 2. Откачка.

Насос может, как накачивать воздух в сосуд, так и откачивать его из сосуда. Для этого только необходимо изменить направление пропускания клапанов (см. рис).



2.1 Пусть после  $k$  циклов давление в сосуде опустилось до значения  $P_k$ . Постройте схематический график цикла откачки воздуха из сосуда  $(P, v)$ , где  $P, v$  - давление и объем газа в камере. Началом цикла считайте положение полностью задвинутого поршня ( $v_1$ ) и давление в камере насоса  $P_0$ .



Запишите уравнения всех процессов  $P(V)$ , укажите начальные и конечные значения параметров газа на каждом участке цикла. Все результаты (в виде формул) занесите в Таблицу 2, аналогичную Таблице 1.

2.2 Получите формулу, описывающую давление в сосуде  $P_k$  в зависимости от числа совершенных циклов  $k$ .

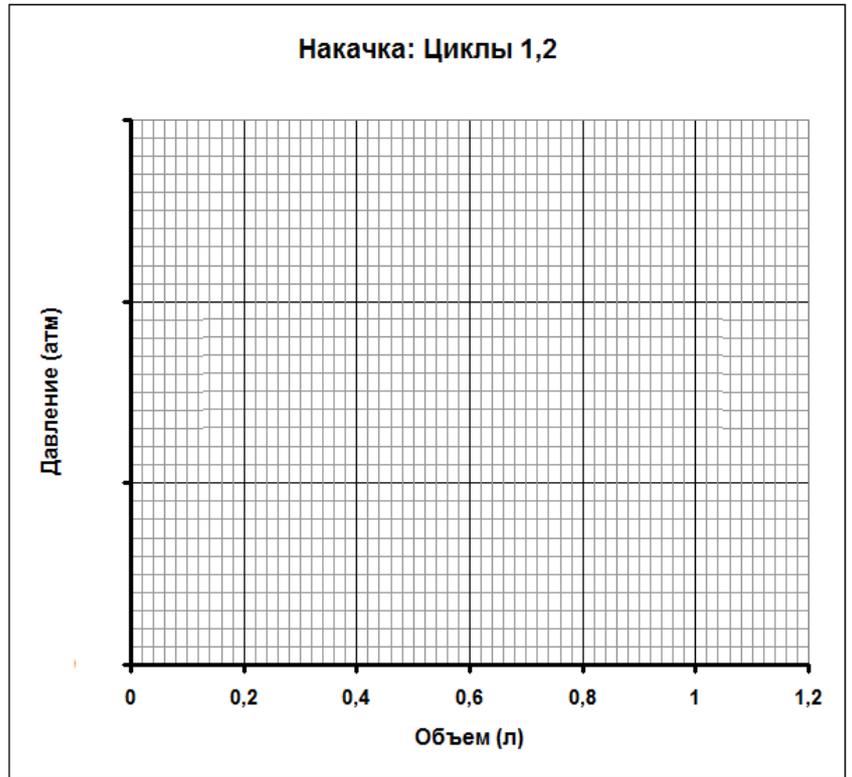
- 2.3 Рассчитайте, до какого значения понизится давление в сосуде после 50 циклов работы насоса.
- 2.4 До какого минимального значения можно понизить давление в сосуде?

# Бланк к задаче 10-3 «Насос»

## Циклы 1, 2

Таблица состояний.

Точка	Объем $v$ (л)	Давление $P$ (атм.)
Цикл 1		
Цикл 2		



## Цикл ( $k + 1$ )

Таблица состояний.

Точка	Объем $v$ (л)	Давление $P$ (атм.)

