

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ДОНЕЦКИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ  
УКАЗАНИЯ**  
по выполнению лабораторных работ  
по курсу  
«ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА»

2006

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
Донецкий национальный технический университет

Кафедра промышленной теплоэнергетики

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
по выполнению лабораторных работ**

по курсу

«ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА»

для студентов специальности

7.09.0510 “Теплоэнергетика”

Рассмотрено  
на заседании кафедры  
«Промышленная теплоэнергетика»  
протокол № \_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_ г.

Утверждено  
на заседании учебно-издательского совета ДонНТУ  
протокол № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_ г.

2006

УДК 620.9

Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу "Техническая термодинамика" для студентов специальности 7.09.0510 "Теплоэнергетика" А.Н. Лебедев, Н.В. Колесниченко - Донецк: ДонНТУ, 2006. - 32 стр.

Ил. 7, Табл. 8, Библиограф. 4 назв.

Методические указания предназначены для студентов специальности 7.09.0510 "Теплоэнергетика", а также могут быть рекомендованы преподавателям и инженерно-техническим работникам, занимающихся термодинамикой.

Методические указания содержат основные сведения по выполнению лабораторных работ по курсу "Техническая термодинамика".

Составители: А.Н. Лебедев, к.т.н., доц.  
Н.В. Колесниченко, асс.

Рецензент к.т.н., доц. А.Е. Сахно

© Сафьянц С.М., Колесниченко Н.В.

© Донецкий национальный технический университет, 2006 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа 1.....	6
Лабораторная работа 2.....	10
Лабораторная работа 3.....	13
Лабораторная работа 4.....	18
Лабораторная работа 5 .....	22
Лабораторная работа 6 .....	26
Приложение А.....	30
Приложение Б.....	31
Список литературы.....	32

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания содержат основные сведения для выполнения лабораторных работ по курсу "Техническая термодинамика".

В процессе изучения курса «Техническая термодинамика» студентами специальности «Теплоэнергетика» для закрепления знаний теоретического материала и получения навыков экспериментальных исследований предусматривается выполнение лабораторных работ по разделам курса.

Методические указания должны облегчить подготовку студентов к выполнению этих работ.

При составлении методических указаний предполагалось, что студент предварительно изучил материал соответствующего раздела по рекомендуемым учебникам и учебным пособиям.

Перед выполнением лабораторной работы студент должен сдать зачёт преподавателю по теоретическому материалу, по устройству установки и методике проведения эксперимента и обработки полученных данных.

Приступить к выполнению лабораторных работ студент может только после получения разрешения преподавателя.

Каждым студентом заблаговременно должен быть заготовлен бланк протокола наблюдений.

После окончания эксперимента протокол наблюдений должен быть подписан преподавателем и при оформлении приложен к отчёту.

При выполнении лабораторных работ должны строго соблюдаться правила техники безопасности.

Подготовка к лабораторной работе заключается в изучении соответствующего теоретического материала и написании отчета к выполняемой лабораторной работе, включающего в себя следующие пункты:

- тема лабораторной работы;
- цель лабораторной работы;
- краткое описание лабораторной установки с ее схемой;
- краткий порядок выполнения лабораторной работы;
- журнал измерений.

Проведение необходимых замеров заключается в непосредственном выполнении лабораторной работы в соответствии с имеющимся порядком выполнения и строгим соблюдением правил техники безопасности. Полученные данные заносятся в журнал измерений и фиксируются у преподавателя.

На основе выполненных замеров выполняется расчет требуемых величин и оформление отчета по выполнению лабораторной работы с кратким выводом по полученным результатам. Краткие требования по оформлению отчета представлены после каждой лабораторной работы

Защита выполненной лабораторной работы у преподавателя проводится после полного оформления лабораторной работы во время занятий или на консультации. В ходе защиты преподавателем проверяется

правильность выполнения и оформления лабораторной работы, а также понимание студентом пройденного материала.

## **УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

Студентам следует быть осторожными при обращении с электроприборами (ЛАТР и вентилятор). Включать установку разрешается только после ознакомления с инструкцией, подготовки журналов наблюдений и с разрешения преподавателя.

Запрещается закрывать отверстия для истечения рабочих сред. При проведении работ их подачу необходимо регулировать с помощью ЛАТРов, начиная с минимальных расходов, таким образом, чтобы не допускать превышения максимального давления, измеряемого приборами.

При появлении искрения, дымления и горения или других отклонений в работе отдельных устройств установок необходимо выключить все приборы и сообщить преподавателю.

Следует бережно относиться к стеклянным приборам: напоромерам, термометрам, U-образным манометрам.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЁМКОСТИ ВОЗДУХА

Одним из распространённых методов определения теплоёмкости газов считается метод проточного калориметрирования.

Суть метода заключается в том, что если к потоку газа, протекающего через калориметр, подвести некоторое количество тепла, то температура его повысится.

При установившемся режиме расход газа через установку  $V$ , температура на входе  $t_1$  и количество подводимого к газу тепла  $Q$  не изменяются по времени. Очевидно, что в этом случае будет оставаться постоянной и температура газа  $t_2$  на выходе из калориметра.

Для установившегося режима можно записать:

$$Q = V_0 C'_{pm} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

где  $Q$  – количество тепла, подведённого к газу электронагревателем калориметра, кДж/ч. Определяется по потребляемой мощности электронагревателя:

$$Q = 3,6 \frac{U^2}{R};$$

$U$  – падение напряжения на электронагревателе; В

$R$  – электросопротивление нагревателя, Ом.

$V_0$  – объёмный расход газа через калориметр, приведённый к нормальным условиям, м<sup>3</sup>/ч.

Для приведения объёма к нормальным условиям следует воспользоваться уравнением состояния идеальных газов:

$$\frac{V_0 P_0}{T_0} = \frac{VP}{T}$$

В этом уравнении, в левой части равенства, параметры газа при нормальных условиях, а в правой – они же, но при условиях входа в калориметр.

При нормальных условиях  $P_0 = 101,3 \text{ кПа}$ ,  $T_0 = 273 \text{ К}$

Давление  $P[\text{кПа}]$  определяется по барометру-анероиду;

Температура, К:

$$T = t + 273$$

где  $t$  – температура воздуха в помещении, °С, определяется по термометру, измеряющему температуру воздуха на входе в установку.

$c'_{pm}$  - средняя объёмная теплоёмкость воздуха в изобарном процессе в интервале температур  $t_1 \dots t_2$ , кДж/м<sup>3</sup>К.  
Из соотношения (1) получим:

$$c'_{pm} = \frac{Q}{V_0(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Таким образом, измерив  $V$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  и вычислив  $Q$ , можно определить  $c'_{pm}$ .

Полученное значение  $C'_{pm}$  позволяет определить мольную  $\mu c_{pm}$  и массовую  $c_{pm}$  теплоёмкости:

$$\mu C_{pm} = C'_{pm} \cdot 22,4; \quad (3)$$

$$C_{pm} = \frac{\mu C'_{pm}}{\mu} \quad (4)$$

Здесь 22,4 – объем 1 кмолья газа при нормальных условиях, м<sup>3</sup>/кмоль;  
 $\mu$  – масса кмолья газа, кг/кмоль. Для воздуха  $\mu = 29$  кг/кмоль.  
Считая известным показатель адиабаты газа из соотношения Пуассона:

$$k = \frac{C_p}{C_v} = 1,4 \quad (5)$$

Определяем

$$C_{vm} = \frac{C_{pm}}{k} \quad (6)$$

а из уравнения

$$R = C_{pm} - C_{vm} \quad (7)$$

определяем значение газовой постоянной  $R$ .

### Цель работы

Экспериментальное определение степеней объёмной теплоемкости воздуха при постоянном давлении в интервале температур примерно от 20 до 50 °С.

Расчетное определение средних массовых теплоемкостей воздуха в том же интервале температур при постоянном давлении и постоянном объеме.

