

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ**

**Рахимов Р.Р., Болдырев А.В.,
Исрафилов И.Х., Самигуллин А.Д.**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ

Учебно-методическое пособие

г. Набережные Челны
2025

УДК 536-34(075.8)(076.5)

БКК 22.317я73-5

О-62

Печатается по рекомендации Учебно-методической комиссии

Высшей технической школы Набережночелнинского института (филиала)

Казанского (Приволжского) федерального университета

(протокол № 1.3.2.37-01/03 от 26.05.2025 г.)

Рецензенты:

к.т.н., доцент кафедры высокоэнергетических процессов и агрегатов

НЧИ КФУ Д. И. Исрафилов

к.т.н., доцент кафедры физики НЧИ КФУ **Х. К. Тазмееев**

О62 Учебно-методическое пособие «Определение показателя адиабаты» к лабораторным занятиям по дисциплине «Тепловые процессы в энергетике» для студентов по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также по дисциплине «Термодинамика и тепломассообмен» для всех технических специальностей / Р. Р. Рахимов, А. В. Болдырев, И. Х. Исрафилов, А. Д. Самигуллин – Набережные Челны: Отдел информации и связей с общественностью Набережночелнинского института КФК, 2025. – 23 с. – 1,17 МБ (PDF). – Текст: электронный.

Учебное пособие написано в соответствии с рабочей учебной программой дисциплин. Методические указания могут быть использованы для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Тепловые процессы в энергетике» для студентов по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также по дисциплине «Термодинамика и тепломассообмен» для всех технических специальностей.

© Р.Р. Рахимов, А.В. Болдырев, И.Х. Исрафилов, А.Д. Самигуллин, 2025

© Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО КФУ, 2025

Содержание

Теоретические основы работы	3
Описание экспериментальной установки	13
Порядок проведения опытов	14
Обработка результатов измерений	15
Указания по охране труда	17
Требования к отчету по работе	17
Литература	19
Приложение	20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ

Цель работы: Экспериментальное определение показателя адиабаты.

Задание:

1. Опытным путем найти показатель адиабаты и вычислить все удельные теплоемкости атмосферного воздуха.
2. $P-V$ и $T-S$ осях построить адиабату, изохору и изотерму, образуя замкнутую совокупность термодинамических процессов.

Теоретические основы работы

Первый закон термодинамики устанавливает взаимосвязь между количеством теплоты, внутренней энергией и работой (1).

$$Q = \Delta U + L, \quad (1)$$

При этом, количество теплоты Q , подводимое к телу или отводимое от тела, зависит от характера процесса. К основным термодинамическим процессам относятся: *изохорный, изотермический, изобарный и адиабатный*. Для всех этих процессов устанавливается общий метод исследования, который заключается в следующем:

- выводится уравнение процесса кривой PV и TS – диаграммах;
- устанавливается зависимость между основными параметрами рабочего тела в начале и конце процесса;
- определяется изменение внутренней энергии по формуле (2), справедливой для всех процессов идеального газа при постоянной теплоемкости:

$$\Delta u = c_v(t_2 - t_1), \quad (2)$$

и вычисляется работа:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv, \quad (3)$$

определяется изменение энталпии по формуле, справедливой для всех процессов идеального газа при постоянной теплоемкости:

$$\Delta i = c_p (t_2 - t_1), \quad (4)$$

определяется изменение энтропии:

После преобразования при $c_v = const$, для идеального газа уравнение примет вид:

$$\Delta s = c_v \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \cdot \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right), \quad (5)$$

откуда уравнение изменения энтропии для изотермического процесса:

$$\Delta S = R \ln \frac{v_2}{v_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2};$$

и уравнение изменения энтропии для изохорного процесса:

$$\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} = C_v \ln \frac{p_2}{p_1}$$

Интегрируя при $c_p = const$, для идеального газа уравнение примет вид:

$$\Delta s = c_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right), \quad (6)$$

откуда уравнение изменения энтропии для изобарного процесса примет вид:

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = C_p \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Уравнение изменения энтропии как функция p и v с исключением T и интегрированием принимает вид:

$$\Delta S = c_p \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) + c_v \cdot \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right). \quad (7)$$

Все процессы рассматриваются как обратимые.

