

### Задание 11-1. «Кардиограмма» тепловой машины.



В данном задании рассматривается тепловая машина. Помимо традиционных вопросов, в нем рассматриваются временные характеристики данной машины.

Рабочим телом двигателя является одноатомный идеальный газ, который находится в цилиндрическом сосуде под поршнем. В начальном состоянии параметры этого газа известны и равны: объем -  $V_0$ , давление -  $P_0$ , температура -  $T_0$ . При решении задач используются относительные единицы – отношения объема, давления и температуры к соответствующим величинам в начальном состоянии:

$$v = \frac{V}{V_0}, \quad p = \frac{P}{P_0}, \quad \tau = \frac{T}{T_0}. \quad (1)$$

Цикл тепловой машины состоит из 5 этапов, длительность каждого из них равна  $t_0$ . Эту величину можно использовать в качестве единицы времени.

Величины  $P_0, V_0, T_0, t_0$  заданы в единицах системы СИ.

В Листах ответов приведены графики зависимостей объема и температуры газа от времени. Для упрощения вашей работы значения параметров в некоторые моменты времени приведены в Таблице 1. На каждом этапе поршень движется с постоянным ускорением (которое может изменяться при переходе от одного этапа к другому).

#### Часть 1. Динамика цикла.

1.1 Используя данные Таблицы 1, рассчитайте значения давления  $p = \frac{P}{P_0}$ , в моменты времени, указанные в этой таблице.

*Приведите формулу, по которой проводится расчет давления, численные результаты расчетов занесите в последний столбец Таблицы 1.*

Так как поршень движется в цилиндрическом сосуде, то его координата пропорциональна объему газа под поршнем.

1.2 Для каждого этапа цикла запишите закон движения поршня (зависимость объема  $v = \frac{V}{V_0}$  от времени) -  $v(t)$  и зависимости давления от времени  $p(t)$ .

*Приведите формулы, по которым вы провели расчеты. Окончательные выражения с численными коэффициентами приведите в Таблице 2 листа ответов.*

1.3 На бланке в листе ответов постройте график зависимости давления газа  $p = \frac{P}{P_0}$  от времени.

1.4 Найдите максимальную мгновенную мощность двигателя  $w_{\max}$ , укажите момент времени  $t^*$ , в который достигается эта мощность. Ответы приведите в единицах системы СИ.

**Часть 2. Термодинамика цикла.**

2.1 На бланке в листе ответов постройте диаграмму цикла в координатах  $(p, v)$ .

2.2 Для каждого этапа цикла рассчитайте: изменение внутренней энергии газа  $\Delta U$ , совершенную газом работу  $A$ , количество полученной теплоты  $Q$ . Указанные величины можно выразить в относительных единицах.

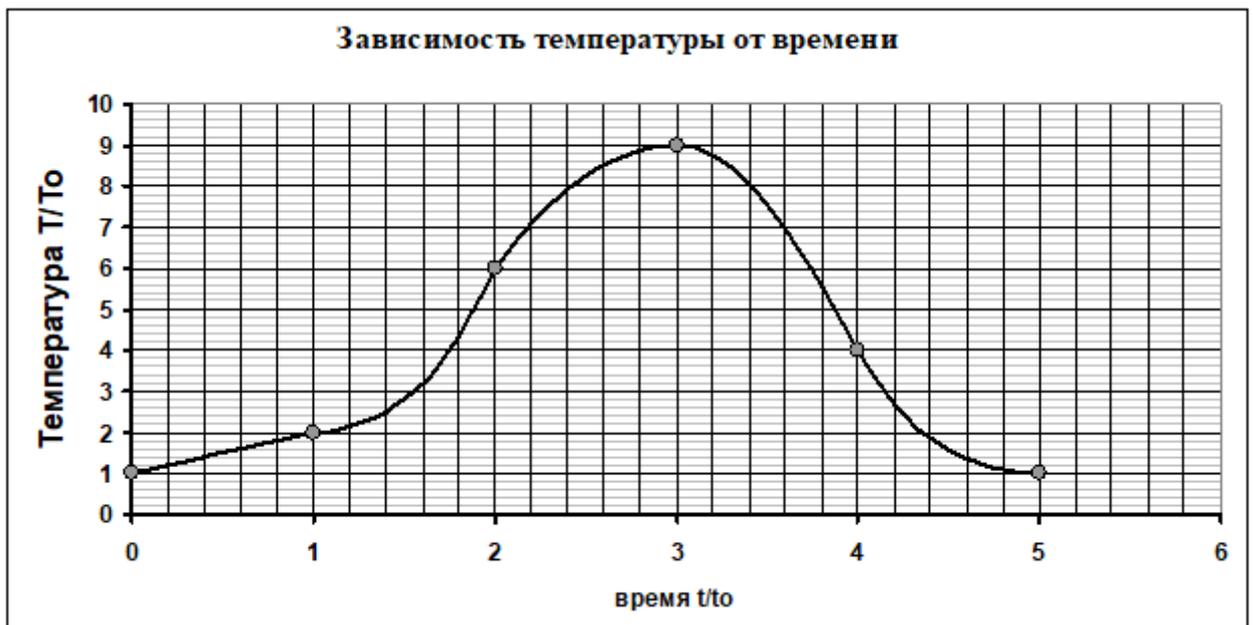
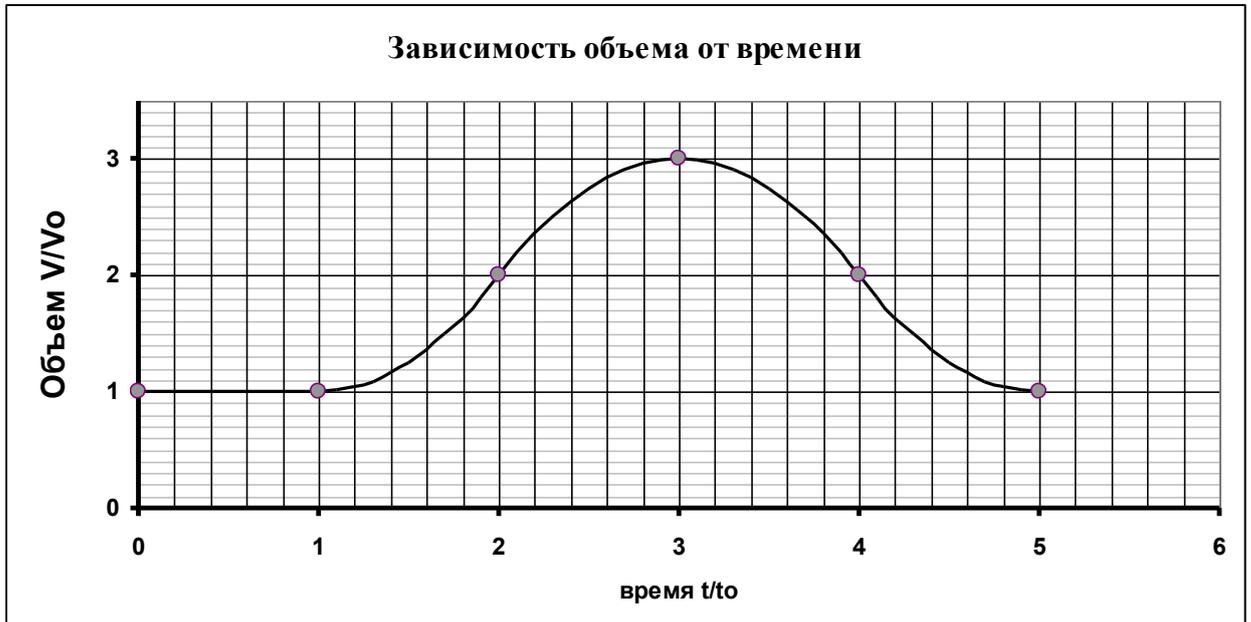
*Приведите формулы для расчетов указанных величин, результаты расчетов для каждого этапа приведите в Таблице 3.*

2.3 Рассчитайте КПД цикла.

2.4 Найдите среднюю за цикл мощность, развиваемую данной тепловой машиной. Ответ приведите в единицах системы СИ.

**Задание 11-1. «Кардиограмма» тепловой машины. Листы ответов.**

Графики зависимостей объема и температуры от времени.



**Таблица 1. Значения объема и температуры.**

$\frac{t}{t_0}$	$\frac{V}{V_0}$	$\frac{T}{T_0}$	$\frac{P}{P_0}$
0,00	1,00	1,00	
0,50	1,00	1,50	
1,00	1,00	2,00	
1,50	1,25	2,81	
2,00	2,00	6,00	
2,50	2,75	8,25	
3,00	3,00	9,00	
3,50	2,75	7,56	
4,00	2,00	4,00	
4,50	1,25	1,56	
5,00	1,00	1,00	

**Часть 1. Динамика цикла.**

1.1. Формула для расчета давления

$$p = \frac{P}{P_0} =$$

Результаты расчетов занесите в Таблицу 1.

1.2

**Таблица 2. Функции зависимостей объема и давления от времени.**

Интервал времени		$v(t)$	$p(t)$
Начало этапа $\frac{t}{t_0}$	Конец этапа $\frac{t}{t_0}$		
0	1		
1	2		
2	3		
3	4		
4	5		

1.3 График зависимости давления от времени.



1.4 Максимальная мгновенная мощность равна

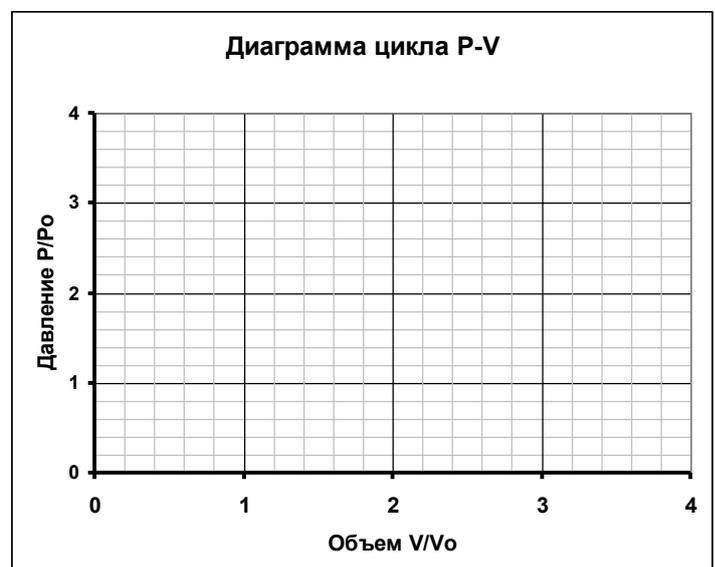
$$W_{\max} =$$

в момент времени

$$t^* =$$

**Часть 2. Термодинамика цикла.**

2.1 Диаграмма процесса в координатах  $(p, v)$ .



2.2 Термодинамические характеристики этапов цикла.

**Таблица 3. Термодинамические характеристики.**

Интервал времени		Характеристики этапов		
Начало этапа $\frac{t}{t_0}$	Конец этапа $\frac{t}{t_0}$	Изменение энергии $\Delta U$	Совершенная работа $A$	Полученная теплота $Q$
0	1			
1	2			
2	3			
3	4			
4	5			

2.3 КПД цикла

$$\eta =$$

2.4 Средняя мощность за цикл

$$\langle w \rangle =$$