Расчетное определение газовой постоянной для воздуха.



## Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представлена на рисунке 1. Она состоит из стеклянного проточного калориметра 1, в котором помещен электрический нагреватель, сообщаящий тепло, протекающему через калориметр воздуху.

Калориметр окружен стеклянной оболочкой 2 с изолированной поверхностью. Воздух из пространства между калориметром 1 и оболочкой 2 удален для уменьшения теплопотерь в окружающую среду. На входе в калориметр установлен термометр 3 для измерения температуры поступающего воздуха, температура воздуха после калориметра измеряется термометром 4.

Для измерения расхода воздуха служит U - образный манометр 5, соединенный с диафрагмой 6.

Воздух просасывается через установку бытовым пылесосом. Расход воздуха изменяется посредством регулятора расхода 7.

Мощность, потребляемая электрическим нагревателем, определяется по падению напряжения на нем. Сопротивление нагревателя известно, падение напряжения на нагревателе измеряется вольтметром 9.

Мощность, потребляемая электронагревателем, регулируется лабораторным автотрансформатором 10.

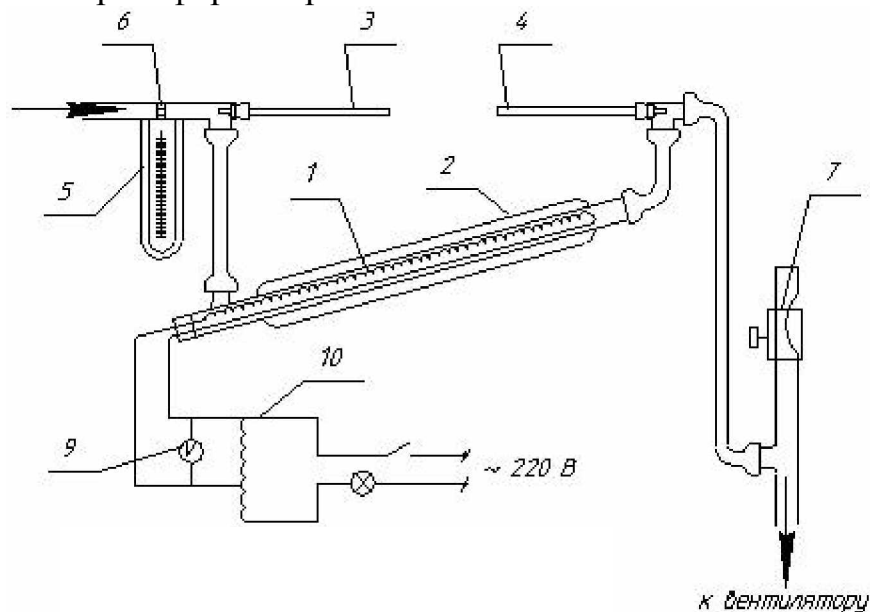


Рисунок 1 - Схема установки для определения теплоемкости воздуха

## Порядок проведения экспериментов

Ознакомившись со схемой установки и методикой выполнения лабораторной работы, следует заготовить протокол наблюдений по форме представленной в таблице 1.

Включив пылесос, устанавливают расход воздуха через калориметр, соответствующий перепаду давлений на диафрагме  $H = 10 - 50$  мм вод. ст., после чего включается нагреватель.

Регулируя напряжение автотрансформатором, устанавливают температуру выходящего из калориметра воздуха в пределах  $40 - 45$  °С.

После установления стабильного режима показания прибора заносятся в протокол наблюдений.

Показания прибора записываются через каждые 2 минуты в течение 10-15 минут.

После окончания опыта напряжение на нагревателе снижается автотрансформатором до минимального и электронагреватель отключается. После снижения температура воздуха на выходе из калориметра менее  $30$  °С выключается пылесос.

Таблица 1 – Протокол наблюдений к лабораторной работе №1

№ п/п	Время отсчета, мин	Температура, С		Напряжение $U$ , В	Показание манометра $H$ , мм в. ст.	Расход воздуха $V$ , м <sup>3</sup> /ч
		$t_1$	$t_2$			
1						
...						
10						

Барометрическое давление  $P_6 = \dots\dots$

Электрическое сопротивление электронагревателя  $R = \dots\dots$  Ом

### Обработка результатов измерений

Для расчета величины  $C_p$  использовать средние значения показаний приборов за весь опыт. Порядок расчета описан во вводной части по формулам (1) – (7).

Полученные результаты сравнить с табличными значениями теплоемкостей, или полученными по параметрическим формулам зависимости теплоемкостей от температуры, и определить относительную величину расхождений по формуле:

$$\delta_c = \left| \frac{c_{табл} - c_{расч}}{c_{табл}} \right| \cdot 100, \% \quad (8)$$

Средние теплоемкости воздуха в исследуемом диапазоне температур определяются по формулам, полученным из зависимостей теплоемкости воздуха от температуры:

$$c_{pm} = 0,9956 + 0,000093 \cdot t \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

$$c_{vm} = 0,7088 + 0,000098 \cdot t \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

$$c'_{pm} = 1,2866 + 0,0001201 \cdot t \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

$$c'_{vm} = 0,9157 + 0,0001201 \cdot t \text{ кДж/м}^3\cdot\text{К};$$

где  $t$  - сумма значений температуры начала и конца интервала,  $^{\circ}\text{C}$ .

### Оформление отчета

Отчет о лабораторной работе включает:

1. Схему и описание установки.
2. Протокол наблюдений.
3. Расчеты теплоёмкостей и газовой постоянной.
4. Сравнение экспериментальных данных с табличными.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ $k$ ДЛЯ ВОЗДУХА

В термодинамике широкое применение имеет показатель адиабата (изоэнтропы)  $k$ , представляющий собой отношение изобарной и изохорной теплоёмкостей:

$$k = c_p / c_v$$

Для идеальных газов коэффициент  $k$  является величиной постоянной, зависящей от природы газа. На основании общих данных кинетической теории веществ:

для одноатомных газов	$k = 1,67;$
для двухатомных газов	$k = 1,40;$
для многоатомных газов	$k = 1,30.$

Для реальных газов коэффициент  $k$  - величина переменная, являющаяся функцией температуры. При увеличении температуры коэффициент  $k$  убывает и обычно выражается формулой:

$$k = k_0 - \alpha \cdot T$$

Коэффициенты  $k_0$  и  $\alpha$  для каждого газа принимают определенное числовое значение.

Определение величины  $k$  в области температур и давлений, при которых с достаточной точностью они могут удовлетворять уравнению состояния идеального газа  $PV=RT$ , может быть произведено экспериментально.

Рассмотрим последовательно осуществляемые процессы, изображенные на рисунке 2 в координатах  $PV$ :

- а) 1-2 - адиабатный процесс расширения газа, находящегося при

температуре окружающей среды;

б) 2-3 - изохорный процесс повышения давления до температуры окружающей среды.

Из уравнения адиабаты находим связь между параметрами начала и конца процесса:

$$P_2 / P_1 = (V_1 / V_2)^k$$

Прологарифмировав это выражение, получим:

$$\ln P_2 / P_1 = k \ln \frac{V_1}{V_2}$$

откуда

$$k = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{\ln V_1 - \ln V_2} = \frac{\ln P_2 / P_1}{\ln V_1 / V_2}$$

Измерение удельных объемов весьма затруднительно. Но поскольку точки 1 и 3 принадлежат одной изотерме, для которой справедливо соотношение

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{P_3}{P_1}$$

то отношение удельных объёмов можно выразить через отношение давлений

$$k = \frac{\ln P_2 / P_1}{\ln P_3 / P_1}$$

т.е. при определении коэффициента  $k$  опытным путём измеряемыми величинами являются только давления.