Изопроцессы идеального газа являются частными случаями политропного процесса.

Политропным процессом называется процесс, все состояния которого удовлетворяются условию (рис.1):

$$p v^n = \text{const}, \quad (8)$$

при $n = \pm \infty = \text{const}$, (*изохорный*),

$n = 0 = \text{const}$, (*изобарный*),

$n = 1 = \text{const}$, (*изотермический*),

$n = k = \text{const}$, (*адиабатный*).

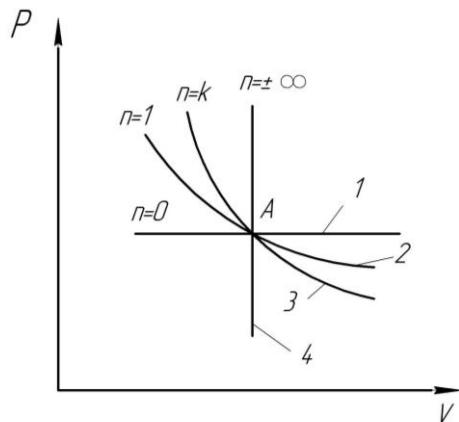


Рисунок 1 – Политропные процессы идеального газа:
1 – изобара, 2 – изотерма, 3 – адиабата, 4 – изохора

Рассмотрим более подробно адиабатный процесс. *Адиабатным* называется термодинамический процесс, в котором система не обменивается теплотой с окружающей средой, т.е. $dq = 0$. На самом деле адиабатными могут считаться не только процессы, проходящие в хорошо изолированных (от теплообмена) устройствах, но и такие как сжатие газа в металлическом цилиндре компрессора, расширение газов при выстреле из орудия и т. д. Эти процессы протекают настолько быстро, что теплообмен не успевает произойти, газ при этом получает, или теряет лишь ничтожное количество теплоты. Обратимый адиабатный процесс ($dq = 0$ и $dL_{disc} = 0$) называется изоэнтропным процессом, т.е. процессом, в котором $S = const$, dL_{disc} - диссипативные потери.

Работа адиабатного процесса определяется из уравнения первого закона термодинамики находим при $dq = 0$

$$du + dl = 0, \quad (9)$$

или

$$dl = -du$$

$$l = -\Delta u = u_1 - u_2,$$

$$l = c_v(T_1 - T_2).$$

В этом процессе вся совершаемая газом работа получается за счет уменьшения его внутренней энергии и, наоборот, вся работа, затраченная на сжатие газа, идет на увеличение внутренней энергии.

Уравнение адиабатного процесса не может быть получено из уравнения состояния, так как в адиабатном процессе меняются и объем, и температура, и давление газа.

Связь между количеством теплоты и изменением энтропии запишется в виде:

$$dS = \frac{dq}{T}, \quad (10)$$

При $dq=0$, то и $dS=0$: в адиабатном процессе энтропия системы не изменяется, т.е. адиабатный процесс является процессом изоэнтропическим (равновесные, обратимые процессы).

Взяв выражения для дифференциалов энтропии и приравняв их нулю, получим уравнения адиабатного процесса в дифференциальной форме в различных переменных.

$$dS_{ad} = c_v \frac{dp}{p} + c_p \frac{dv}{v} = 0, \quad (11)$$

Разделив уравнение на c_p , приведем это выражение к следующему виду:

$$\frac{dp}{p} + \frac{c_p}{c_v} \frac{dv}{v} = 0, \quad (12)$$

При интегрировании этого уравнения считают, что теплоемкости c_p и c_v остаются постоянными:

$$\frac{c_p}{c_v} = k, \quad (13)$$

$$\int \frac{dp}{p} + k \int \frac{dv}{v} = const;$$

$$\ln P + k \cdot \ln v = const;$$

и окончательно

$$p v^k = const, \quad (14)$$

Отношение теплоемкостей $\frac{c_p}{c_v} = k$ называется *показателем адиабаты идеального газа*.

Значение K можно выразить через отношения массовых, объемных или мольных теплоемкостей:

$$K = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_p'}{C_v'} = \frac{C_{\mu p}}{C_{\mu v}}, \quad (15)$$

В молекулярно-кинетической теории газов для определения показателя адиабаты приводится следующая формула:

$$K = 1 + \frac{2}{n}, \quad (16)$$

где

n – число степеней свободы движения молекулы газа.

