

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИТРОПНОГО ПРОЦЕССА ВОЗДУХА

Цель работы: определить влияние интенсивности нагрева воздуха в политропном процессе на величину показателя политропы.

4.1. Теоретические основы лабораторной работы

Политропный процесс происходит при любой, но постоянной для данного процесса теплоемкости и вызван он подводом или отводом теплоты. Следовательно, в любом политропном процессе распределение теплоты между значениями, характеризующими изменение внутренней энергии и работу газа, остается неизменным, т.е. отношение

$$\frac{du}{\delta q} = \frac{c_v dT}{c dT} = \frac{c_v}{c} = \text{const}, \quad (4.1)$$

где c — постоянная для данного процесса теплоемкость газа, Дж/(кг·К).

Политропным называется термодинамический процесс, который удовлетворяет уравнению

$$p \cdot v^n = c_k = \text{const}, \quad (4.2)$$

где p, v — соответственно давление, Па, и удельный объем газа, м³/кг;

c_k — константа;

n — показатель политропы;

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v}, \quad (4.3)$$

где c_p, c_v — соответственно изобарная и изохорная теплоемкости.

Показатель политропы n зависит от условий протекания процесса и физических свойств газа и может принимать любое численное значение в пределах от $-\infty$ до $+\infty$, но для данного процесса он является величиной постоянной.

Из уравнения (4.2) имеем

$$p = \frac{c_k}{v^n}. \quad (4.4)$$

Продифференцировав выражение (4.4), получим:

$$\frac{dp}{dv} = - \left(\frac{C_k \cdot n}{v^{n+1}} \right). \quad (4.5)$$

Из уравнения (4.2) подставим значение C_k в выражение (4.5)

$$\frac{dp}{dv} = - \frac{p \cdot n}{v}. \quad (4.6)$$

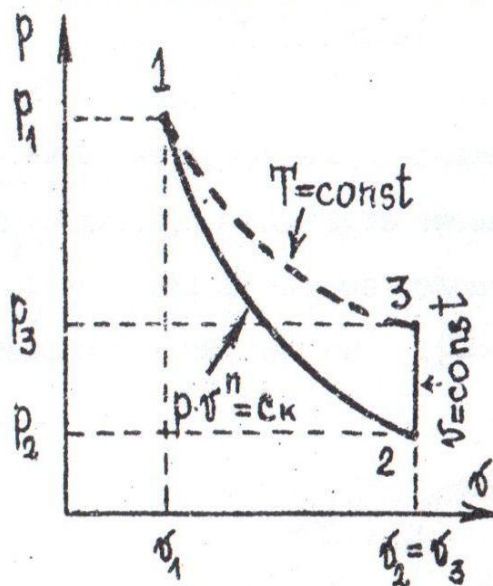
Разделив переменные и проинтегрировав в соответствующих пределах, получим:

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = n \cdot \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right); \quad \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = -n \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v};$$

$$n = \frac{\ln \frac{p_2}{p_1}}{\ln \frac{v_1}{v_2}}. \quad (4.7)$$

Термодинамический параметр давления газа p с точки зрения экспериментального определения является более удобным по сравнению с удельным объемом газа. Поэтому в формуле (4.7) целесообразнее отношение (v_1/v_2) заменить отношением давлений газа.

Для этого удобно использовать взаимосвязь параметров в изохорном и изотермическом процессах, осуществлением которых газ можно перевести из состояния т.2 в начальное состояние т.1 (рис.4.1)



Как видно из рисунка 4.1. газ из состояния т.1 переведен в состояние т.2 посредством политропного процесса $p \cdot v^n = \text{const.}$

А из состояния т.2 переведен в начальное состояние т.1 посредством осуществления последовательно изохорного процесса 2-3 и изотермического процесса 3-1.

Рис.4.1

Из соотношения параметров этих процессов можно записать

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1}{v_3}, \quad \text{т.к.} \quad v_3 = v_2,$$

но в свою очередь $\frac{v_1}{v_3} = \frac{p_3}{p_1}$, откуда $\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_3}{p_1}$.

Таким образом, с учетом последнего соотношения расчетная формула (4.7) для показателя политропы n принимает вид

$$n = \frac{\ln(p_2/p_1)}{\ln(p_3/p_1)}, \quad (4.8)$$

где p_1 - абсолютное давление в ресивере в начале процесса расширения, Па;

p_2 - абсолютное давление в ресивере в конце политропного процесса расширения, Па;

p_3 - абсолютное давление в ресивере в конце изохорного процесса нагревания, Па.

Рассмотрим предельные случаи процесса, совершаемого сжатым воздухом при истечении из ресивера в окружающую среду.

В первом предельном случае истечение газа можно осуществлять настолько медленно, что температура его практически остается постоянной. В этом случае мы имеем дело с изотермическим процессом истечения. Как известно, показатель политропы n для изотермического процесса будет равен 1.

Второй предельный случай истечения газа будет заключаться в очень быстром (практически мгновенном) частичном опорожнении ресивера за счет резкого открытия запорного вентиля. В этом случае ввиду очень незначительной продолжительности процесса расширения газа и из-за определенной величины термического сопротивления стенок ресивера теплота от внешней среды будет поступать к газу с опозданием, и поэтому процесс будет осуществляться за счет внутренней энергии газа. Таким образом, мы вправе предположить, что в этом

случае процесс истечения газа будет осуществляться без теплообмена с окружающей средой, т.е. адиабатно. Как известно, показатель политропы n в адиабатном процессе равен k . Следовательно, в наших опытах в зависимости от степени открытия вентиля расширение истекающего из ресивера воздуха может осуществляться по политропному процессу с показателем политропы в пределах $1 \leq n \leq k$.

4.2. Порядок выполнения работы

Закреть вентиль 4. Открыть зажим 5. Включить воздуходувку I и, наблюдая за показаниями манометра 3, довести давление в ресивере 2 до 450-500 мм вод.ст. (4,5 - 5,0 кПа). Перекрыть зажимом 5 доступ воздуха в ресивер 2 и выключить воздуходувку I.

Так как в результате накачивания воздуха в ресивер температура газа несколько повысилась, то необходимо некоторое время выждать, чтобы установилось тепловое равновесие с окружающей средой.

В результате этого будет наблюдаться незначительное снижение давления в ресивере, за счет охлаждения воздуха в нем до температуры окружающей среды. Теплообмен воздуха в ресивере с окружающей средой будет осуществляться через стенки ресивера, поэтому в течение всего эксперимента трогать ресивер руками воспрещается. После установления теплового равновесия, которое можно считать достигнутым при неизменной величине столба жидкости в манометре, необходимо записать показания манометра, которое будет соответствовать h_1 . Одновременно снять показания барометра, $p_{\text{ср.}}$ Па.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 4.2.

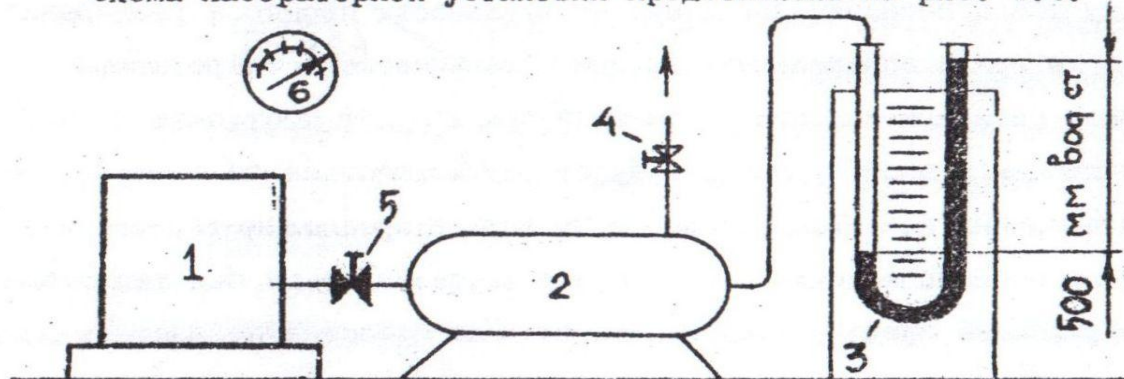


Рис. 4.2. Лабораторная установка:

1 – воздуходувка ; 2 – ресивер; 3 – U-образный манометр;
4 – вентиль; 5 – зажим; 6 – барометр.

После этого необходимо выпустить часть сжатого воздуха из ресивера в атмосферу. Причем сделать это необходимо так, чтобы избыточное давление в ресивере в конце выпуска газа снизилось до величины 70...90 мм вод.ст. (0,7...0,9 кПа). Выпуск сжатого воздуха из ресивера осуществлять медленным открытием и закрытием вентилля 4. После закрытия вентилля 4 необходимо снять показания манометра 3, которое будет соответствовать h_2 . В результате поступления теплоты к газу через стенки сосуда из окружающей среды через некоторое время наступит момент теплового равновесия воздуха в ресивере и окружающей среды. При наступлении теплового равновесия снять показания манометра, которое будет соответствовать h_3 . После этого необходимо определить снижение абсолютного давления газа в ресивере от $p_1 = p_{\text{с}} + \rho g h_1$ до $p_2 = p_{\text{с}} + \rho g h_2$, считая его политропным (линия 1-2), процесс повышения абсолютного давления в ресивере от p_2 до $p_3 = p_{\text{с}} + \rho g h_3$ – изохорным (линия 2-3). Следовательно, исходя из рис.4.1, процесс 3-1 будет изотермическим.

Опыт повторить 4-5 раз, показания экспериментов занести в табл.4.1. По результатам каждого измерения давлений, используя формулу (4.8), рассчитать значение показателя политропы и записать в табл.4.1.

Конечный результат определить по формуле

$$n = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N}, \quad (4.9)$$

где N - количество опытов;

n_i - рассчитывается согласно (4.8)

Таблица 4.1

№ п/п	Начальное давление воздуха в ресивере		Давление в ресивере в конце политропного процесса 1-2		Давление в ресивере в конце изохорного нагрева; процесс 2-3		Показатель политропы n
	избыточ.	абсолют.	избыточн.	абсолют.	избыточн.	абсолют.	
	h_1 мм. вод. ст.	МПа P_1	мм вод.ст. h_2	МПа P_2	h_3 мм вод. ст.	МПа P_3	

Контрольные вопросы

1. Что такое термодинамический процесс? Какие бывают термодинамические процессы?

2. Выполните термодинамический анализ изохорного и изобарного процессов.

3. Выполните термодинамический анализ изотермического и адиабатного процессов.

4. Сделайте анализ обобщающего значения политропного процесса.

5. Выполните термодинамический анализ политропного процесса.

6. Охарактеризуйте процессы I, II, III групп, т.е. при $0 < n < 1$; $1 < n < k$; $k < n < \infty$.

7. I-й закон ТТД.

8. Раскрыть сущность коэффициентов $\alpha = \frac{du}{\delta q}$; $b = \frac{\delta l}{\delta q}$.

9. Дать графическую интерпретацию зависимости

$$c_n = f(n).$$

10. Показать графические способы определения n .