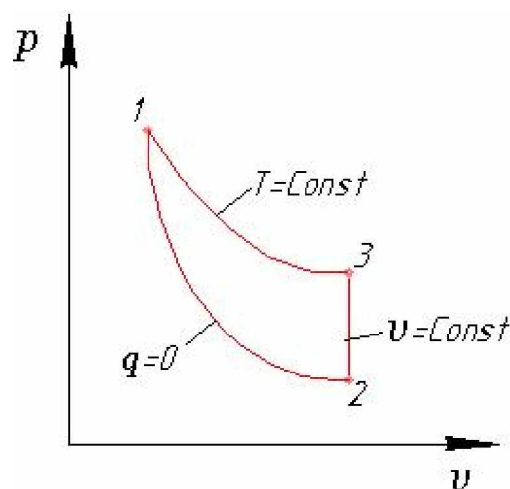


Рисунок 2 - Процессы, осуществляемые в лабораторной установке

## Цель работы

Экспериментальное определение свойств рабочих тел теплоэнергетики.

## Описание установки

Лабораторная установка представлена на рисунке 3. Она состоит из герметической емкости 1, на верхнем днище которой установлен клапан 2, служащий для выпуска воздуха в атмосферу. Сжатый воздух от компрессора 3 через кран 4 поступает в емкость. Давление воздуха в емкости измеряется  $U$ -образным манометром 5.

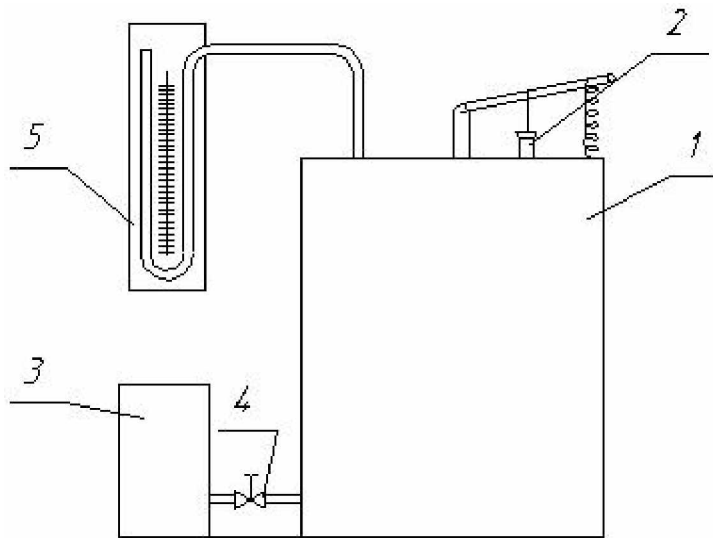


Рисунок 3 - Схема лабораторной установки для определения коэффициента  $k$ .

## Порядок проведения работы

После ознакомления со схемой установки и ее элементами, необходимо заготовить протокол наблюдений (таблица 2).

Присоединить шланг от компрессора к штуцеру крана 4. Открыть кран и включить компрессор. Довести давление воздуха в емкости до 550-600 мм вод. ст. Закрыть кран и выключить компрессор. Выждать некоторое время (5-10 мин), пока воздух в емкости примет температуру окружающей среды, о чем будет свидетельствовать установившееся показание манометра 5. Записать в журнал наблюдений показания манометра  $P_{1\text{ изб}}$  и барометра  $P_{\text{б}}$ .

Быстро открыть клапан (приподнять рычаг вверх) и сразу же его отпустить. При этом расширение воздуха происходит практически мгновенно, его можно считать адиабатным, т.е. без теплообмена с окружающей средой. Температура воздуха в емкости будет ниже температуры окружающей среды. После закрытия клапана 2 будет происходить процесс изохорного нагрева воздуха вследствие теплообмена с

окружающей средой. Давление в емкости будет расти до тех пор, пока температура воздуха в емкости не сравняется с температурой окружающей среды. После наступления температурного равновесия (через 5-10 мин) снять показание манометра  $P_3$ . Опыт повторить 5-6 раз.

Таблица 2 - Протокол наблюдений к лабораторной работе №2

№ пп	Начальное давление воздуха в баллоне, $P_{1изб}$ , мм в. ст.	Давление воздуха в конце адиаб. расшир., $P_{2изб}$ , мм в. ст.	Конечное давление воздуха в баллоне, $P_{3изб}$ , мм в. ст.	Атмосферное (барометрическое) давление, $P_6$
1				
...				
5				

### Обработка экспериментальных данных

Показатель адиабаты  $K$  определяется по формуле:

$$k = \frac{\ln P_2 / P_1}{\ln P_3 / P_1},$$

где  $P_1$  - абсолютное давлений воздуха в начале расширения;

$P_2$  - абсолютное давление воздуха в конце адиабатного расширения.

$P_3$  - абсолютное давление воздуха в конце изохорного подогрева до температуры окружающей среды/

Абсолютное давление определяется по формуле:

$$P = P_{изб} + P_6.$$

По результатам опытов для каждого случая определяется показатель адиабаты.

### Отчет о работе

Отчет о выполненной работе должен содержать:

1. Краткое содержание работы и принципиальную схему установки.
2. Таблицу результатов измерений.
3. Необходимые расчеты и пояснения к ним.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ГАЗА МЕТОДОМ ИСТЕЧЕНИЯ

### Цель работы

Определение экспериментальным путем характеристик неизвестного газа.

## Основы методики эксперимента

Для экспериментального определения удельного объема газа применяется абсолютный или относительный метод. При абсолютном методе экспериментально определяется масса газа, содержащаяся в известном объеме при заданных условиях. При относительном методе удельный объем исследуемого газа находится путем сравнения с известным удельным объемом другого газа при одинаковых условиях. Одним из относительных методов определения удельного объема газа является метод истечения.

Скорость истечения газа, м/с, через калиброванное отверстие при небольшой разности давлений определяется по уравнению

$$C = \varphi \sqrt{2(P_1 - P_2)V}$$

где  $\varphi$  - опытный коэффициент скорости;

$P_1$  - давление перед отверстием, Па;

$P_2$  - давление за отверстием, Па;

$V$  - удельный объем, м<sup>3</sup>/кг.

При истечении двух разных газов через одно и то же отверстие при одинаковых условиях получаем

$$C_1 = \varphi \sqrt{2(P_1 - P_2)V};$$

$$C_2 = \varphi \sqrt{2(P_1 - P_2)V},$$

где  $V_1, V_2$  - удельные объемы сравниваемых газов, м<sup>3</sup>/кг.

Из этих уравнений получаем

$$\frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{V_1}{V_2}}$$

или

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_1^2}{C_2^2}.$$

Объемный расход газа при истечении его из отверстия сечением отверстия  $f_{м^2}$  за время  $\tau$  составляет:

$$V = f \cdot c \cdot \tau,$$

следовательно, для разных газов скорость истечения заданного объема  $V$  равна

$$C_1 = \frac{V}{f\tau_1}, C_2 = \frac{V}{f\tau_2},$$

откуда

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

или с учетом уравнения (1) получим

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\tau_2^2}{\tau_1^2}.$$

Расчетная формула для экспериментального определения удельного объема исследуемого газа:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2}.$$

Измеряя время истечения одинаковых объемов двух различных газов, по известному удельному объему одного из них можно определить удельный объем при этих же условиях другого газа.

### Описание установки

Лабораторная установка (рисунок 4) состоит из двух стеклянных цилиндров (9, 10), расположенных вертикально и соединенных в верхней части круговой переключкой 14. Трехходовые краны 2 и 4 служат для соединения внутренней полости 8 цилиндра 9 с резервуаром для испытываемого газа 1 или с атмосферой.

Полость 8 заполняется испытуемым газом, который затем вытесняется из нее через сопло 3 в атмосферу при соответствующих положениях трехходовых кранов 2 и 4. Эти положения определяются по нанесенным на стекло рискам 6.

Время выталкивания этого объема газа фиксируется секундомером.

Опорожнение полостей 13 и 8 производится при засасывании испытываемого газа. Заполнение и опорожнение полостей осуществляются путем вертикального перемещения сосуда 5 с водой.