Для одноатомного газа $n = 3$, $K = 1,667$, для двухатомных газов $n = 5$, $K = 1,4$ и для трёхатомных газов $n = 6$, $K = 1,33$.

Теплоемкости C_p и C_v зависят от температуры, следовательно, и показатель адиабаты “ K ” должен зависеть от температуры. Установим эту зависимость следующим образом:

Используя уравнение Майера

$$C_p - C_v = R, \quad (17)$$

Запишем выражение, (1) в виде

$$K = \frac{C_v + R}{C_v} = 1 + \frac{R}{C_v}, \quad (18)$$

Для 1 моля газа получается

$$K = 1 + \frac{8,314}{C_{\mu v}}, \quad (19)$$

Обычно зависимость показателя адиабаты от температуры выражается формулой вида:

$$K = K_0 - \alpha t, \quad (20)$$

где

K_0 – значение показателя “ K ” при 0°C ;

α - коэффициент.

Для двухатомных газов при температурах до 2000°C эмпирически получена следующая зависимость:

$$K = 1,4 - 0,00005t, \quad (21)$$

Для газов, состоящих из более сложных молекул, показатель адиабаты определяется числом степеней свободы (i) конкретной молекулы. Для реальных газов показатель адиабаты отличается от показателя адиабаты для идеальных газов, особенно для низких температур, когда большую роль начинает играть межмолекулярное взаимодействие.

Уравнение (14) является уравнением адиабаты в координатах P, V . Значение константы определяется по значению давления и объема в одной из точек процесса. В интегральной форме при условии ($K=const$) и применяя преобразования выражений первого и второго законов термодинамики, получаем следующие выражения:

$$p v^K = p_1 v_1^K = p_2 v_2^K = const, \quad (22)$$

Это уравнение дает соотношение между объемами и давлениями в адиабатном процессе:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^K; \frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{K}}, \quad (23)$$

Уравнение адиабаты в переменных T, V получается из уравнения (14), если в нем заменить давление по уравнению Клапейрона - Менделеева:

$$\frac{RT}{v} v^K = RT v^{K-1} = \text{const},$$

или разделив на R ,

$$TV^{K-1} = \text{const} = T_1 V_1^{K-1} = T_2 V_2^{K-1}, \quad (24)$$

Отсюда находим соотношение между температурами и объемами в начале и конце процесса:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{K-1}; \frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{K-1}} \quad (25)$$

Заменив в уравнении (14) объем через температуру и давление, получим уравнение адиабаты в переменных T, P :

$$p \left(\frac{RT}{p}\right)^K = R^K T^K p^{-K+1} = \text{const},$$

Или, сокращая на R^K и извлекая корень степени K , получаем формулы связи между параметрами газа в адиабатном процессе и формулы работы:

$$Tp^{-\frac{K-1}{K}} = \text{const} = T_1 p_1^{-\frac{K-1}{K}} = T_2 p_2^{-\frac{K-1}{K}}, \quad (26)$$

Соотношение температур и давлений в процессе будет:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{K-1}{K}}; \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{K-1}{K}} \quad (27)$$

Следовательно, показатель адиабатного процесса может быть выражен также и равенствами

$$K = -\frac{dP}{p} / \frac{dV}{V}; \quad K = -\frac{V}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_s \quad (28)$$

В идеальном изотермическом процессе ($T = const$),

$$pV = RT = const \quad \text{и} \quad \frac{dP}{p} + \frac{dV}{V} = 0 \quad \text{или} \quad -\frac{V}{p} = \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T \quad (29)$$

Поэтому, если через определенную точку с параметрами (P, V, T, S) в PV и TS - осях (рис.2) процессы $T = const$ и $S_1 = const$, то в состоянии I отношении V_1 / P_1 или V / P , входящее в уравнение (28) и (29), будет одно и то же.

Тогда величина:

$$K = -\frac{V}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_s = \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_s = \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_s / \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T \quad (30)$$

Для определения истинного показателя адиабаты необходимы аналитически или экспериментально установленные значения калорических C_p , C_v или же термических параметров (p , V , T), а также их частных дифференциалов и производных.

Но если в уравнение (15) подставить малые конечные приращения, то при $(\Delta V)_s = const = (\Delta V)_T const$ средний показатель адиабаты

$$K_m = \frac{(\Delta V)_T}{(\Delta p)_T} \cdot \frac{(\Delta p)_s}{(\Delta V)_s} = \frac{(\Delta p)_s}{(\Delta p)_T} = \frac{(P_2 - P_1)_s}{(P_3 - P_1)_T} = \frac{(P_1 - P_2)_s}{(P_1 - P_3)_T}$$

а при $P = P_6$, т.е. равном барометрическому давлению.

$$K_m = \frac{P_1 - P_6}{P - P_3 \pm P_6} = \frac{P_1 - P_6}{(P_1 - P_6) - (P_3 - P_6)} = \frac{P_{u1}}{P_{u1} - P_{u3}} \quad (31)$$

При уменьшении избыточного давления P_{ul} средний показатель адиабаты K_m будет приближаться к истинному K , присущему атмосферному воздуху.

Определив средний показатель адиабаты и используя равенство:

$$K_m = \frac{C_{pm}}{C_{vm}} = \frac{C_{vm} + R}{C_{vm}} = 1 + \frac{R}{C_{vm}} \quad (32)$$

можно вычислить, C_{vm} и C_{pm} , а затем при известных μ и μv_u найти μC_{vm} , μC_{pm} , C_{vm} и C_{pm} , т.е. определить средние изохорные и изобарные весовые, мольные и объемные теплоемкости воздуха.

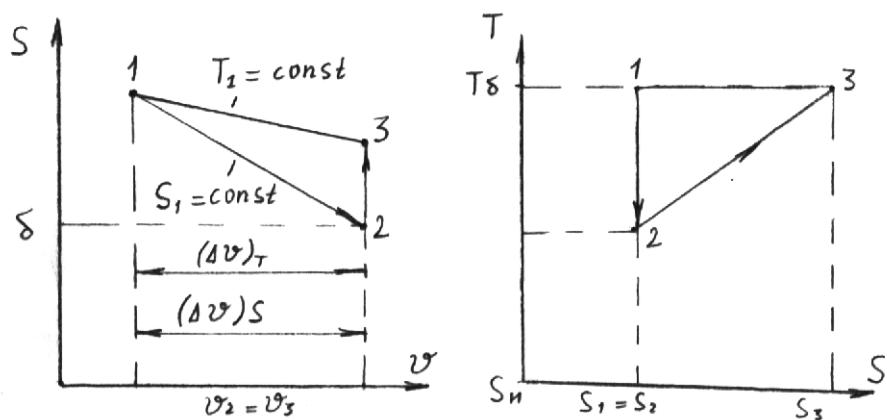


Рисунок 2 – PV и TS – диаграммы

Описание экспериментальной установки

Лабораторная-установка (рис.3) имеет U - образный водяной манометр 1, манометр с трубчатой пружиной 2, зажим 3, компрессор 4, металлический бак 5.