Сосуд 5 установлен на подставках 12, цилиндр 10 прикреплен к стенду.

### Проведение опыта

В данной работе опыты проводятся с атмосферным воздухом, удельный объем которого является известным, и газом, удельный объем которого подлежит определению.

### Определение времени истечения воздуха



1. Соединить полость 8 посредством трехходовых кранов 2 и 4 с атмосферой.

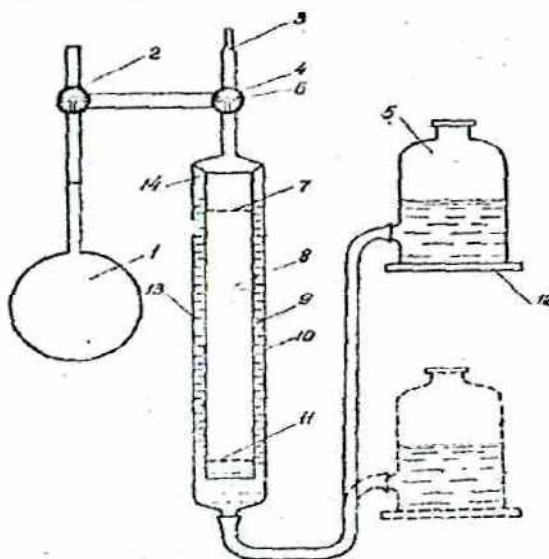


Рисунок 4 - Схема установки для определения удельного объема газа

2. Опуская сосуд 5, засосать в полость 8 атмосферный воздух. Следить, чтобы уровень воды в полости 8 был выше нижнего обреза трубки 9 на 5-10 мм.

3. Перекрыть трехходовой кран 4.

4. Поднимая сосуд 5, заполнить полость 13 водой до предельного уровня.

5. Трехходовым краном 4 соединить полость 8 с соплом 3.

6. Наблюдая за повышением уровня воды в полости 8, включить секундомер при достижении уровнем отметки.

7. При достижении уровнем воды в полости и верхней отметки 7 выключить секундомер.

Этот опыт повторить три раза.

#### Определение времени истечения газа

1. Соединить полость 8 посредством трехходовых кранов 2 и 4 с атмосферой.

2. Регулируя положений сосуда 5, заполнить водой полости 8 и 13 до предельного уровня 7.

3. Поставить кран 2 в положение, при котором полость 8 соединяется с емкостью 1.

4. Опуская сосуд 5, заполнить полость 8 газом для продувки. Следить, чтобы уровень воды II в полости 8 был выше нижнего обреза трубки на 5-10 мм.

5. Вытеснить газ из полости 8 в атмосферу.
6. Заполнить новой порцией гага полость 8 для проведения опыта.
7. Трехходовым краном 4 соединить полость В с соплом 3.
8. При достижении уровнем воды отметки II включить секундомер.
9. При достижении уровнем воды в полости 8 верхней отметки 7 выключить секундомер.

Этот опыт повторить 3 раза, не производя продувки.

Измерить барометрическое давление и температуру атмосферного воздуха. Давление и температура испытываемого газа и атмосферного воздуха при проведении опыта принимаются одинаковыми.

Результаты измерений внести в журнал наблюдений.

### Обработка результатов измерений

1. Определение удельного объема воздуха при температуре T

$$V_{1H} = V_{1H} \cdot \frac{T}{T_H} \cdot \frac{P_H}{P},$$

где  $V_{1H}=0,775$  м<sup>3</sup>/кг - удельный объем воздуха при нормальных условиях;

T - температура воздуха в лаборатории, К;

P - давление воздуха, Па;

$T_H=273K$  - температура газа при нормальных условиях;

$P_H=1,013 \cdot 10^5$  Па - давление при нормальных условиях.

2. Удельный объем газа при условиях опыта, м<sup>3</sup>/кг,

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{\tau_1^2}{\tau_2^2}$$

3. Удельный объем газа при нормальных условиях, м<sup>3</sup>/кг,

$$V_{2H} = V_2 \cdot \frac{T_H}{T} \cdot \frac{P}{P_H}.$$

4. Плотность, газа при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho_{2H} = \frac{1}{V_{2H}}.$$

Таблица 3 – Протокол наблюдений к лабораторной работе №3

Номер опыта	Время истечения воздуха, с	Время истечения газа, с	Примечание
1			
...			
4			
ср. значение			

P =            Па, t =            °C

## **Оформление отчета**

Отчет о работе должен содержать:

1. Принципиальную схему и описание установки,
2. Протокол наблюдений.
3. Все необходимые расчеты и обработку результатов наблюдений.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА**

Знание свойств влажного воздуха необходимо для расчета сушильных установок, вентиляционных устройств, установок кондиционирования воздуха и во многих других случаях.

Для измерения относительной влажности воздуха используется прибор (психрометр), основанный на принципе адиабатного испарения воды. Такое испарение имеет место, когда поток воздуха омывает поверхность воды и тепло, подводимое к поверхности воды от воздуха и идущее на испарение, возвращается к воздуху с паром. В этих условиях при постоянной температуре и влагосодержании воздуха устанавливается постоянная температура поверхности воды, называемая температурой мокрого термометра.

Температура мокрого термометра меньше температуры воздуха, если влагосодержание воздуха меньше максимально возможного, т.е. при относительной влажности воздуха, меньшей 100%. При относительной влажности воздуха, равной 100%, испарение воды не происходит и температура мокрого термометра равна температуре воздуха. Таким образом, при данной температуре воздуха разность температур воздуха и мокрого термометра зависит от величины относительной влажности воздуха.

Психрометр состоит из двух термометров – "сухого" и "мокрого".

Мокрый термометр отличается от обычного тем, что его сосуд с ртутью покрыт тканью, непрерывно смачиваемой водой. Точность определения температуры мокрого термометра зависит от скорости воздуха возле ртутью.

Экспериментально установлено, что при скорости потока воздуха, большей 1,5 – 2 м/с, ошибка не превышает 1%.

### **Цель работы**

Закрепление знаний по разделу "Влажный воздух и его свойства" и ознакомление с методикой определения свойств атмосферного воздуха.

## Описание установки

Лабораторная установка состоит из аспирационного психрометра с электромотором (или с пружинным приводом вентилятора) и барометра-анероида. Аспирационный психрометр (рисунок 5) состоит из двух одинаковых ртутных термометров 1, закрепленных в специальной оправе, и аспирационной головки 7, содержащей двигатель и вентилятор, которым обеспечивается постоянная скорость движения воздуха возле ртутных резервуаров термометров.

Чувствительная часть термометров защищена трубчатыми полированными экранами 2. Трубки экранов, через аспирационную чашку 5 соединены через воздухопроводную трубку 6 с аспирационной головкой 7. Для подвешивания прибора на аспирационной головке закреплен специальный крючок. Резервуар одного из термометров обернут батистовой тканью, смачиваемой дистиллированной водой.