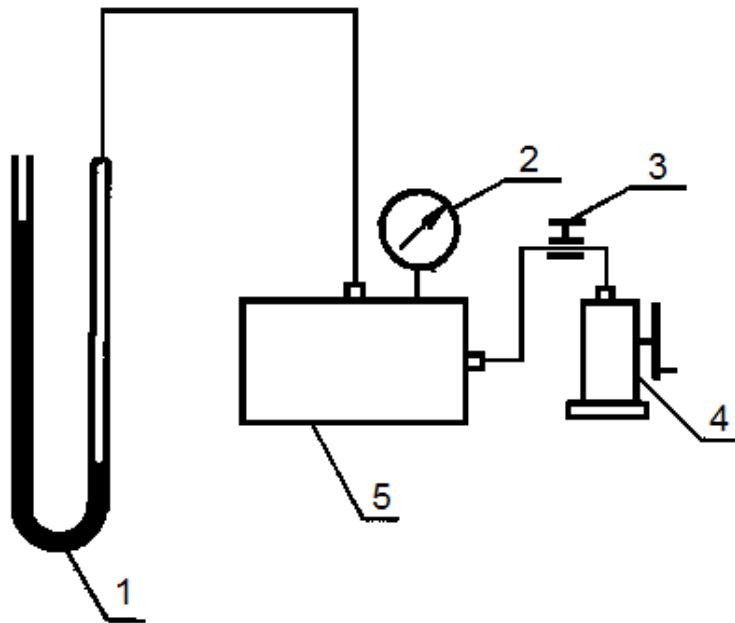


Рисунок 3 – Лабораторная установка

Бак термически не изолирован, поэтому воздух, который находится в этом баке, вследствие теплообмена с окружающей средой принимает ее температуру. Большое проходное сечение крана позволяет очень быстро выпускать часть воздуха из бака. При этом процесс расширения воздуха, остающегося внутри бака, происходит настолько быстро, что его можно считать адиабатным.

Порядок проведения опытов

1. Определить давление P_0 и температуру t воздуха в лаборатории:

$$P_0 = \dots \text{мм. рт. см}; P_0 = \dots \text{кгс/см}^2 \dots \text{Н/м}^2; t = \dots {}^\circ\text{C}, T = \dots \text{K}$$

2. Закрыть кран, при этом начальное давление должно быть как можно меньшим. Вращая маховик компрессора, создать небольшое избыточное давление в системе.

3. Так как бак не изолирован от окружающей среды, газ в баке, может нагреваться или охлаждаться от комнатной температуры. После установления термического равновесия между воздухом в баке и окружающей средой, что будет видно по стационарному показанию манометра, записать значения в столбец **h_1** .

4. Открыть и немедленно закрыть кран, т.е. выпустив часть газа из бака, снизить давление в нем до атмосферного. В результате адиабатного расширения воздуха, находящегося внутри бака, произойдет охлаждение воздуха, который приведет к охлаждению стенок бака. После закрытия крана начнется изохорной процесс нагрева воздуха, оставшегося в баке, за счет подвода тепла от окружающей среды. В баке вновь возникает избыточное давление, которое растет до P_{u3} . Так же, как и в пункте 2 после установления термического равновесия записываем значения в столбец **h_3** .

5. Опыт повторяется n -раз. Полученные результаты внести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты опытов

h_1	p_{u1}	h_3	p_{u3}	$K_{mi} = \frac{p_{u1}}{P_{u1} - P_{u3}}$
$(l_1 + l_2) \text{мм}$	Н/м^2	$(l_1 + l_2)$ мм	Н/м^2	

где l_1, l_2 – показания жидкостного манометра,

6. После проведения n опытов находим избыточные давления и приступаем к обработке результатов измерений. Далее для данных опытов необходимо построить PV и TS – диаграммы адиабатного процесса (см. рис. 4).

Обработка результатов измерений

1. Определить вероятное значение показателя адиабаты воздуха.

$$K_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{mi} = \frac{K_{m1} + K_{m2} + \dots + K_{mi} + \dots + K_{mn}}{n} \quad (33)$$

2. Вычислить изохорные и изобарные весовые (C_v, C_p) мольные ($\mu C_v, \mu C_p$) и объемные (C'_v, C'_p) теплоемкости воздуха, используя выражение (13) и вытекающие из него равенства:

$$C_v = \frac{R}{\mu(K_e - 1)} = \frac{8,314}{28,95(K_e - 1)}, \quad [КДж/кг \cdot К] \quad (34)$$

$$C_p = K_e C_v, \quad [КДж/кг \cdot К] \quad (35)$$

$$\mu C_v = C_v \mu, \quad [КДж/К \cdot моль \cdot к] \quad (36)$$

$$\mu C_p = C_p \mu, \quad [КДж/К \cdot моль \cdot к] \quad (37)$$

$$C'_v = \frac{\mu C_v}{\mu V_H} = \frac{\mu C_v}{22,4}, \quad [КДж/м^3 \cdot к] \quad (38)$$

$$C'_p = \frac{\mu C_p}{\mu V_H} = \frac{\mu C_p}{22,4}, \quad [КДж/м^3 \cdot к] \quad (39)$$

3. Все полученные результаты сравнить с табличными значениями (Прил., табл. 1П) и найти допущенную абсолютную ошибку $\Delta K = K - K_B$ и относительную. $\delta K = \Delta K / K$, где $K = C_p / C_v$ - коэффициента Пуассона (показателя адиабаты).

4. Для каждого опыта вычислить значения P, V, T, S воздуха в точках 1, 2, 3 (рис. 4). При этом использовать уравнения $pV = RT$, Менделеева-Клапейрона и Майера $C_p = C_v + R$ и равенства:

$$RTdS = C_p PdV + C_v Vdp \quad TdS = C_v dT + PdV,$$

$$TdS = C_p dT - Vdp; \quad C_v = \text{const}, \quad C_p = \text{const}, \text{ а при нормальных условиях } S_H = 0.$$

Тогда используя уравнения изменения энтропии вычислим S_x для конкретных точек:

Уравнение изменения энтропии как функция p и v с исключением T и интегрированием принимает вид:

$$\begin{aligned} \Delta S = S_x - S_H &= \int_H^x C_p \frac{P}{RT} dV + \int_H^x C_v \frac{V}{RT} dp = \\ &= C_p \int_H^x \frac{dv}{V} + C_v \int_H^x \frac{dp}{p} = C_p \ln \frac{v_x}{v_H} + C_v \ln \frac{P_x}{P_H} = S_x \end{aligned} \quad (40)$$

уравнение изменения энтропии при $C_v = \text{const}$:

$$\begin{aligned} \Delta S = S_x - S_H &= \int_H^x C_v \frac{V_T}{T} dV + \int_H^x \frac{p}{T} dv = \\ &= C_v \int_H^x \frac{dV}{v} + R \int_H^x \frac{dv}{v} = C_v \ln \frac{T_x}{T_H} + R \ln \frac{V_x}{V_H} = S_x \end{aligned} \quad (41)$$

уравнение изменения энтропии при постоянной теплоемкости при $C_p = \text{const}$:

$$\begin{aligned} \Delta S = S_x - S_H &= \int_H^x C_p \frac{dT}{T} dv - \int_H^x C_v \frac{V}{T} dp = C_p \int_H^x \frac{dT}{T} - R \int_H^x \frac{dp}{p} = \\ &= C_p \ln \frac{T_x}{T_H} - R \ln \frac{P_x}{P_H} = S_x \end{aligned} \quad (42)$$

где

$P_H = 760 \text{ мм.рт.ст}$, $T_H = 273 \text{ К}$.

Для сравнения полученных данных нужно воспользоваться таблицей 3П:
Стандартные молярные энтропии $S^\circ(298 \text{ К})$ (Дж/(К моль))

По конечным результатам построить в масштабе PV и TS – диаграммы процессов 1-2, 2-3, 3-1.

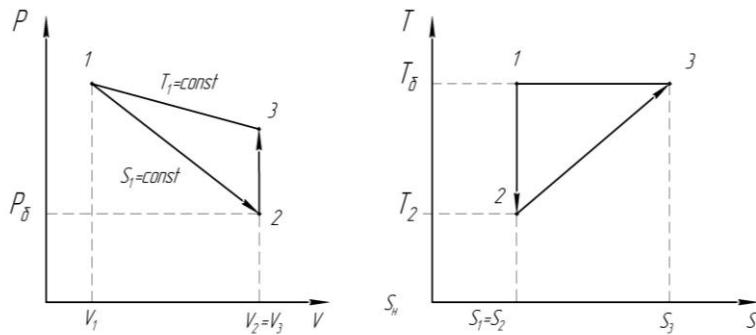


Рисунок 4 – PV и TS – диаграммы адиабатного процесса

Указания по охране труда

Запрещается стоять рядом со студентом, вращающим ручку поршневого компрессора.

Требования к отчету по работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать материалы:

1. Наименование и цель работы.
2. Схема установки и ее описание.
3. Методика проведения экспериментов и обработка результатов экспериментов.
4. Таблицы результатов измерений и расчетов.
5. Процессы, изображенные в P-V, T-S координатах.
6. Выводы о работе, содержащие сведения о величинах показателя адиабаты, полученные в результате эксперимента, и их сравнение с табличными значениями.