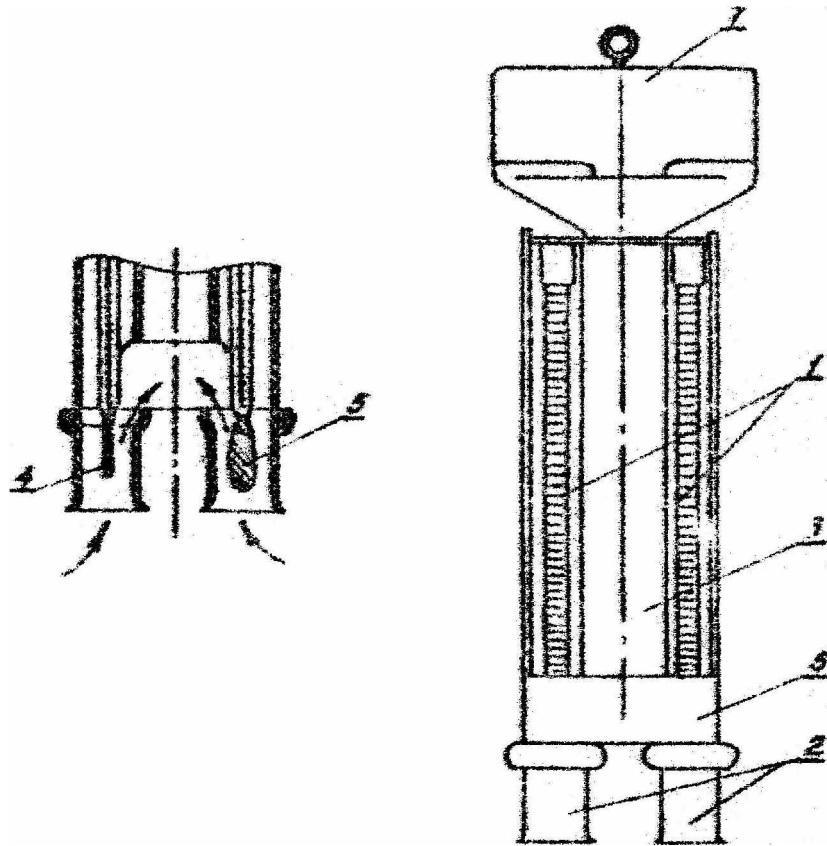


Рисунок 5 - Аспирационный психрометр

## Проведение опыта

Подготовить бланк протокола наблюдений и получить разрешение преподавателя на выполнение работы.

Подготовить барометр-анероид к проведению измерений и, записав его

показания, определить атмосферное давление с учетом поправок по указаниям в паспорте прибора. Подготовить психрометр к работе» проверив наличие ткани у одного из термометров и смочив ее дистиллированной водой. Включить двигатель вентилятора и через 4 – 5 мин приступить к записи показаний термометров. Записав показания термометров 5 – 6 раз с интервалом 1 – 2 мин., закончить опыт и выключить двигатель вентилятора. Заполненный бланк протокола наблюдений представить для подписи преподавателя, проводившего занятия.

### Обработка результатов измерений

1 Используя среднее значение температур сухого и мокрого термометров, определяем относительную влажность воздуха по психометрической формуле:

$$\varphi = \frac{P'_H}{P_H} - 712,6 \cdot \frac{P}{P_H} \cdot (t_C - t_M) \cdot 10^{-6},$$

где  $t_C$ ,  $t_M$  - температура сухого и мокрого термометров; °С;

$P_H$  - давление насыщенного пара при  $t_C$ , Па.

$P'_H$  - давление насыщенного пара при  $t_M$ , Па;

$P$  - атмосферное давление, Па.

2. Парциальное давление пара в данном воздухе

$$P_{II} = \varphi \cdot P_H$$

3 Влагосодержание воздуха при условиях опыта, г/кг;

$$d = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_H}{P - \varphi \cdot P_H}$$

4 Максимально возможное влагосодержание воздуха при температуре  $t_C$

$$d_{\max} = 622 \cdot \frac{\varphi_{\max} \cdot P_H}{P - \varphi_{\max} \cdot P_H}$$

5 Абсолютная влажность воздуха по уравнению

$$\rho = \frac{P_n}{R_n \cdot T},$$

где  $R_n = 462$  Дж/кг К – газовая постоянная водяного пара и по формуле

$$\rho = 1/v,$$

где  $v$  – удельный объем пара при  $P_n$  и  $t_c$ .

6 Энтальпия влажного воздуха при температуре опыта по уравнению

$$I = C_s \cdot t + (2490 + C_n \cdot t) \cdot d,$$

где  $C_s = 1 \text{ кДж/кг К}$  - теплоемкость сухого воздуха;  
 $C_n = 1,97 \text{ кДж/кг К}$  - теплоемкость перегретого пара;  
 $d$  – влагосодержание воздуха, кг/кг.

7 Плотность влажного воздуха по уравнению

$$\rho_s = 0,00348 \cdot \frac{P}{T} \cdot (1 - 0,3788 \cdot \frac{P_n}{P}),$$

где  $P$  – атмосферное давление, Па;  
 $P_n$  – парциальное давление пара, Па.

8 Плотность сухого воздуха при условиях опыта

$$\rho_c = \frac{P}{R_c \cdot T},$$

где  $R_c = 287 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$  – газовая постоянная сухого воздуха

9 Температура точки росы воздуха определяется по значению  $P_n$  при условиях опыта, используются справочные таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара.

10 Характеристики влажного воздуха с помощью  $I - d$  – диаграммы по значению температур  $t_c$  и  $t_m$  (изотермы  $t_c = \text{const}$  и  $t_m = \text{const}$  имеют на диаграмме общую точку при  $\varphi = 100\%$ , когда  $t_m = t_c$ ).

### Оформление отчета

Отчет о работе должен содержать:

Описание и схему психрометра.

2. Протокол наблюдений.

3. Расчеты и пояснения к обработке результатов измерения.

4. Схематическое изображение диаграмм  $I - d$  влажного воздуха..

Таблица 4 – Протокол наблюдений к лабораторной работе №4

№ п/п	Время измерения	Температура, °C		Разность температур	Примечание
		Сухого термометра	Мокрого термометра		
1.	0				
2.	2				
3.	4				
4.	6				
5.	8				
Ср. знач.					

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВО ВЛАЖНОМ ВОЗДУХЕ НА ТЕРМОУВЛАЖНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

### Цель работы

Экспериментальное изучение процессов нагрева и увлажнения воздуха, обработка полученных данных и построение исследуемых процессов в  $h-d$ -диаграмме.

### Описание установки

Лабораторный стенд представляет собой модель сушильной установки, в которой сушильным агентом является атмосферный воздух, а высушиваемым агентом - хлопчатобумажная ткань, смоченная дистиллированной водой. Схема установки представлена на рис. 8.

Установка состоит из калорифера, сушильной камеры, вентилятора и измерительных приборов.

Калорифер представляет собой электрический нагреватель 4, помещенный в металлическую трубу 3, изолированную с внутренней стороны несколькими слоями стеклоткани с целью уменьшения потерь тепла в окружающую среду, а также исключения опасности электрического замыкания на корпус при обрыве проволоки нагревателя. Мощность нагревателя регулируется лабораторным автотрансформатором 13. Величина падения напряжения на нагревателе контролируется вольтметром 12.

Температуру воздуха  $t_{1c}$  и  $t_{1m}$  на входе в установку определяют по показаниям аспирационного психрометра I, температуру  $t_{2c}$  на входе в калорифер - ртутным термометром 2, температуру воздуха  $t_{3c}$  а после калорифера-термометром 5.

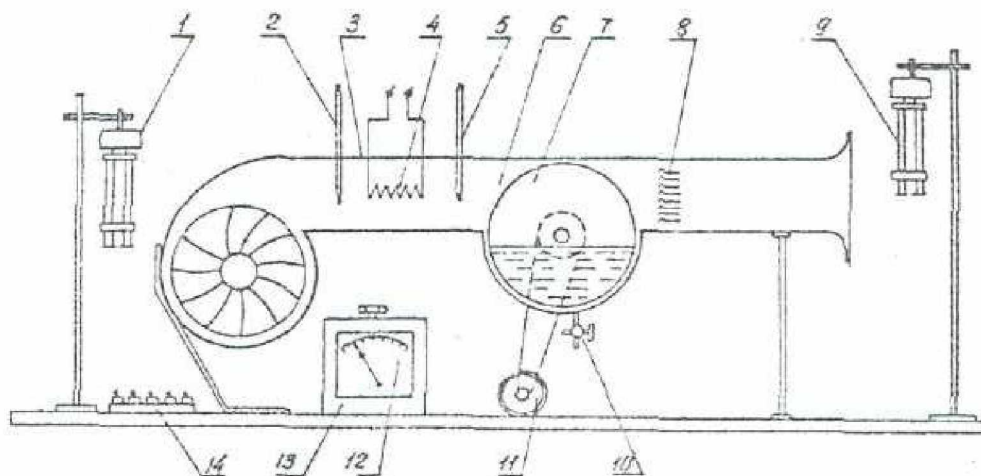


Рисунок 6 - Схема установки

Сушилка представляет собой цилиндр 6, внутри которого расположены десять вращающихся перфорированных дисков 7, обтянутых с двух сторон хлопчатобумажной тканью. Цилиндр примерно на 1/4 своей высоты, заполнен дистиллированной водой. Для выпуска воды имеется кран 10. Вращение дисков осуществляется с помощью электродвигателя II. Выравнивание воздушного потока, а также улавливание капелек воды после сушилки (увлажнителя воздуха) достигается благодаря каплеуловителю 8.

Температура воздуха  $t_{4c}$  к  $t_{4м}$  измеряется аспирационным психрометром 9. Подача напряжения и электродвигателям вентилятора, увлажнителя и калорифера производится с помощью тумблеров, укрепленных на панели управления 14.

### Порядок проведения опытов

1. Смочить "мокрые" термометры аспирационных психрометров I и 9 дистиллированной водой.
2. Подать напряжение на электродвигатели психрометров.
3. Подать напряжение на электродвигатель вентилятора.
4. Подать напряжение на нагреватель калорифера.
5. С помощью лабораторного автотрансформатора добиться устойчивой температуры  $t_{3c}$  в пределах 50-70 °С.
6. Подать напряжение на электродвигатель увлажнителя.
7. Приступить к записям в протоколе наблюдений показаний всех термометров, психрометров, вольтметра, анемометра. Снять показания находящегося в помещении лаборатории барометра-анероида. Показания записывать через 1-2 мин. Наблюдения окончить, когда не менее трех замеров  $t_{4c}$  и  $t_{4м}$  будут одинаковыми. Температуру воздуха и воды



фиксировать с точностью 0,1 °С.

8. Снизить с помощью автотрансформатора напряжение на нагревателе до нуля, отключить нагреватель.

9. Снять напряжение с электродвигателей увлажнителя, психрометров и вентилятора.

10. Сообщить преподавателю об окончании опытов.

Перед началом опыта заготовить протокол наблюдений.

Таблица 5 - Протокол наблюдений к лабораторной работе № 5

№ п/п	Первая точка			Вторая точка	Третья точка	Четвертая точка					
1											
...											
5											

### Обработка результатов наблюдений

I. По значениям  $t_{1c}$  и  $t_{1m}$  определить относительную влажность воздуха  $\varphi_1$ , используя психрометрические таблицы (прил. II) и психрометрический график (прил. 12). Полученные данные сравнить.

При определении относительной влажности показания термометров усредняются по отношению:

$$t_{cp} = \frac{\sum \cdot t_i}{n}$$

здесь  $n$  - число замеров.

Затем по усредненным значениям температур "сухого" и "мокрого" термометров определяют их разность

$$\Delta t = t_{cp(cp)} - t_{M(cp)}$$

По показаниям сухого термометра и разности температур находят по психрометрическим таблицам (прил. 13) относительную влажность воздуха  $\varphi_a$ .

Относительная влажность воздуха может быть также определена и по  $h_d$  - диаграмме.

Для нахождения ее на оси ординат берется температура "сухого" термометра и проводится соответствующая этой температуре изотерма, а под линией  $\varphi = 100\%$  - температура "мокрого" термометра и проводится

адиабатная изотерма температуры  $t_m$  параллельно линии  $h=const$  до пересечения с изотермой "сухого" термометра. В точке пересечения определяем значения относительной влажности воздуха  $\varphi_a$ .

Полученные значения  $\varphi_a$  по таблицам и диаграмме  $h-d$  сравниваются и определяются % расхождения между ними.

Затем, принимая за истинное значение  $\varphi_a$  для случая вторичного, находят ошибку определения относительной влажности по психрометру вследствие образования застойной зоны у "мокрого" термометра:

$$\delta \% = \frac{\varphi_{\delta} - \varphi_a}{\varphi_a} \cdot 100\%$$

2. По значению  $t_{1c}$  в табл. прил. 14 найти величину парциального давления насыщенных водяных паров  $P_H$ .

3. Вычислить величину влагосодержания  $d_l$  соотношения:

$$d = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_H}{P - \varphi \cdot P_H}$$

где  $P_H$  – давление насыщения, определяется по таблицам водяных по температуре сухого термометра;

$\varphi$  - относительная влажность, найдена в предыдущих расчетах;

$P$  - атмосферное давление, определяется по барометру-анероиду.

Определенное по соотношению (4) значение влагосодержания сравнивают с таковым найденным по  $h-d$  - диаграмме.

4. Рассчитать энтальпию влажного воздуха  $h$  в в.в.

Энтальпию влажного воздуха находят из соотношения:

$$h = 1,005 \cdot t + d \cdot (2501 + 1,92 \cdot t)$$

где  $t$ , °C - температура сухого термометра;

$d$  - влагосодержание влажного воздуха, найдено в предыдущем расчете.

Определенная по соотношению (3) энтальпия влажного воздуха сравнивается с найденной по диаграмме  $hd$ .

5. Сравнивая полученные значения  $t_{1c}$  и  $t_{2c}$ , сделать вывод о степени нагрева воздуха в вентиляторе.

6. С помощью диаграммы  $h-d$  по значениям  $t_{3c}$  и  $t_{2c}$  найти величины  $\varphi_3$ ,  $d_3$ ,  $h_3$ . Сравнить полученный процесс с теоретическим. Сделать выводы.

7. По значениям  $t_{4c}$  и  $t_{4M}$  на диаграмме  $h-d$  построить точку 4 и найти значения  $\varphi_4$ ,  $d_4$ ,  $h_4$ .

8. На схематическом изображении диаграммы  $h-d$  нанести значение  $\tau_B$  и построить процессы нагрева (1-3) и сушки реальный (3-4) и адиабатный (3-5).

9. Определить количество испарившейся воды на 1 кг сухого воздуха.

$$G_n = d_4 - d_1$$

10. Определить количество тепла, затраченного на испарение этой воды (без учета потерь).

$$q = h_4 - h_1$$

II. Определить величину потерь тепла сушилкой в окружающую среду, отнесенную к 1 кг сухого воздуха.

$$q_{ном} = h_5 - h_4$$

12. Определить плотность влажного воздуха в точках I, 3, 4 по формуле

$$\rho = \rho_{\epsilon} + \rho_h = \frac{P_{\epsilon} + P_n}{R_{\epsilon} \cdot T}$$

где  $\rho_{\epsilon}$ ,  $P_{\epsilon}$  - плотность и парциальное давление сухого воздуха.

### Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Схему и краткое описание установки.
2. Протокол наблюдений и расчеты по обработке результатов наблюдений.
3. Схематическое изображение на h-d диаграмме (с приблизительным соблюдением масштаба) процессов нагрева воздуха и сушки.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ ВОДЫ ОТ ДАВЛЕНИЯ

### Цель работы

Экспериментальное исследование зависимости температуры кипения воды от давления.

### Описание лабораторной установки

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 7.

Установка состоит из стеклянного сосуда 1, заполненного на 1/2 своего объема дистиллированной водой, электрического нагревателя 2, вакуум-насоса 3, лабораторного автотрансформатора 4, измерительных приборов 5, 6, 7 и 8.

Сосуд соединен с вакуум-насосом 3 и с помощью крана 9 может соединяться с атмосферой. Через крышку сосуда пропущены два совершенно одинаковых ртутных термометра со шкалой 50-100°C и ценой деления 0,1°.

Сосуд 1 соединен с U-образным манометром 8.

Термометр 5 опущен в воду, а ртутный резервуар термометра 6 располагается над поверхностью воды. Для измерения атмосферного давления имеется барометр-анероид 7.

Измерение напряжения на нагревателе, осуществляется с помощью лабораторного автотрансформатора.

### Проведение опыта

1. С помощью крана 9 соединить сосуд 1 с атмосферой
2. Подать напряжение на нагреватель.
3. С интервалом 2 мин. снимать показания термометров 5 и 6.
4. При достижении максимального значения по термометру 6 выключить нагреватель.
5. С помощью крана 9 соединить сосуд 1 с вакуум-насосом.
6. Медленным вращением вакуум-насоса создать несколько режимов кипения при разных давлениях.
7. При каждом из режимов измерить значения температуры кипения  $t_n$  и соответствующие им значения разрежения  $P_n$  в сосуде. (Продолжительность опытов, число режимов определяются преподавателем).

Результаты измерений, а также табличные значения давлений, соответствующие температурам кипения  $T_n$  выносятся в протокол наблюдений.

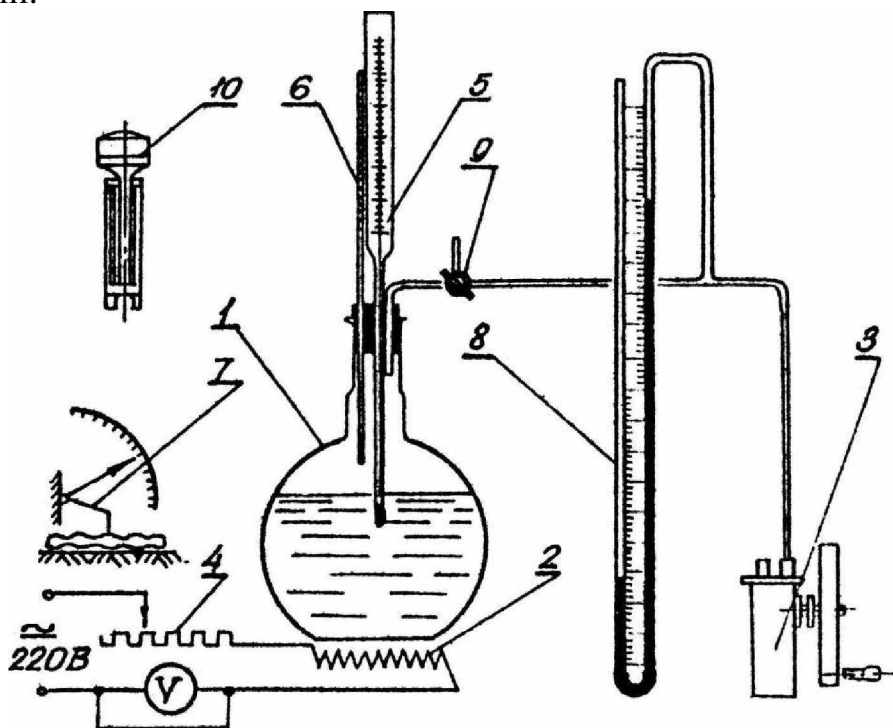


Рисунок 7 - Схема лабораторной установки для определения зависимости температуры кипения воды от давления.

## Обработка результатов наблюдений

1. Построить графики  $t_5$  и  $t_6$  в функции времени.
2. Объяснить, почему  $t_5 = t_6$  при кипении жидкости. При достижении максимального значения температуры  $t_6$  выключить нагреватель.
3. Абсолютная температура кипения вычисляется по формуле:

$$T_n = 273,15 + t_n .$$

4. Абсолютное давление в сосуде вычисляется по формуле:

$$P = P_{атм} - P_{вак} .$$

5. По данным экспериментов строится графическая зависимость  $T_n = f(P_n)$
6. В этих же координатах строится графическая зависимость  $T_n = f(P_n)$  по табличным данным.
7. Определяется погрешность при измерении давления и температуры:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P_a - P_b} + \frac{\Delta T}{T} ,$$

где  $\Delta P$  и  $\Delta T$  – абсолютные погрешности при измерении давления и температуры.

8. Производим оценку точности зависимости  $T_n = f(P)$  по степени приближения экспериментальных точек к кривой, построенной по табличным значениям.

В качестве меры расхождения этих данных принимается среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P_{табл})^2}{n}} ,$$

где  $n$  – число наблюдений.

### Оформление отчета

Отчет о работе должен содержать:

1. Схему и краткое описание установки.
2. Протокол наблюдений и расчеты по обработке наблюдений.
3. Схематическое изображение процесса парообразования в координатах  $Pv$ ,  $Ts$ ,  $is$ .
4. Графики зависимостей:

$$t_5 = t_{нара} = \varphi(\tau) ;$$



**Приложение А**  
**Физические свойства влажного воздуха при давлении 101300 Па**

№ п/п	1 м <sup>3</sup> сухого воздуха			Парциальное давление водяных паров насыщающих воздух, бар	Содержание водяного пара при полном насыщении		
	масса, кг	взятый при 0 °С образует при t, °С объем, м <sup>3</sup>	взятый при t, °С образует при 0 °С объем, м <sup>3</sup>		в 1м <sup>3</sup> влажного воздуха, г	в 1кг влажного воздуха, г	на 1кг сухого воздуха, г
0	1,293	1,000	1,000	0,0061	4,9	3,78	3,8
1	1,288	1,004	0,996	0,0066	5,2	4,07	4,15
2	1,284	1,007	0,993	0,0070	5,6	4,40	4,48
3	1,279	1,011	0,989	0,0076	6,0	4,71	4,77
4	1,275	1,015	0,986	0,0081	6,4	5,05	5,10
5	1,270	1,018	0,982	0,0087	6,8	5,35	5,40
6	1,265	1,022	0,979	0,0093	7,3	5,70	5,78
7	1,261	1,026	0,975	0,0100	7,7	6,10	6,21
8	1,256	1,029	0,972	0,0107	8,3	6,60	6,65
9	1,252	1,033	0,968	0,0115	8,8	7,00	7,13
10	1,248	1,037	0,965	0,0123	9,4	7,50	7,63
11	1,243	1,040	0,961	0,0131	9,9	8,00	8,14
12	1,239	1,044	0,958	0,0140	10,6	8,60	8,75
13	1,235	1,048	0,955	0,0150	11,2	9,20	9,35
14	1,230	1,051	0,951	0,0160	12,0	9,80	9,97
15	1,226	1,055	0,948	0,0170	12,8	10,5	10,6
16	1,222	1,059	0,945	0,0182	13,6	11,2	11,4
17	1,217	1,062	0,941	0,0194	14,4	11,9	12,1
18	1,213	1,066	0,938	0,0206	15,3	12,7	12,9
19	1,209	1,070	0,935	0,0220	16,2	13,5	13,8
20	1,205	1,073	0,932	0,0234	17,2	14,4	14,7
21	1,201	1,077	0,929	0,0248	18,2	15,3	15,6
22	1,197	1,081	0,925	0,0264	19,3	16,3	16,8
23	1,193	1,084	0,922	0,0281	20,4	17,3	17,7
24	1,189	1,088	0,919	0,0298	21,6	18,4	18,8
25	1,185	1,092	0,916	0,0317	22,9	19,5	20,0
26	1,181	1,095	0,913	0,0336	24,2	21,0	21,4
27	1,177	1,089	0,910	0,0356	25,6	22,0	22,6
28	1,173	1,103	0,907	0,0378	27,0	23,4	24,0
29	1,169	1,106	0,904	0,0400	28,5	24,8	25,6
30	1,165	1,110	0,901	0,0424	31,0	26,3	27,2
31	1,161	1,114	0,898	0,0449	31,8	27,8	28,8
32	1,157	1,117	0,895	0,0475	33,5	29,5	30,6
33	1,154	1,121	0,892	0,0503	35,4	31,2	32,5
34	1,150	1,125	0,889	0,0532	37,3	33,1	34,4
35	1,146	1,128	0,886	0,0562	39,3	35,0	36,4
36	1,142	1,132	0,884	0,0594	41,4	37,0	38,8
37	1,139	1,136	0,881	0,0627	43,6	39,2	41,1
38	1,135	1,139	0,878	0,0662	45,9	41,4	43,5
39	1,132	1,143	0,875	0,0669	48,3	43,8	46,0
40	1,128	1,147	0,872	0,0741	51,1	46,3	48,9
41	1,124	1,150	0,869	0,0777	53,8	48,9	51,7
42	1,121	1,154	0,867	0,0820	56,5	51,6	54,8
43	1,117	1,158	0,864	0,0864	59,4	54,5	58,0
44	1,114	1,161	0,861	0,0910	62,3	57,5	61,3
45	1,110	1,165	0,858	0,0958	65,4	60,7	65,0
46	1,107	1,169	0,856	0,1008	68,7	64,0	68,9
47	1,103	1,172	0,853	0,1061	72	67,5	72,8
48	1,100	1,176	0,850	0,1116	75,6	71,1	77,0
49	1,096	1,180	0,848	0,1173	79,3	75,0	81,5
50	1,093	1,183	0,845	0,1233	83,1	79,0	86,8

## Приложение Б

### Параметры воды и водяного пара в состоянии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$	$p, \text{бар}$	$v', \text{м}^3/\text{кг}$	$v'', \text{м}^3/\text{кг}$	$h', \text{кДж/кг}$	$h'', \text{кДж/кг}$	$r, \text{кДж/кг}$	$s', \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$
46	319,15	0,100854	0,0010103	14,559	192,53	2584,7	2392,2	0,6514
47	320,15	0,10612	0,0010107	13,879	196,71	2586,5	2389,8	0,6645
48	321,15	0,11161	0,0010112	13,236	200,89	2588,3	2387,4	0,6776
49	322,15	0,11735	0,0010116	12,626	205,07	2590,1	2385,0	0,6906
50	323,15	0,12335	0,0010121	12,048	209,26	2591,8	2382,5	0,7035
51	324,15	0,12960	0,0010126	11,501	213,44	2593,6	2380,2	0,7164
52	325,15	0,13612	0,0010131	10,982	217,62	2595,4	2377,8	0,7293
53	326,15	0,14292	0,0010136	10,490	221,80	2597,2	2375,4	0,7422
54	327,15	0,15001	0,0010140	10,024	225,98	2598,9	2372,9	0,7550
55	328,15	0,15740	0,0010145	9,5812	230,17	2600,7	2370,5	0,7677
56	329,15	0,16510	0,0010150	9,1609	234,35	2602,4	2368,1	0,7804
57	330,15	0,17312	0,0010156	8,7618	238,54	2604,2	2365,7	0,7931
58	331,15	0,18146	0,0010161	8,3831	242,72	2606,0	2363,3	0,8058
59	332,15	0,19015	0,0010166	8,0229	246,91	2607,7	2360,8	0,8184
60	333,15	0,19919	0,0010171	7,6807	251,09	2609,5	2358,4	0,8310
61	334,15	0,20859	0,0010177	7,3554	265,28	2611,2	2355,9	0,8435
62	335,15	0,21837	0,0010182	7,0458	259,46	2613,0	2353,5	0,8560
63	336,15	0,22854	0,0010188	6,7512	263,65	2614,7	2351,1	0,8685
64	337,15	0,23910	0,0010193	6,4711	267,84	2616,4	2348,6	0,8809
65	338,15	0,25008	0,0010199	6,2042	272,02	2618,2	2346,2	0,8933
66	339,15	0,26148	0,0010205	5,9502	276,21	2619,9	2343,7	0,9057
67	340,15	0,27332	0,0010211	5,7082	280,40	2621,6	2341,2	0,9180
68	341,15	0,28561	0,0010217	5,4775	284,59	2623,3	2338,7	0,9303
69	342,15	0,29837	0,0010222	5,2576	288,78	2625,1	2336,3	0,9426
70	343,15	0,31161	0,0010228	5,0479	292,97	2626,8	2333,8	0,9548
71	344,15	0,32533	0,0010235	4,8481	297,16	2628,5	2331,3	0,9670
72	345,15	0,33957	0,0010241	4,6574	301,36	2630,2	2328,8	0,9792
73	346,15	0,35433	0,0010247	4,4753	305,55	2631,9	2326,3	0,9913
74	347,15	0,36963	0,0010253	4,3015	309,74	2633,6	2323,9	1,0034
75	348,15	0,38548	0,0010259	4,1356	313,94	2635,3	2321,4	1,0154
76	349,15	0,40190	0,0010266	3,9771	318,13	2637,0	2318,9	1,0275
77	350,15	0,41890	0,0010272	3,8257	322,33	2638,7	2316,4	1,0395
78	351,15	0,43650	0,0010279	3,6811	326,52	2640,4	2313,9	1,0514
79	352,15	0,45473	0,0010285	3,5427	330,72	2642,1	2311,4	1,0634
80	353,15	0,47359	0,0010292	3,4104	334,92	2643,8	2308,9	1,0752
81	354,15	0,49310	0,0010299	3,2839	339,11	2645,4	2306,3	1,0871
82	355,15	0,51328	0,0010305	3,1629	343,31	2647,1	2303,8	1,0990
83	356,15	0,53415	0,0010312	3,0471	347,51	2648,8	2301,3	1,1108
84	357,15	0,55572	0,0010319	2,9362	351,71	2650,4	2298,7	1,1225
85	358,15	0,57803	0,0010326	2,8300	355,92	2652,1	2296,2	1,1343
86	359,15	0,60107	0,0010333	2,7284	360,12	2653,7	2293,6	1,1460
87	360,15	0,62488	0,0010340	2,6309	364,32	2655,4	2291,1	1,1577
88	361,15	0,64947	0,0010347	2,5376	368,53	2657,0	2288,5	1,1693
89	362,15	0,67486	0,0010354	2,4482	372,73	2658,7	2286,0	1,1809
90	363,15	0,70108	0,0010361	2,3624	376,94	2660,3	2283,4	1,1925
91	364,15	0,72814	0,0010369	2,2801	381,15	2661,9	2280,7	1,2041
92	365,15	0,75607	0,0010376	2,2012	385,36	2663,5	2278,1	1,2156
93	366,15	0,78488	0,0010384	2,1256	389,57	2665,2	2275,6	1,2271
94	367,15	0,81460	0,0010391	2,0529	393,78	2666,8	2273,0	1,2386
95	368,15	0,84525	0,0010398	1,9832	397,99	2668,4	2270,4	1,2500
96	369,15	0,87685	0,0010406	1,9163	402,20	2670,0	2267,8	1,2615
97	370,15	0,90943	0,0010414	1,8520	406,42	2671,6	2265,2	1,2729
98	371,15	0,94301	0,0010421	1,7902	410,63	2673,2	2262,6	1,2842
99	372,15	0,97760	0,0010429	1,7309	414,85	2674,8	2259,9	1,2956
100	373,15	1,01325	0,0010437	1,6738	419,06	2676,3	2257,2	1,3069
101	374,15	1,04996	0,0010445	1,6190	423,28	2677,9	2254,6	1,3182
102	375,15	1,08776	0,0010453	1,5664	427,50	2679,5	2252,0	1,3294
103	376,15	1,12668	0,0010461	1,5157	431,73	2681,0	2249,3	1,3406
104	377,15	1,16675	0,0010469	1,4669	435,95	2682,6	2246,6	1,3518
105	378,15	1,20799	0,0010477	1,4200	440,17	2084,1	2243,9	1,3630



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейдлин Техническая термодинамика. Москва, Энергия, 1974.
2. Техническая термодинамика/Под ред. В.И.Крутова М. : 1981.
3. Сборник задач по технической термодинамике. /Андрианова Т.Н., Дзампов В.В.,Зубарев В.Н. М.: 2000.
4. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М.: 1984.