Контрольные вопросы

1. Что изучает термодинамика?
2. Что такое термодинамический процесс?
3. Виды термодинамических процессов?
4. Определение адиабатного процесса?
5. Виды адиабатного процесса? Примеры адиабатных процессов?
6. Ввести понятия показателя адиабаты.
7. Понятие энтропии. Объяснить взаимосвязь изменения энтропии газа с адиабатным процессом?
8. Понятие внутренняя энергия. За счет чего может измениться внутренняя энергия газа при адиабатном процессе?
9. Записать уравнение адиабатного термодинамического процесса в интегральной форме.
10. Записать уравнения Менделеева-Клапейрона и Майера.
11. Записать 1-й и 2-й законы термодинамики.

Литература

1. Болгарский А.В. Термодинамика и теплопередача: учебник для вузов / А.В. Болгарский, Г.А. Мухачев, В.К. Щукин – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Москва: «Высшая школа», 1975. – 495 с.
2. Замалеев, З. Х. Основы гидравлики и теплотехники : Учебное пособие для вузов / З.Х. Замалеев, В.Н. Посохин, В.М. Чефанов. – 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 352 с. – ISBN 978-5-507-44674-2. - Текст: электронный // Лань: ЭБС. – URL: <https://e.lanbook.com/book/238526> (дата обращения: 17.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Москва: «ВШ», 1975. – 496 с.
4. Новиков, И. И. Термодинамика: учебное пособие / И. И. Новиков. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 592 с. – ISBN 978-5-8114-0987-7. - Текст : электронный // Лань: ЭБС. – URL: <https://e.lanbook.com/book/210323> (дата обращения: 17.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Теплотехника: учебник / [авт. кол.: И. Е. Иванов и др.] ; под ред. М. Г. Шатрова. - Москва: Академия, 2011. – 288 с. : ил. – (ВПО). - Библиогр.: с. 283. – Прил.: с. 269-282. – Доп. УМО. – В пер. – ISBN 978-5-7695-6860-2.
6. Цирельман, Н. М. Техническая термодинамика : учебное пособие для вузов / Н. М. Цирельман. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 352 с. - ISBN 978-5-507-50559-3. - Текст: электронный // Лань: ЭБС. – URL: <https://e.lanbook.com/book/447362> (дата обращения: 17.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

Таблица 1П – Значения показателя адиабаты некоторых газов, полученные экспериментально при температуре 15°C

Газ	Показатель адиабаты
Сухой воздух	1,400
Гелий	1,660
Аргон	1,667
Окись углерода	1,401
Кислород	1,398
Водород	1,408
Азот	1,41
Водяной пар	1,33
Углекислый газ	1,305
Аммиак	1,313
Метан	1,315

Таблица 2П – Удельная теплоемкость часто используемых газов при постоянном давлении 1 бар абс, при 20 °C:

Вещество	Плотность при нормальных условиях кг/м ³ , или масса 1л в граммах	Удельная теплоемкость при постоянном давлении, кДж/(кг*К)
Азот	1,25	1,05
Аргон	1,78	0,52
Водяной пар	0,59 (при 100 °C)	2,14 (при 100 °C)
Воздух	1,29	1,005
Кислород	1,43	0,91
Пропан	1,98	1,86
Углекислый газ	1,98	≈1

Таблица 3П – Стандартные молярные энтропии $S^\circ(298 \text{ K})$ для часто используемых газов

Газы	$S, \text{Дж}/(\text{К моль})$
H_2	131,0
O_2	205,0
CO_2	213,6
Cl_2	233,0
NO_2	239,9

Электронное учебное издание

Радик Рафисович Рахимов

Алексей Владимирович Болдырев

Ирек Хуснемарданович Исрафилов

Алмаз Динаисович Самигуллин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ

Редактор

Г.Ф. Таипова

Компьютерная верстка

Д.О. Мещеряков

Подписано к использованию: 25.06.2025. Объем 1,17 МБ

Уч.-изд. л. 0,42. Заказ № 1881

Отдел информации и связей с общественностью

Набережночелнинского института

Казанского (Приволжского) федерального университета

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19
тел./факс (8552) 38-47-68, e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru