



Э. РАТНИК

ЛАБОРА-
ТОРНЫЕ
РАБОТЫ
ПО ТЕПЛО-
ТЕХНИКЕ

ТАЛИН • 1969

ARH



1 XI
A-18491

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра теплоэнергетики

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий сборник содержит материалы для выполнения лабораторных работ в лаборатории теплоэнергетики Таллинского политехнического института в области теплоэнергетической программы для не теплоэнергетических специальностей.

Для специальности, для которой курс теплоэнергетики является обязательным предметом, а также для студентов и аспирантов института, для которых может быть введено дополнительное число лабораторных работ, предлагается программа данного направления.

Э. Ратник

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕПЛОТЕХНИКЕ

Работа, посвященная изучению процессов теплообмена в теплообменниках, является одной из основных задач теплоэнергетики. В данной работе рассматриваются вопросы теплообмена в теплообменниках и теплообмена в теплообменниках.

Для ознакомления с основами теплоэнергетики лабораторных работ, необходимо ознакомиться с основами теплоэнергетики. В краткой форме теоретические основы даны в руководстве к работе.

Прошу руководства к лабораторным работам в области теплоэнергетики по работе с измерительными приборами, приборами и методами, необходимыми для обработки полученных результатов.

В соответствии с руководством к лабораторным работам приняты следующие меры: Таллин, 1969

Tartu Riikliku Olikooll
Rasimatukogu
241016

ARHIIVKOGU

В в е д е н и е

Настоящий сборник содержит руководства для проведения лабораторных работ в лаборатории теплотехники Таллинского политехнического института в объеме максимальной программы для не теплотехнических специальностей.

Для специальностей, для которых курс теплотехники читается в уменьшенном масштабе, а также для вечерних и заочных студентов, из сборника может быть выбрано меньшее число лабораторных работ, соответствующее профилю данной специальности.

Работы, представленные в сборнике, освещают вопросы термодинамики, теплопередачи и теплотехнических измерений, а также связаны с испытанием теплотехнического оборудования и тепловых машин, работа которых основана на ряде тепловых процессов.

Для ознакомления с теоретическими основами лабораторных работ надо прослушать соответствующий курс лекций. В краткой форме теоретические основы даны в руководствах к работам.

Кроме руководств к лабораторным работам в сборнике даны руководства по работе с измерительными приборами, таблицы и диаграммы, необходимые для обработки полученных результатов.

В составлении руководств к лабораторным работам принимали участие Х.Роорайд, А.Куль, И.Микк, Г.Саар, У.Соодла и А. Прикк.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Приступать к лабораторным работам студенты могут только после ознакомления с правилами работы в лаборатории и с правилами техники безопасности. После ознакомления с правилами техники безопасности студенты должны расписаться в журнале лаборатории.

Перед приступлением к работе студент должен ознакомиться с ее теоретическими основами, ходом работы и правилами пользования измерительной аппаратурой. Кроме того должны быть подготовлены таблицы для записи результатов измерений. Преподаватель проверяет подготовленность студента и только после этого разрешает приступить в работе.

После окончания работы черновик с нанесенными результатами представляется преподавателю. Работа считается законченной после подписания преподавателем черновика протокола.

Студент должен представить отчет о всех проделанных им лабораторных работах. Каждый отчет должен иметь стандартный титульный лист (рис. 1). Графу "Отчет представлен" заполняет руководитель.

Отчет должен содержать:

1. Список использованного оборудования и измерительных приборов вместе с их техническими данными (тип, №, диапазон измерений, класс точности).
2. Схему опытной установки.
3. Краткое описание хода работы.
4. Схему обработки опытных данных с используемыми формулами.
5. Таблицу опытных данных и результатов их обработки.

6. Графики, основанные на результатах опытов.

7. Анализ результатов работы.

Отчет пишется чернилами и в конце отчета должна быть подпись студента.

Схемы в отчете могут быть сделаны карандашом согласно правилам технического черчения.

Графики чертятся на миллиметровой бумаге в удобном масштабе. Они должны быть озаглавлены, и на их оси должны быть нанесены обозначения и единицы измерения.

Результаты наносятся на график при помощи ясно различимых точек, которые соединяются плавной кривой. Если точки рассеяны, кривая проводится через средние точки.

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХН. ИНСТИТУТ ЛАБОРАТОРИЯ ТЕПЛОТЕХНИКИ			
10	Практические работы по курсу:		Раб. №
15	Наименование работы:		40
10	Студент:	Зач.кн.:	Группа:
10	Преподаватель:	Работа произведена:	
10	Руководитель:	Отчет представлен:	
25	173		85
			5

Рис. I.

Все результаты, полученные в ходе работы, представить в системе СИ, причем в скобках показать их значения в ранее использованных системах. Система СИ употребляется в соот-

ветствии с ГОСТ 8550-61. Теплотехнические единицы представлены в приложении 5.

Работа зачитывается только в том случае, если отчет соответствует приведенным выше требованиям, отсутствуют ошибки, и студент имеет достаточные методические и теоретические знания.

Работа I. ГРАДУИРОВАНИЕ ТЕРМОПАР

I. Цель работы

Определить термическую э.д.с. данной технической термопары (U_1), зависимость ее от температуры и построить графики зависимостей

$$U_1 = f_1(t);$$
$$t_1 = f_2(t).$$

2. Приборы и средства, необходимые для проведения работы

1. Электродпечь.
2. Автотрансформатор.
3. Контрольная термопара.
4. Контролируемая термопара.
5. Потенциометры.
6. Ртутный термометр.
7. Термоэлектродные (компенсационные) и соединительные провода.
8. Таблицы термоэлектродвижущей силы.

3. Схема установки и описание принципа работы

Нормирование технической термопары производится путем сравнения термической э.д.с. контролируемой термопары с термической э.д.с. контрольной термопары на достаточно

большом промежутке температур. В качестве контрольной термопары берется платино-платинородиевая термопара (гр. III), к качеству и постоянству характеристики которой предъявляются повышенные требования. Нормируемой термопарой может быть любая техническая термопара. В данной работе используется термопара хромель-алюмель (гр. XA).

Горячие спаи нормируемой (рис. I-I) и контрольной 2 термопар установлены в канале металлического блока 4, находящегося в электропечи 3. Задача металлического блока — устранить неоднородность температурного поля по сечению печи в районе горячих спаев термопар. Отверстия для выема термопар уплотнены асбестом. Холодные спаи термопар (свободные концы) выведены в сторону от печи при помощи компенсационных проводов и клемника-термостата 5. Для измерения температуры холодного спая на клемнике установлен ртут-

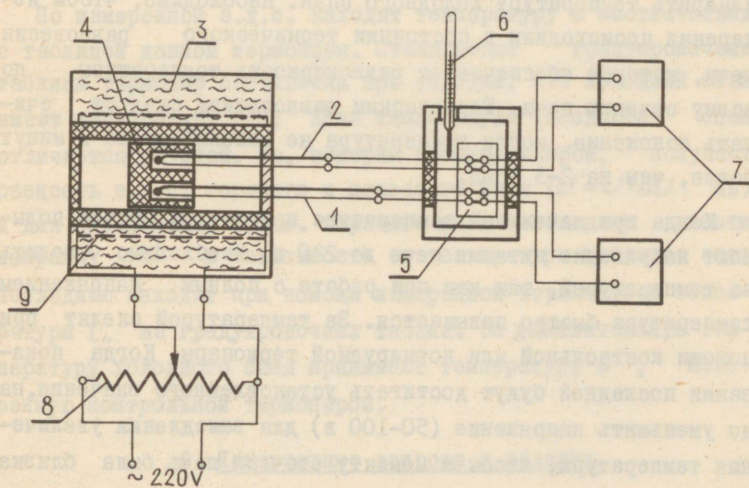


Рис. I-I.

ный термометр 6. Для измерения термической э.д.с. в цепи каждой термопары имеется потенциометр 7. Принцип действия и руководства по использованию потенциометра типа ПП приведен в приложении I.

Изменение температуры печи производится при помощи включенного в цепь нагревающей обмотки 9 автотрансформатора 8.

4. Практическое проведение работы

Так как печь предварительно включена, то полученную температуру берут за начальную (I отсчет). В дальнейшем отсчет производится по крайней мере при пяти температурах, выбирая промежуток между ними 70–100 град. Последняя температура не должна превышать разрешенную для данной печи максимальную температуру (1000°C). Количество точек измерения согласовать с руководителем. Показания обоих потенциометров отсчитывать с точностью 0,01 мв. В то же время измерять температуру холодного спая. Необходимо, чтобы измерения происходили в состоянии термического равновесия печи, которое обеспечивает равномерность температуры по всему сечению печи. Термическим равновесием следует считать положение, когда температура не изменяется за 5 минут более, чем на 2–3 град.

Когда при начальной температуре произведен отсчет, поднимают напряжение питания печи до 220 в. Необходимо следить за температурой, так как при работе с полным напряжением температура быстро повышается. За температурой следят при помощи контрольной или нормируемой термопары. Когда показания последней будут достигать установленного значения, надо уменьшить напряжение (50–100 в) для замедления увеличения температуры, чтобы к моменту отсчета печь была близка к равновесию.

5. Обработка опытных данных и оформление

Результаты измерений записывают в таблицу I-I. На основании таблицы строят зависимости $U_i = f_1(t)$ и $t_i = f_2(U_i)$.

Т а б л и ц а I-I

№ п/п	Контрольная термо- пара			Нормируемая термо- пара			Холодный спай		
	Отсчет U'	Действительная э.д.с. $U = U' + \Delta U$	Температура t	Отсчет U_i	Действитель- ная э.д.с. $U_i = U'_i + \Delta U_i$	Температура t_i	Темпе- рату- ра t_0	Поправка III	
	мВ	мВ	°С	мВ	мВ	°С	°С	мВ	мВ

По измеренной э.д.с. находят температуру в соответствии с таблицей данной термопары. Стандартные градуировочные таблицы термопар составлены при условии, что холодный спай имеет температуру 0°C . Если температура холодного спаия отличается от этой, то, измеряя потенциометром, получают разность э.д.с. горячего и холодного спаия ($U' = U + \Delta U$ мВ) и для определения э.д.с. горячего спаия необходимо ввести поправку ΔU в зависимости от температуры холодного спаия. Последнюю находят при помощи измеренной термометром температуры t_0 из градуировочных таблиц. За действительную температуру холодного спаия принимают температуру t , измеренную контрольной термопарой.

6. Контрольные вопросы и задания

I. Каким требованиям должны удовлетворять материалы термопар?

2. Ознакомьтесь с конструкцией технической термопары. Что означают сокращения, написанные на защитных гильзах?

3. Каковы преимущества и недостатки термоэлектрических пирометров?

4. Выясните порядок введения поправки на температуру холодного спая. Достаточно ли обосновано нахождение температур посредством непосредственного сложения температур (например $t = t' + t_0$)?

5. Для чего нужны компенсационные провода? Каким требованиям они должны удовлетворять? Когда можно от них отказаться?

6. Назовите некоторые стандартные и наиболее используемые нестандартные термопары?

7. Что уменьшает точность термоэлектрического пирометра?

8. Какие электрические измерительные приборы необходимо предпочитать: потенциометры или пирометрические милливольтметры?

9. Что представляет из себя термоэлектрическая батарея?

10. Зависит ли точность измерения от расстояния термопары до электрического измерительного прибора?

II. При каких температурах (приблизительно) используют термоэлектрические пирометры?

7. Литература

1. В.П. Преображенский. Теплотехнические измерения и приборы. Госэнергоиздат, Москва, 1953.

2. Проверка приборов для температурных и тепловых измерений. Москва, 1965.

Работа № 2. ТАРИРОВАНИЕ ДИАФРАГМЕННОГО РАСХОДОМЕРА

I. Цель работы

Тарировать диафрагменный расходомер. Построить тарировочные кривые $\Delta p = f_1(Q)$ и $\mathcal{L} = f_2(Re_0)$ при $m = const$.

Обозначения:

Δp - падение статического давления при прохождении жидкости через диафрагму, $\frac{H}{M^2}$,

Q - количество воды, протекающей через диафрагму за единицу времени $\frac{M^3}{сек}$,

\mathcal{L} - коэффициент формы диафрагмы,

Re_0 - число Рейнольдса,

$m = \frac{d^2}{D^2}$ - отношение квадратов диаметров диафрагмы и внутреннего сечения трубы.

2. Используемые приборы

1. Измерительная диафрагма на прямом участке трубы.
2. Измерительный бак с мерным стеклом.
3. U-образный ртутный дифманометр.
4. Секундомер.
5. Ртутный термометр.

3. Схема опытной установки и описание принципа работы

При протекании воды через диафрагму образуется сужение струи и ускорение течения (рис. 2-1). Кинетическая энергия потока возрастает, а потенциальная энергия и вместе с ней статическое давление уменьшаются. На известном расстоянии от диафрагмы скорость потока примет первоначальное значение и статическое давление частично восстановится (P_3). Вследствие гидродинамического сопротивления диафрагмы наблюдается остаточное падение давления ($P_1 - P_3$).

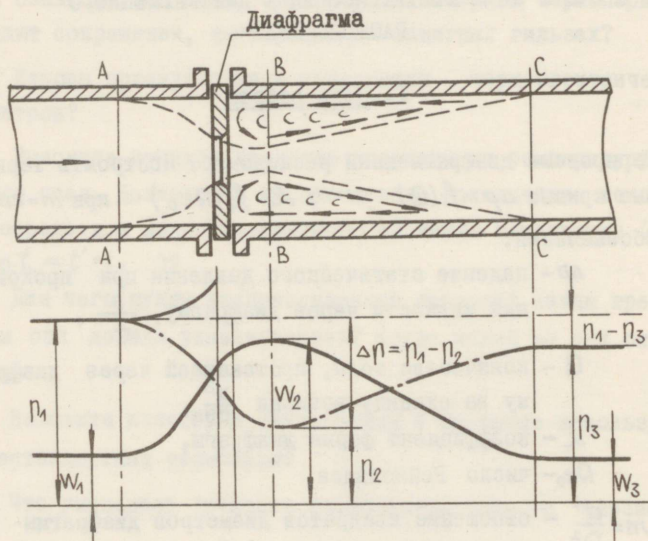


Рис. 2-1.

Статическое падение давления диафрагмы Δp зависит от количества жидкости, протекающей за единицу времени. Нахождение этой зависимости называется тарировкой диафрагмы, которая и является целью данной работы.

На трубу смонтирован снабженный круговыми камерами диафрагменный узел А, рис. 2-2. Для открытия или закрытия потока воды на той же трубе есть быстрозакрывающийся вентиль 4 и вентиль для регулировки количества воды 3. Для определения падения давления при протекании воды через диафрагму надо соединить круговые камеры ее с U-образным дифманометром 6. Для отделения дифманометра от круговых камер диафрагмы на импульсных трубах установлены краны 7. Для измерения количества воды, протекающей через диафрагму, ее направляют в измерительный бак I, который снабжен измерительным стеклом 2. Для выпуска воды на баке имеется вентиль 5.

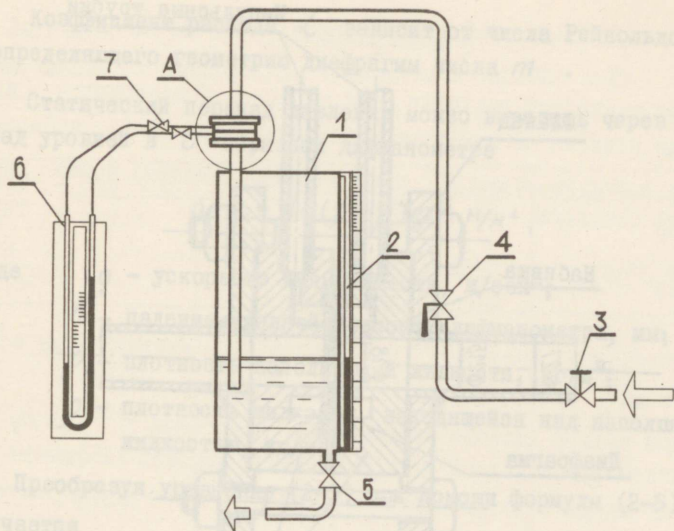


Рис. 2-2.

По уравнению Бернулли для несжимаемой жидкости ($\rho = const$)

$$\frac{\rho W_2^2}{2} - \frac{\rho W_1^2}{2} = p_1 - p_2 \quad (2-1)$$

В то же время действительно уравнение непрерывности

$$F_1 W_1 = F_2 W_2 = \mu F_0 W_2 \quad (2-2)$$

где F_1 - сечение трубы, m^2 ;
 F_0 - сечение отверстия диафрагмы, m^2 ;
 F_2 - сечение струи в самом узком месте (сечение Б-В), m^2 ;
 $\mu = \frac{F_2}{F_0}$ коэффициент сужения струи;

ρ - плотность жидкости, kg/m^3 ;
 W_1 - скорость жидкости до диафрагмы, m/sec ;
 W_2 - скорость струи в самом узком сечении, m/sec ;
 p_1 - давление непосредственно перед диафрагмой n/m^2 ;
 p_2 - давление непосредственно за диафрагмой, n/m^2 .

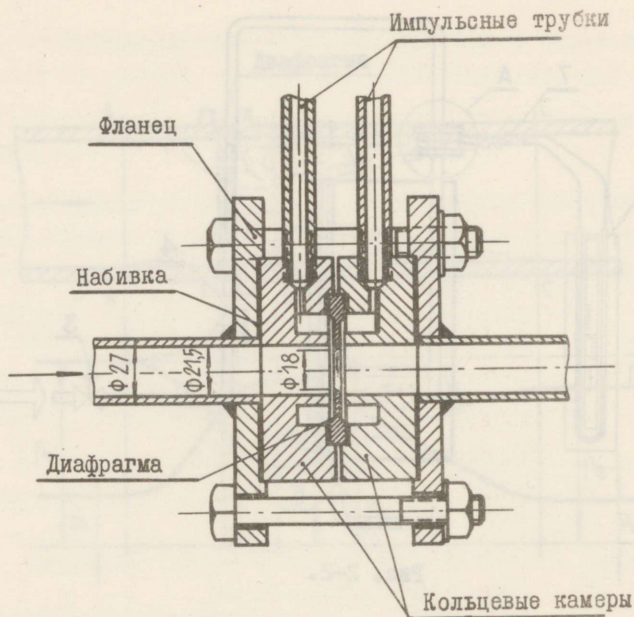


Рис. 2-3.

Из уравнения (2-1) и (2-2) получают следующую зависимость между расходом жидкости и перепадом статического давления

$$Q = \mathcal{L} F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)} \quad \text{м}^3/\text{сек}, \quad (2-3)$$

где \mathcal{L} - коэффициент расхода диафрагмы.

Коэффициент расхода диафрагмы учитывает характер сужения струи, потери энергии при течении через диафрагму и неравномерность скорости потока по сечению

$$\mathcal{L} = \frac{M \xi}{\sqrt{1 - m^2}}, \quad (2-4)$$

где ξ - коэффициент, учитывающий потери скорости,

$m = \frac{d^2}{D^2}$ - отношение сечения диафрагмы к внутреннему сечению трубы.

Коэффициент расхода α зависит от числа Рейнольдса и от определяющего геометрию диафрагмы числа m .

Статический перепад давления можно выразить через перепад уровней в U -образном дифманометре

$$\rho_1 - \rho_2 = g h (\rho_1 - \rho_2) 10^{-3} \text{ Н/м}^2, \quad (2-5)$$

где g - ускорение силы тяжести, м/сек^2 ;

h - падение уровней жидкости дифманометра, мм;

ρ_1 - плотность наполняющей жидкости, кг/м^3 ;

ρ_2 - плотность жидкости, находящейся над наполняющей жидкостью, кг/м^3 .

Преобразуя уравнение (2-3) при помощи формулы (2-5) получается

$$Q = \alpha F_0 \sqrt{2g \frac{h(\rho_1 - \rho_2)}{1000}} \quad \text{м}^3/\text{сек} \quad (2-6)$$

или
$$Q = 1,085 \cdot 10^{-7} \alpha d^2 \sqrt{2g \frac{h(\rho_1 - \rho_2)}{\rho}} \quad \text{м}^3/\text{сек}, \quad (2-7)$$

где d - диаметр отверстия диафрагмы, мм;

$$1,085 \cdot 10^{-7} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2g}{1000}} \cdot 10^{-6}$$

В данной работе коэффициент расхода рассчитывается, исходя из опытно найденных расходов жидкости и падения давления, и представлен в виде зависимости от числа

$$Re_0 = \frac{wD}{\nu} = \frac{QD}{\frac{\pi D}{4} \nu} = 1273 \frac{Q}{D\nu}, \quad (2-8)$$

где w - скорость течения жидкости в трубе, м/сек ,

D - внутренний диаметр трубы, м ;

Q - расход жидкости, $\text{м}^3/\text{сек}$,

ν - кинематическая вязкость жидкости, $\text{м}^2/\text{сек}$.

4. Ход работы

При различных расходах воды, которые регулируются при помощи вентиля 3, измеряют количество воды Q' , собирающейся в бак за время τ сек. Секундный расход через диафрагму

$$Q = \frac{Q'}{\tau} \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{сек} \quad (2-9)$$

Количество воды Q' определяют по измерительному стеклу в $дм^3$.

При каждом расходе отсчитывают показание h (мм Hg) дифманометра 6. Краны 7 на импульсных трубках открывают в начале опыта и оставляют открытыми в течение всего опыта. В конце опыта краны закрывают.

Опыт производится при десяти различных расходах. При этом с точки зрения вычерчивания кривых полезно иметь больше точек при малых расходах. Время τ выбирают примерно равным для всех опытов (это может быть временем заполнения бака при максимальном расходе).

Опыты начинают с максимального расхода. Различные расходы регулируют следующим образом. После окончания измерения для предыдущего расхода открывают выпускной вентиль 5, при этом быстрозакрывающий вентиль 4 остается открытым. Затем при помощи регулировочного вентиля 3 изменяют расход так, чтобы перепад уровней дифманометра изменился на 10–15 мм, затем закрывают вентиль 4, осушают бак и закрывают выпускной вентиль 5. Затем следует опыт при отрегулированном расходе.

При открытии быстрозапорного вентиля включают секундомер и с закрытием вентиля его выключают. Количество воды в баке отсчитывают после остановки уровня.

Величины ν , ρ , ρ' и ρ'' при атмосферном давлении в зависимости от температуры приведены в таблице 2-1.

Т а б л и ц а 2-1

Температура °C	Плотность ρ кг/м ³		Динамическая вязкость во- ды $\mu \cdot 10^6 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$	Кинематическая вязкость воды $\nu \cdot 10^6 \frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$
	ртуть	вода		
0	13595	1000	182	1,783
10	13571	1000	133	1,304
20	13546	998	102	1,000
30	13522	996	81,7	0,801
40	13497	992	66,6	0,654

Температура жидкости в дифманометре равна температуре помещения t_2 . Температура воды t_1 измеряется термометром в измерительном баке.

5. Обработка опытных данных и оформление

Данные измерений и результаты расчета собираются в таблицу 2-2. При построении зависимости $\mathcal{L} = f(Re_D)$ на ось абсцисс Re_D откладывается в логарифмическом масштабе. В случае зависимости $\Delta p = f(Q)$ на ось абсцисс откладывается Δp (н/м²), на ось ординат Q (м³/сек).

Т а б л и ц а 2-2

№	A	Q'	τ	Q	ρ	Re_D	\mathcal{L}
	мм	дм ³	сек	$\frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$	$\frac{\text{н}}{\text{м}^2}$		

$d = 18,0$ мм,
 $D = 21,5$ мм,
 $m = \frac{d^2}{D^2} = \dots\dots\dots$
 $t_1 = \dots\dots\dots$ °C
 $t_2 = \dots\dots\dots$ °C
 $\rho = \dots\dots\dots$ кг/м³
 $\rho' = \dots\dots\dots$ кг/м³
 $\rho'' = \dots\dots\dots$ кг/м³
 $\nu = \dots\dots\dots$ м²/сек

6. Контрольные вопросы и задания

1. В отчете представить схему узла диафрагмы А в разрезе.

2. Показать, как приблизительно происходит изменение статического давления по сечению трубы диафрагмы.

3. Что такое нормальная диафрагма? Каким требованиям она должна удовлетворять? Познакомьтесь с конструкцией нормальной диафрагмы по книге.

4. Как нужно соединять импульсные трубки дифманометра с диафрагмой? (Возможно ближе или дальше от диафрагмы?).

5. Каковы основные требования для постановки нормальной диафрагмы на трубу?

6. Изменяет ли длина импульсных трубок точность измерений?

7. какие условия ухудшают точность измерения расхода диафрагмы?

8. От каких величин зависит коэффициент расхода? Обоснуйте полученную зависимость $\alpha = f(Re_D)$?

9. Какие другие конструкции дросселя кроме диафрагмы используются еще для измерения расхода?

10. В какой степени используется полученная тарировочная кривая к другим жидкостям и газам, протекающим через ту же диафрагму?

11. Сравните полученную кривую α с данными в книге. Можно ли рассмотренную диафрагму считать нормальной?

12. Зачем нужно время от времени вновь тарировать находящиеся в эксплуатации диафрагмы?

7. Литература

1. В.П. Преображенский. Теплотехнические измерения и приборы. Госэнергоиздат, Москва, 1953.

2. В.П. Кремлевский. Расходомеры, Машгиз, Москва, 1963.

3. К.А. Мионов, Л.И. Шипеткин. Теплотехнические измерительные приборы, Машгиз, Москва, 1959.

Работа 3. ГАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ПОМОЩИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРА ГХП-3

1. Цель работы

Ознакомиться с газоанализаторами ГХП-3. Определить содержание RO_2 и O_2 в дымовых газах.

2. Необходимое оборудование

Газоанализатор типа ГХП-3.

Источник дымовых газов.

3. Описание схемы и принципа работы опытной установки

Работа газоанализатора типа ГХП-3 основана на выборной абсорбции разовых компонентов при помощи химических реактивов. При помощи газоанализатора ГХП-3 можно определить суммарное содержание RO_2 углекислого газа CO_2 и сернистого газа SO_2 , содержание кислорода O_2 и содержание угарного газа CO в дымовых газах.

Газоанализатор типа ГХП-3 представлен на рис. 3-1.

Измерительная бюретка I объемом 100 мл для уменьшения влияния внешней температуры окружена водяной рубашкой 6. Измерительная бюретка соединена сверху с распределительной трубкой 5, а снизу при помощи резиновой трубки с уравнивающей бутылкой 7. Последняя необходима для засасывания и выталкивания газа из измерительной бюретки и поглотительных сосудов.

В качестве наполнительной жидкости в измерительной бюретке используется 10% раствор H_2SO_4 или насыщенный раствор $NaCl$. В трех поглотительных сосудах 2, 3 и 4 находятся реактивы, абсорбирующие CO_2 , O_2 и CO . Для поглощения CO_2 используется 30–35% раствор KOH , для поглощения O_2 щелочный раствор пиросаллола и для поглощения CO аммиачный раствор Cu_2Cl_2 . Для увеличения поверхности реакции поглотительные сосуды заполнены стеклянными трубками. Распределительная трубка 5 соединяет измерительную бюретку с поглотительными сосудами при помощи кранов 8, 9 и 10. В конце распределительной трубки имеется трехходовой кран 11, при помощи которого распределительная трубка может быть соединена с пробоотборной трубкой (через фильтр 12) или с атмосферой.

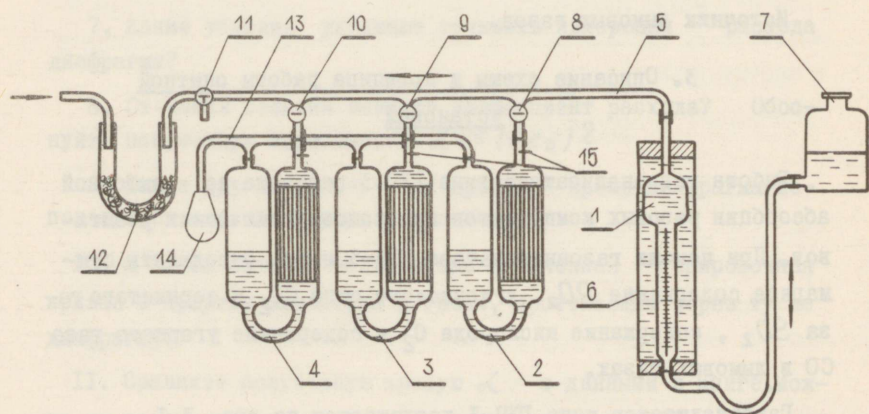


Рис. 3-1.

Внешние стороны поглотительных сосудов соединены с трубкой 13, которая имеет на свободном конце резиновый баллон. Последний необходим для предохранения от соприкосновения реактивов с воздухом.

4. Ход работы

I. Уровень реактивов в поглотительных сосудах доводится до контрольной отметки 15. Для этого поочередно открываются краны 8, 9 и 10 и при помощи осторожного понижения бутылки 7 повышается уровень реактивов. При достижении необходимого уровня кран закрывается.

Для проведения этой операции кран II надо закрыть относительно распределительной трубки (положение крана I, рис. 3-2). Категорически запрещено повышение уровня реактива до такой степени, что он попадет в распределительную трубку, т.к. это делает газоанализатор непригодным к работе!

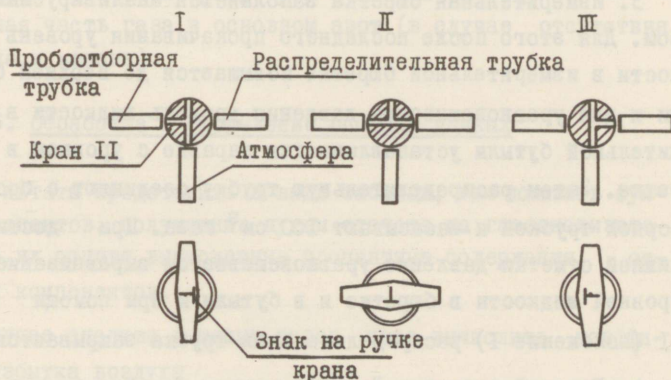


Рис. 3-2.

2. Пробоотборная трубка заполняется свежим анализируемым газом. Для этого измерительная бюретка соединяется с атмосферой (положение III). При помощи поднятия уравнивательной бутылки уровень жидкости доводится до отметки 100 см³. Затем кран II ставится в положение II, этим пробоотборная трубка

соединяется с измерительной бюреткой. При помощи опускания уравнивательной бутылки газ засасывается в бюретку. Когда уровень жидкости достигает нижней отметки, кран II ставится в положение II, причем распределительная трубка соединяется с атмосферой. Поднимая уравнительную бутылку, вытесняют газ в атмосферу. Затем распределительная трубка при помощи крана II опять соединяется с пробоотборной трубкой и в измерительную бюретку засасывается новая порция газа. Газ прокачивается таким образом до тех пор пока старый газ не будет удален полностью. Число прокачиваний зависит от объема пробоотборной трубки. Надо следить, чтобы при всасывании газа распределительная трубка не оказалась соединенной с атмосферой, так как в этом случае в измерительную бюретку будет засасываться воздух, и все предыдущие операции окажутся напрасными.

3. Измерительная бюретка заполняется анализируемым газом. Для этого после последнего прокачивания уровень жидкости в измерительной бюретке повышается до верхней отметки и для уравнивания давления уровень жидкости в уравнивательной бутылке устанавливается наравне с уровнем в бюретке. Затем распределительную трубку соединяют с пробоотборной трубкой и засасывают 100 см^3 газа. При достижении нижней отметки давление уравнивается выравниванием уровней жидкости в бюретке и в бутылке и при помощи крана II (положение I) распределительная трубка закрывается.

4. Газовый анализ. Для проведения анализа слегка поднимается уравнивательная бутылка, открывается кран 8 поглотительного сосуда 2 и газ нагнетается в поглотительный сосуд для поглощения.

Когда газ полностью вытеснен в поглотительный сосуд (жидкость в измерительном сосуде достигла верхней отметки) уравнивательная бутылка опускается. При этом надо следить,

чтобы уровень реактива в поглотительном сосуде не поднялся выше отметки I5. Эта операция повторяется 4...8 раз, затем уровень реактива доводится до отметки I5 и кран 8 закрывается. Уровни жидкости в измерительной бюретке и в уравнительной бутылки выравниваются и производится отсчет. Поскольку CO_2 и SO_2 поглотились, то уровень жидкости в измерительной бюретке не на отметке 0, а выше, отсчет даст содержание RO_2 в объемных процентах. Затем газ прокачивается еще раз через реактив и, если результат не изменится, можно считать определение окончанным.

Затем в сосуде 3 поглощается O_2 . Прокачивать следует 7-8 раз, уровень жидкости в измерительной бюретке даст сумму RO_2 и O_2 в объемных процентах.

CO поглощается в сосуде 4. После поглощения получаем в объемных процентах сумму трех компонентов $RO_2 + O_2 + CO$. Остальная часть газа в основном азот (в случае отсутствия водорода и метана).

5. Обработка и оформление опытных данных

Результаты представить в виде таблицы, где показать суммы компонентов, полученные путем отсчета на газоанализаторе и на их основе вычисленные процентные содержания отдельных компонентов.

В случае анализа дымовых газов надо вычислить коэффициент избытка воздуха

$$\lambda = \frac{2I}{2I - 79 \frac{O_2}{100 - (O_2 + RO_2)}}$$

6. Контрольные вопросы и задания

1. Зачем надо поглощать газ в описанном порядке?
2. Как изменится парциальное давление водяного пара после поглощения отдельных компонентов газовой смеси?

3. Позволяет ли данный газоанализатор провести полный газовый анализ?

4. Какие газы встречаются в дымовых газах и каково их содержание?

5. Зачем нужен в газоанализаторе фильтр?

6. Какие ошибки могут повлиять на точность измерений газоанализатором?

7. Каким условиям должна соответствовать жидкость в измерительной бюретке и уравнивательной бутылки?

7. Литература

1. В.П. Преображенский. Теплотехнические измерения и приборы. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград, 1953.

2. Б.Г. Еремина. Газовый анализ. Госхимиздат, Ленинград 1955.

3. К.А. Миронов, Л.Н. Шипетин. Теплотехнические измерительные приборы и автоматические регуляторы. Машгиз, Москва, 1956.

Работа 4. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПОМОЩИ ОПТИЧЕСКОГО ПИРОМЕТРА ОППИР-О17

1. Цель работы

Ознакомиться с принципом работы, конструкцией и применением оптического пирометра. Измерить температуру данного источника теплового излучения.

2. Необходимое оборудование

1. Оптический пирометр ОППИР-О17.

2. Источник излучения.

3. Описание схемы опытной установки и принципа работы

Работа оптического пирометра основана на том, что яркость излучающего свет тела при определенной длине волны зависит от его температуры.

Температура измеряется при помощи оптического пирометра путем сравнения яркости монохроматического излучения измеряемого тела с яркостью встроенной в пирометр нити накаливания.

Зависимость яркости этой эталонной нити накаливания от температуры установлена путем сравнения с абсолютно черным телом. Под последним подразумевается источник излучения, который имеет наивысшую принципиально возможную при данной температуре яркость. Яркость всех других физических тел всегда меньше, чем яркость абсолютно черного тела при одной и той же температуре. Поэтому при измерении температуры по монохроматической яркости невозможно получить непосредственно действительную температуру тела T , а получают т.н. температуру яркости T_s , т.е. температуру, до которой надо нагреть абсолютно-черное тело, чтобы его монохроматическая яркость была равна монохроматической яркости данного физического тела.

Закон Вина дает зависимость между интенсивностью излучения E , длиной волн λ и температурой T излучателя в рабочей области оптического пирометра

$$E_{\lambda} = C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}, \quad (4-1)$$

где C_1 и C_2 константы.

Этот закон действителен для абсолютно черного тела. Для того, чтобы определить интенсивность излучения физического тела при определенной длине волн, надо знать монохроматическую степень черноты ϵ_{λ} , которая является отношением

интенсивности излучения данного тела к интенсивности излучения абсолютно черного тела при длине волн λ .

Поскольку яркость излучения тела пропорциональна интенсивности излучения, то на основе закона Вина можно получить зависимость, на основе которой можно вычислить действительную температуру тела:

$$\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{c_2} \ln \frac{1}{\varepsilon \lambda} , \quad (4-2)$$

где λ - длина волны монохроматического излучения в мкм;

$= 14380$ мкм \cdot град - физическая константа.

На рис. 4-I показана оптическая и электрическая схема оптического пирометра ОППИР-017.

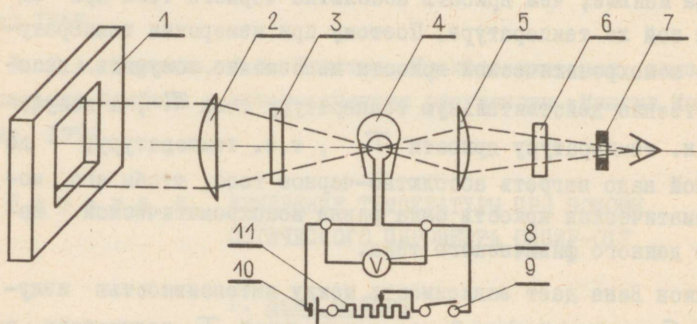


Рис. 4-I.

Оптическая схема состоит из объектива 2, ослабляющего фильтра 3, окуляра 5, диафрагмы 7 и монохроматического (красного) светофильтра 6. Последний пропускает излучение с длиной волны $\lambda = 0,66$.

Электрическая схема состоит из лампы 4, которая последовательно соединена с аккумулятором 10 и реостатом 11.

Реостат соединен с выключателем 9. В цепь пирометрической лампы включен электроизмерительный прибор 8, на котором нанесены две шкалы, которые градуированы в $^{\circ}\text{C}$. Диапазон одной шкалы 800 ... 1200 $^{\circ}\text{C}$, другой 1200 ... 2000 $^{\circ}\text{C}$. Допустимая погрешность показания первой шкалы ± 20 град, другой - ± 50 град.

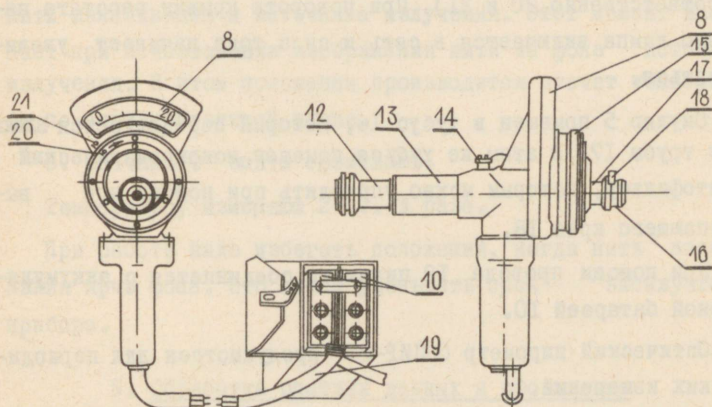


Рис. 4-2.

На рис. 4-2 представлено конструктивное оформление ОППИР-17.

Объектив 2 вставлен в тубус 12, перемещающийся вдоль трубы 13. Длина перемещения (28 мм) предусматривает острое изображение источника излучения, находящегося на расстоянии от 0,7 м до ∞ в плоскости нити накаливания.

Ослабляющий светофильтр 3 можно ввести в поле зрения объектива при помощи винта 14. Белая отметка на винте должна совпадать с соответствующей точкой на корпусе (красной или синей).

Нейтральный ослабляющий фильтр 3 ставится между объективом и пирометрической лампой при измерении температур вы-

ше 1400°C и уменьшает яркость источника настолько, что она не превышает яркости соответствующей 1400°C.

Вращающаяся крышка 15 реостата II расположена перед измерительным прибором. При крайнем левом положении реостата выключатель 9 выключен. В этом положении совпадают имеющиеся на крышке реостата и на корпусе пирометра значки "0" (соответственно 20 и 21). При повороте крышки реостата направо лампа включается в сеть и сила тока начинает увеличиваться.

Окуляр 5 помещен в тубус 16, который передвигается вдоль оси трубы 17. В этом же тубусе помещен монохроматический светофильтр, которым можно управлять при помощи его выступающего края 18.

При помощи провода 19 пирометр соединяется с аккумуляторной батареей 10.

Оптический пирометр ОИПР-О17 предусмотрен для периодических измерений.

В качестве источника излучения используется помещенный в электропечь металлический блок из стали Х18Н9. Резкость наводится на дно блока.

4. Ход работы

Температуру измеряют следующим образом:

1. Значок "0" на корпусе реостата соединяют со значком "0" на крышке.
2. Пирометр соединяют с реостатом.
3. При помощи передвижения окуляра 5 фокусируют изображение нити накала. При этом красный светофильтр удален с поля зрения.
4. Пирометр направляют на источник излучения и при помощи объектива 2 фокусируют изображение источника в плоскости нити накаливания.

5. Красный фильтр вводят в поле зрения.

6. В зависимости от величины измеряемой температуры при помощи поворота кнопки I4 поставить ослабляющий фильтр на соответствующий диапазон измерений.

7. Изменяя накал пирометрической лампы при помощи плавного поворота крышки I5 реостата II, сравниваем яркости нити накаливания и источника излучения. Этот момент наступает при исчезновении изображения нити на фоне источника излучения. В этом положении производится отсчет температуры по соответствующей шкале.

8. Значки "0" опять совмещают.

Температуру измеряют 2 ... 3 раза.

При работе надо избегать положения, когда нить накаливания ярче фона. Это может уменьшить срок эксплуатации прибора.

5. Обработка опытных данных и оформление

По данным измерений при помощи зависимости (4-2), а также с учетом данных из приведенных в приложении таблицы 4 определяется действительная температура. Для этого надо оценить значение монохроматической степени черноты источника излучения ϵ_{λ} , значения ϵ_{λ} для некоторых веществ приведены в приложении 3. Значение монохроматической степени черноты зависит в значительной степени от состояния поверхности источника излучения. Тонкий слой окиси на металлической поверхности может значительно изменить величину ϵ_{λ} . Поэтому при подборе значения ϵ_{λ} надо учитывать конкретные условия. При измерении температуры среды, находящейся в закрытом помещении (в электропечи, в топке котла и т.д.) можно взять $\epsilon_{\lambda} = 1$.

По полученным данным можно оценить пределы, где действительная температура может находиться.

6. Контрольные вопросы и задания

1. Зависит ли показание оптического пирометра от расстояния между прибором и объектом измерения ?
2. Влияет ли разряжение аккумулятора на результаты измерения?
3. Что такое монохроматическая степень черноты? От чего она зависит?
4. Какова цель ослабляющего светофильтра?
5. При каком диапазоне температур можно использовать оптический пирометр?
6. Каковы основные преимущества оптического пирометра, каковы его недостатки по сравнению с другими пирометрами?
7. Какие обстоятельства в основном ухудшают точность измерений оптическим пирометром?
8. Можно ли измерять температуру без красного фильтра?
9. Каковы основные требования, которые надо выполнять для обеспечения долгосрочной качественной работы пирометра?
10. Что такое абсолютно-черное тело? Встречаются ли они в природе?

7. Литература

1. В.П. Преображенский. Теплотехнические измерения и приборы. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград 1953.
2. К.А. Миронов, Л.И. Шепетин. Теплотехнические измерительные приборы. машгиз, Москва 1959.

Работа 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ШАРА

I. Цель работы

Определить коэффициент теплопроводности методом шара.

2. Используемое оборудование

1. Приспособление, состоящее из двух концентрических металлических сфер, для засыпки изоляционного материала.

2. Автотрансформатор со стабилизатором напряжения.

3. Термопары.

4. Переключатели термопар.

5. Потенциометр.

6. Ртутные термометры.

7. Ваттметр.

8. Градуировочная таблица термопар.

3. Измерительная схема и ход работы

Закон распространения тепла в твердых телах (закон Фурье) можно представить математически следующим образом:

$$q = -\lambda \text{ grad } t \quad \text{Вт/м}^2. \quad (5-1)$$

Иными словами, тепловой поток, переданный способом теплопроводности через единицу площади, пропорционален падению температуры. Коэффициент пропорциональности λ называется коэффициентом теплопроводности. В связи с тем, что тепло распространяется от более теплых частей тела к более холодным, т.е. в сторону отрицательного градиента температур, в выражении (5-1) стоит знак минус.

В случае правильной шарообразной стенки из однородного материала с коэффициентом теплопроводности λ , температуры внутренней и внешней поверхности которой t_1 и t_2 (причем $t_1 > t_2$) постоянны, температуры материала изменяются только по радиусу.

На основании этого закон Фурье для шарообразной стенки выглядит следующим образом:

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = -\lambda 4\pi r^2 \frac{dt}{dr} \text{ Вт.} \quad (5-2)$$

Принтегрировав это выражение и подставив граничные условия, получаем

$$Q = \frac{2\pi\lambda(t_1 - t_2)}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}} \text{ Вт.} \quad (5-3)$$

Примечание: Вследствие небольшого изменения температуры не учитывается ее влияние на λ .

Определение коэффициента λ происходит при термически стационарном режиме, т.е. когда тепловой поток, возникающий внутри шара, передается на наружную его поверхность и далее в окружающую среду при неизменном во времени температурном поле.

В этом и заключается измерение коэффициента теплопроводности методом шара.

Измерив тепловой поток через стенку шара Q , внутреннюю и внешнюю температуру ее и зная внутренний и внешний диаметры d_1 и d_2 , из выражения (5-3) можно определить коэффициент теплопроводности λ .

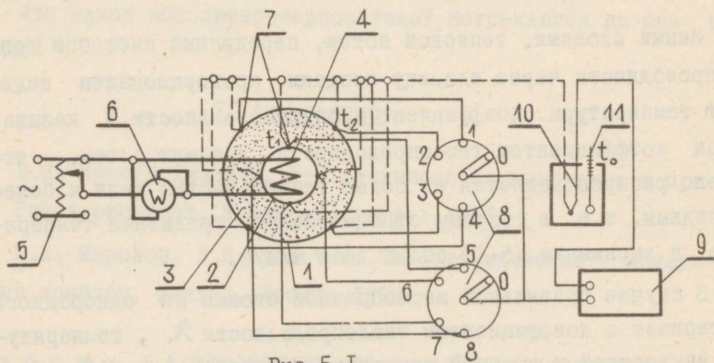


Рис. 5-1.

На рис. 5-1 представлена опытная установка, состоящая из двух концентрических медных сфер 1 и 2 диаметром 160 мм и 300 мм, промежуток между ними заполнен изоляционным мате-

риалом (битый кирпич). Во внутренней сфере расположен нагревательный элемент 4, который питается переменным током через стабилизатор напряжения; напряжение регулируется автотрансформатором 5.

Потребляемая мощность измеряется ваттметром 6. Для определения температуры наружной и внутренней поверхности сферической стенки обе сферы снабжены четырьмя медь-константановыми термопарами 7. Термопары соединены через переключатель 8 с потенциометром 9. Холодный спай термопар выведен в термостат 10, в который для измерения температуры помещен ртутный термометр 11.

4. Ход работы

В связи с тем, что для приведения установки в состояние стационарного теплового режима требуется 10-15 часов, она включается заранее.

При достижении стационарного режима производит следующие измерения:

- а) э.д.с. термопар и температура холодного спая;
- б) мощность нагревательного элемента;
- в) температура окружающей среды.

Измерения производятся 5-6 раз с промежутком 10 минут. За основу расчета берутся средние значения.

Температуры поверхностей определяются из градуировочных таблиц (прил. 8) на основе термических э.д.с. термопар. Поскольку непосредственно можно измерить только разность э.д.с. горячего и холодного спаев термопар, то для нахождения температуры горячего спая надо к этой разности прибавить э.д.с. холодного спая, найденную из таблиц по температуре холодного спая.

Принцип действия и инструкция по использованию потенциометра III приведены в приложении I.

5. Обработка опытных данных и оформление работы

Тепловой поток через сферическую стенку получают непосредственно из мощности нагревателя P

$$Q = P \text{ Вт.} \quad (5-4)$$

Коэффициент теплопроводности вычисляется по формуле:

$$\lambda = \frac{Q \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)}{2\pi l (t_1 - t_2)} \text{ Вт/м}\cdot\text{град}, \quad (5-5)$$

где Q – тепловой поток через сферу Вт;
 t_1 – температура внутренней поверхности $^{\circ}\text{C}$;
 t_2 – температура наружной поверхности $^{\circ}\text{C}$;
 d_1 – диаметр внутренней сферической поверхности м;
 d_2 – диаметр наружной сферической поверхности м.

6. Контрольные вопросы и задания

1. Какова величина возможностей ошибки при определении λ ?
2. Чем вызваны возможные расхождения результатов опыта с литературными данными?
3. Исходя из каких предпосылок найдено и предложено в руководстве выражение для теплового потока?
4. Используя данные опыта, определить коэффициент теплоотдачи от шара к воздуху, исходя из выражения

$$\alpha = \frac{Q}{H(t_2 - t_6)} \text{ Вт/м}^2\text{град}, \quad (5-6)$$

где H – наружная поверхность шара м^2 ,
 t_6 – температура окружающего воздуха $^{\circ}\text{C}$.

Найденную величину коэффициента теплоотдачи сравнить с литературными данными. Найти причины расхождения.

5. Что такое коэффициент теплопроводности?

6. От чего зависит величина коэффициента теплопроводности λ ?

7. Литература

1. М.А. Михеев. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград 1956.

2. С.С. Кутателадзе и В.М. Боританский. Справочник по теплопередаче. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград, 1959.

3. В.Л. Шевельков. Теплофизические характеристики изоляционных материалов. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград, 1958.

Работа 6. ИСПЫТАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

1. Цель работы

Определить основные характеристики, которые определяют работу вентилятора при постоянных оборотах ($\omega = const$);
 $N_0 = f_1(Q)$, $N_{\Sigma} = f_2(Q)$ и $\eta = f_3(Q)$, а также зависимости, характеризующие работу вентилятора с электроприводом

$$N_{эл} = f_4(Q), \quad \eta_y = f_5(Q).$$

Обозначения:

N_0 - полный напор, создаваемый вентилятором при нормальных условиях, н/м^2 ;

Q - производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{сек}$;

N_0 - мощность, потребляемая вентилятором при нормальных условиях, вт ;

η - к.п.д. вентилятора;

N_{Σ} - электрическая мощность, потребляемая электромотором, вт ;

η_y - к.п.д. вентиляционной установки.

2. Необходимое оборудование

1. Испытуемая вентиляционная установка.
2. Трубка Прандтля.
3. Штатив для трубки Прандтля.
4. Микроманометр.
5. Два U-образных манометра.
6. Комплект электроизмерительных приборов.
7. Термометр.
8. Измерительная линейка.
9. Барометр.

3. Описание измерительной схемы и принципа работы

На рис. 6-1 представлена опытная установка. Она состоит из вентилятора I с всасывающим 3 и напорным 4 патрубками и из находящегося с ним на одном валу электромотора 2.

Рабочий режим вентилятора, подающего воздух в воздухо-распределительную систему, определяет характеристика $H_b = f_b(Q)$. Изменяя последнюю, можем создавать различные условия работы вентилятора для построения характеристик работы вентилятора. В данном случае изменяется сопротивление воздушного тракта H_b при помощи заслонки 7 на напорном патрубке.

При определении производительности Q исходят из зависимости

$$Q = F W_{\text{ср}} \quad \text{м}^3/\text{сек}, \quad (6-1)$$

где $W_{\text{ср}}$ (м/сек) — средняя скорость в сечении F (м²).

Для определения скорости воздуха в сечении I-I при помощи трубки Прандтля 5 определяется динамический напор. Измерение давления до и после вентилятора производят на некотором удалении от него во избежание влияния завихрений и неравномерного распределения скоростей.

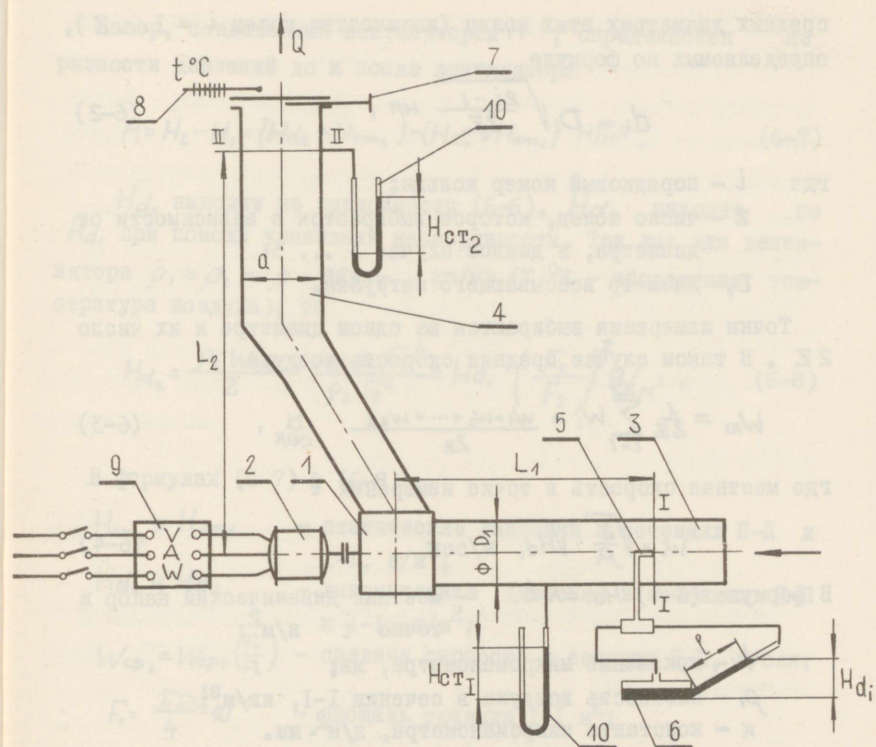


Рис. 6-1.

По тем же соображениям сечение II-II не может находиться вблизи заслонки 7.

Исходя из опытных данных, берут $L_1 \approx D$ и $L_2 \approx (4 \dots 7,5) a$.

Поскольку скорость воздуха по сечению всасывающего патрубка не одинакова, то его мысленно делят на кольца с равной площадью, для каждого кольца определяют динамический напор H_{d_i} ; по ним — скорости W_i и по последним среднюю скорость в сечении I-I $W_{ср.I}$.

На рис. 6-2 показана схема разделения сечения I-I на кольца с равной площадью. Точки измерения находятся на

средних диаметрах этих колец (число колец $i = 1 \dots Z$), определяемых по формуле

$$d_i = D_1 \sqrt{\frac{2i-1}{2Z}} \text{ мм}, \quad (6-2)$$

где i - порядковый номер кольца;

Z - число колец, которое выбирается в зависимости от диаметра, в данном случае 3 ... 5;

D_1 - диаметр всасывающего патрубка.

Точки измерения выбираются на одном диаметре и их число $2Z$. В таком случае средняя скорость воздуха

$$W_{K1} = \frac{1}{2Z} \sum_{i=1}^{2Z} W_i = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_{2Z}}{2Z} \text{ м/сек}, \quad (6-3)$$

где местная скорость в точке измерения i

$$W_i = \sqrt{\frac{2}{\rho_i}} \cdot \sqrt{H d_i} \text{ м/сек}, \quad (6-4)$$

В формуле (6-4) $H d_i = \kappa \cdot h_i$ - местный динамический напор в точке i н/м^2 ;

h_i - показание микроманометра, мм;

ρ_i - плотность воздуха в сечении I-I, кг/м^3 ;

κ - константа микроманометра, $\text{н/м}^2 \cdot \text{мм}$.

Подставим выражение (6-4) в выражение (6-3), тогда получим окончательную расчетную формулу

$$W_{K1} = \frac{1}{2Z} \sqrt{\frac{2}{\rho_i}} \sum_{i=1}^{2Z} \sqrt{H d_i} =$$

$$= \sqrt{H d_i} \frac{2}{\rho_i} \text{ м/сек}, \quad (6-5)$$

где $\sqrt{H d_i} = \frac{1}{2Z} \sum_{i=1}^{2Z} \sqrt{H d_i} \text{ н}^{\frac{1}{2}}/\text{м}$.

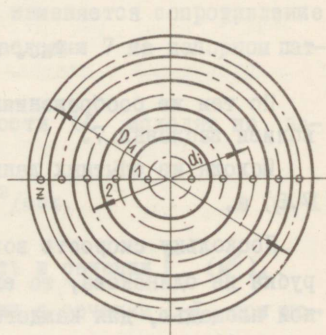


Рис. 6-2.

(6-6)

Напор, создаваемый вентилятором H , определяется из разности давлений до и после вентилятора

$$H = H_2 - H_1 = (H_{d_2} + H_{ст_2}) - (H_{d_1} + H_{ст_1}) \quad \text{н/м}^2. \quad (6-7)$$

H_{d_1} находят из зависимости (6-6), H_{d_2} находят по H_{d_1} при помощи уравнения неразрывности. Так как для вентилятора $\rho_1 \approx \rho_2 \approx \rho = 353/\tau$ кг/м³ (τ °К - абсолютная температура воздуха), то

$$H_{d_2} = \frac{\rho_2 W_{ср_2}^2}{2} = \frac{H_{d_1} \rho_1 F_1^2}{\rho_2 F_2^2} = H_{d_1} \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 \quad \text{н/м}^2. \quad (6-8)$$

В формулах (6-7) и (6-8)

$H_{ст_2}$ и $H_{ст_1}$ - статические давления в сечениях II-II и I-I, н/м²;

H_{d_2} и H_{d_1} - динамические давления в сечениях II-II и I-I, н/м²;

$W_{ср_2} = W_{ср_1} \left(\frac{F_1}{F_2} \right)$ - средняя скорость в сечении II-II, м/сек;

$F_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot 10^{-6}$ - площадь сечения I-I м²;

$F_2 = ab$ - площадь сечения II-II м².

Выражению (6-7) можно придать следующую форму:

$$H = H_{ст_2} - H_{ст_1} + \rho \frac{W_{ср_2}^2 - W_{ср_1}^2}{2} = \Delta p_{ст} + \Delta p_d \quad \text{н/м}^2. \quad (6-9)$$

В упрощенном случае, когда сопротивление всасывающего патрубка пренебрежительно мало, т.е. $H_{ст_1} + H_{d_1} \approx 0$, выражение (6-7) принимает вид

$$H \approx H_{ст_2} + \frac{\rho W_{ср_2}^2}{2} \quad \text{н/м}^2, \quad (6-10)$$

Настоящий случай близок к этому.

При определении среднего динамического напора по формуле (6-8) делается принципиальная ошибка, а именно приравнивается средняя объемная скорость W_{cp2} , которая, будучи умножена на площадь F_2 , дает расход воздуха, к средней скорости W_{t2} , которая с учетом вторичного расхода воздуха в сечении F_2 дает действительную кинетическую энергию массы воздуха. В действительности в формуле (6-8) надо было бы использовать скорость W_{t2} . Между скоростями W_{cp} и W_t существует зависимость

$$\frac{\rho W_t^2}{2} = \frac{1}{\alpha} \int_{(a)} \rho \frac{W^2}{2} d\alpha = \frac{1}{W_{cp} F} \int_{(F)} \rho \frac{W^3}{2} dF \quad \text{н/м}^2,$$

откуда следует, что

$$W_t^2 = \frac{1}{W_{cp} F} \int_{(F)} W^3 dF \quad \text{м}^2/\text{сек}^2. \quad (6-II)$$

Отсюда соотношение W_{cp} и W_t определяет закон распределения скоростей по сечению. Например, если считать поток турбулентным, то

$$W = W_{max} \left(1 - \frac{r}{r_0}\right)^{1/2} \quad \text{м/сек}$$

и

$$W_t^2 \approx 1,06 W_{cp}^2 \quad \text{м}^2/\text{сек}^2.$$

Статические давления $H_{ст1}$ и $H_{ст2}$ измеряются при помощи U-образных манометров IO, которые соединены с отверстиями, расположенными в плоскости сечений I-I и II-II. Статическое давление по всему сечению можно считать постоянным, и потому для измерения ограничиваются одним отверстием на сечении.

При использовании выражений (6-7) и (6-9) нужно принимать во внимание, что численное значение $H_{ст1}$ имеет отрицательную величину, так как во всасывающей трубе господствует разрежение.

Полный напор вентилятора приводится к нормальным условиям

$$H_0 = H \frac{\rho_0}{\rho} \quad \text{н/м}^2, \quad (6-12)$$

где ρ_0 - плотность воздуха при нормальных условиях ($p = 1013 \text{ мм рт.ст.}$ и $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$) кг/м^3 .

Мощность N_3 , потребляемая мотором вентилятора из электросети, измеряется при помощи комплекта электроизмерительных приборов 9 по принципу схемы с тремя ваттметрами, поскольку приборы комплекта можно подключить к каждой фазе в отдельности.

$$N_3 = K_{\text{Вт}} (N_A + N_B + N_C) \text{ Вт}, \quad (6-13)$$

где $K_{\text{Вт}}$ - постоянная ваттметра вт/ед. шкалы;

$N_A; N_B; N_C$ - показания ваттметра на различных фазах.

Мощность, потребляемая вентилятором, меньше N_3 на потери в электромоторе

$$N = \eta_{\text{э.м.}} N_3 \text{ Вт}. \quad (6-14)$$

Для приведения к нормальным условиям надо использовать соотношение

$$N_0 = N \frac{\rho_0}{\rho} \text{ Вт}. \quad (6-15)$$

К.п.д. электромотора $\eta_{\text{э.м.}}$ можно найти из графика 6-3 по коэффициенту мощности $\cos \varphi$. Последний определяется по формуле

$$\cos \varphi = \frac{N_3}{I_1 U_1 + I_2 U_2 + I_3 U_3}, \quad (6-16)$$

где $I_1 = k_i I_{Aa}$, $I_2 = k_i I_{Ba}$, $I_3 = k_i I_{Ca}$,

причем k_i - цена деления, а/деление;

I_A, I_B, I_C - показания амперметра на фазах А, В, С

$$\text{и } U_1 = K_u U_{AB}, \quad U_2 = K_u U_{BC}, \quad U_3 = K_u U_{CA},$$

причем K_u — константа вольтметра в/дел. шкалы.

U_A, U_B, U_C — показания вольтметра на фазах А, В, С.

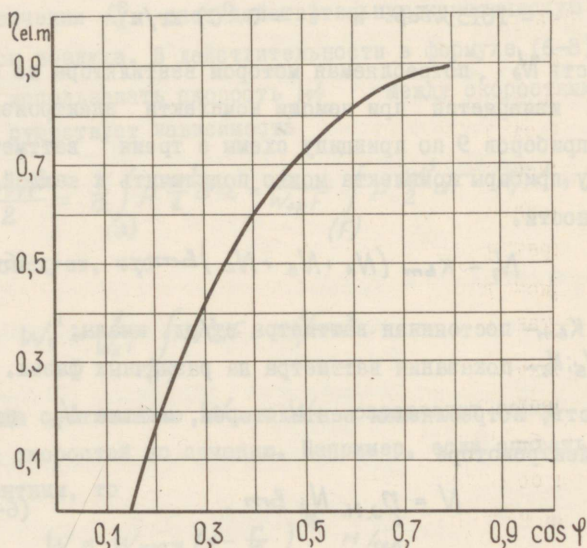


Рис. 6-3.

Если окажется, что $I_1 U_1 = I_2 U_2 = I_3 U_3$, то

$$\cos \varphi = \frac{N_3}{3I_1 U_1}, \quad (6-17)$$

где I — ток в одной фазе, а;

U — напряжение в фазе по отношению к нулевому проводу, в.

При помощи ранее полученных величин можно найти коэффициент полезного действия вентиляторной установки

$$\eta_y = \frac{QH}{N_3} \quad (6-18)$$

и к.п.д. вентилятора

$$\eta = \frac{QH}{N} = \frac{QH_0}{N_0}. \quad (6-19)$$

4. Ход работы

Различные режимы работы вентилятора получают путем изменения положения заслонки 7 (рис. 6-1). Выбирают пять положений: закрытая заслонка, заслонка открыта на 1/4, 2/4, 3/4 и полностью открыта. Для каждого положения заслонки измеряется динамический напор во всех выбранных точках сечения I-I, статическое давление во всасывающей и нагнетательной трубе, температура воздуха термометром 8 и параметры электромотора (мощность, сила тока, напряжение). Во время опыта замеряется также барометрическое давление.

Динамический напор измеряется при помощи трубки Прандтля, которая укреплена на штативе. Точки измерения выбираются по схеме (рис. 6-2). Для измерения динамического давления трубка Прандтля соединена с микроманометром 6 типа ММН, принцип действия которого описан в приложении 2.

Так как динамический напор во времени не постоянен, приходится в каждой точке производить до 4 отсчетов, по которым определяют среднее значение. Отсчеты динамического напора заносят в таблицу 6-1, которую составляют для каждого режима отдельно. Динамический напор измеряют независимо от других измерений на данном режиме.

Остальные величины измеряются на каждом режиме один раз и заносятся в таблицу 6-2.

Во время измерений не надо стоять перед всасывающей или выпускной трубой.

5. Обработка и оформление опытных данных

Величины, характеризующие работу вентилятора на каждом режиме, рассчитываются по схеме, приведенной в разделе 3. Полученные результаты заносят в таблицу 6-2. По данным этой таблицы вычерчиваются характеристики работы вентилятора.

6. Контрольные вопросы

1. Каким образом можно изменить характеристику вентилятора $H = f_1(Q)$?

2. Назвать примеры, когда для нахождения H можно пользоваться упрощенной формулой (6,7), опуская некоторые члены.

3. Что представляет собой характеристика распределительной сети $H_в = f_в(Q)$? Как она влияет на рабочую точку вентилятора?

4. Объяснить, выбран ли мотор установки правильно или нет?

5. Объясните принцип действия трубки Прандтля.

6. Наблюдается ли асимметрия поля скоростей на всасывающей стороне вентилятора?

7. Повлияет ли передвижение измерительного отверстия ближе к вентилятору на величину $H_{ст}$, и как? Как изменится $H_{ст2}$ при передвижении отверстия вдоль выходной трубы?

8. Какие данные необходимы, чтобы правильно выбрать вентилятор и мотор к нему?

9. Какие ошибки могут быть при испытании вентилятора по данной методике? Какие из них самые значительные? Как повысить точность испытаний?

10. Как можно непосредственно измерить полное давление в какой-нибудь точке сечения всасывающей трубы?

II. Влияет ли длина соединительных трубок между трубкой Прандтля и микроманометром на точность измерения динамического напора?

7. Литература

1. А.Н. Пиротюк. Вентиляторы и дымососы. Госэнергоиздат, Москва 1957.
2. С.А. Рысин. Справочник по вентиляторам, 1955.
3. Б. Экк. Проектирование и испытание центробежных и осевых вентиляторов, 1963.

Т а б л и ц а 6-1

Определение средней скорости W_{cp} , при режиме № ...

Заслонка открыта на

$$K = \dots\dots\dots \text{H/м}^2 \cdot \text{мм}$$

$$t = \dots\dots\dots \text{}^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = \dots\dots\dots \text{кг/м}^3$$

Точки измерения	I	2	3	...	2z-1	2z
Отсчет микроманометра (мин)	I					
	2					
	3					
(т.д.)						
сумма						
среднее						
$kh_i, \text{H/м}^2$						
$\sqrt{kh_i} = \sqrt{Hd_i} \text{H}^{1/2}/\text{H}$						
$\sum_{i=1}^{2z} \sqrt{Hd_i} \text{H}^{1/2}/\text{H}$						

$$W_{cp} = \frac{1}{2z} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sum_{i=1}^{2z} \sqrt{Hd_i} = \dots\dots \text{ м/сек}$$

Сводная таблица опытных данных испытания
вентилятора типа

$$B = \dots \text{ мбар} ; F_1 = \dots \text{ м}^2 \quad F_2 = \dots \text{ м}^2$$

Режим №		I	2	3	4	5
Степень дросселирования	%					
$H_{ст1}$	н/м ²					
$H_{ст2}$	н/м ²					
$W_{ср1}$	м/сек					
$W_{ср2}$	м/сек					
H_{d1}	н/м ²					
H_{d2}	н/м ²					
Q	м ³ /сек					
H	н/м ²					
t	°C					
ρ	кг/м ³					
Показания ваттметра	N_A делений					
$K_{вт} = \dots$	N_B делений					
вт/дел. шкалы	N_C делений					
$N_A + N_B + N_C$	делений					
N_{Σ}	вт					

Режим №			I	2	3	4	5
Показания амперметра	I_1	а					
$K_i = \dots$	I_2	а					
а/дел. шкалы	I_3	а					
Показания вольтметра	U_1	в					
$K_u = \dots$	U_2	в					
в/дел. шкалы	U_3	в					
$\cos \varphi$		-					
$\rho_{э.н.}$		-					
N		вт					
ρ_y		-					
ρ		-					
H_0		н/м ²					
N_0		бт					

Работа 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И ТЕПЛОТДАЧИ РАДИАТОРА ЦЕНТРАЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ

I. Цель работы

Определить коэффициент теплопередачи от пара к воздуху радиатора центрального отопления K и коэффициент теплоотдачи от поверхности радиатора к воздуху α .

2. Используемое оборудование

- I. Радиатор центрального отопления.
2. Сосуды.
3. Весы.
4. Манометр.
5. Термопары.
6. Секундомер.
7. Потенциометр.
8. Ртутные термометры.
9. Барометр.
10. Градуировочная таблица термопар.
11. Таблицы термодинамических свойств водяного пара.

3. Схема и принцип действия опытной установки

Теплообмен между паром и наружным воздухом через радиатор — комплексный процесс, состоящий одновременно из процесса передачи тепла при помощи теплопроводности, конвекции и теплового излучения.

Численной характеристикой процесса теплопередачи является коэффициент теплопередачи K .

Кроме условий теплопроводности и теплоотдачи коэффициент K зависит также и от формы разделяющей поверхности.

Сегменты радиатора можно считать близкими к плоской стенке, в случае чего коэффициент теплопередачи выражается в виде

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{вт/м}^2 \cdot \text{град}, \quad (7-1)$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от пара к поверхности радиатора вт/м²град;

δ - толщина стенки радиатора;

λ - коэффициент теплопроводности материала стенки радиатора вт/м · град;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от поверхности радиатора к воздуху вт/м²град.

В радиаторе происходит конденсация пара и передача выделившегося тепла (скрытая теплота парообразования) на стенки радиатора. Этот процесс теплоотдачи происходит очень интенсивно - $\alpha_1 \approx 7000$ вт/м²град. Через стенки тепло передается путем теплопроводности ($\lambda \approx 60$ вт/м · град, $\delta = 5$ мм).

От поверхности радиатора тепло передается окружающей среде путем конвективного и лучевого теплообмена. Коэффициент α_2 характеризует этот суммарный процесс. Вследствие сравнительно высокой температуры поверхности радиатора, лучистый обмен составляет значительную часть всей теплоотдачи. Конвективный теплообмен осуществляется путем свободной конвекции, т.е. при помощи свободного движения воздуха вдоль поверхности радиатора $\alpha_2 \approx 10 - 12$ вт/м²град.

Схема установки представлена на рис. 7-1.

Радиатор центрального отопления I соединен с лабораторным паропроводом низкого давления. Для регулировки давления кроме впускного вентиля 9 служит водяной манометр 3. К поверхности радиатора прикреплено пять медь-константановых

термопар 5 так, что их среднее показание должно характеризовать среднюю температуру поверхности радиатора. Конденсат отводится при помощи трубки, находящейся в нижней точке радиатора. Для измерения температуры конденсата в трубку помещена термопара 10. Все термопары через переключатель II соединены с потенциометром 4. Холодный спай термопар помещен в термостат 7, где находится ртутный термометр 6 для измерения температуры холодного спая.

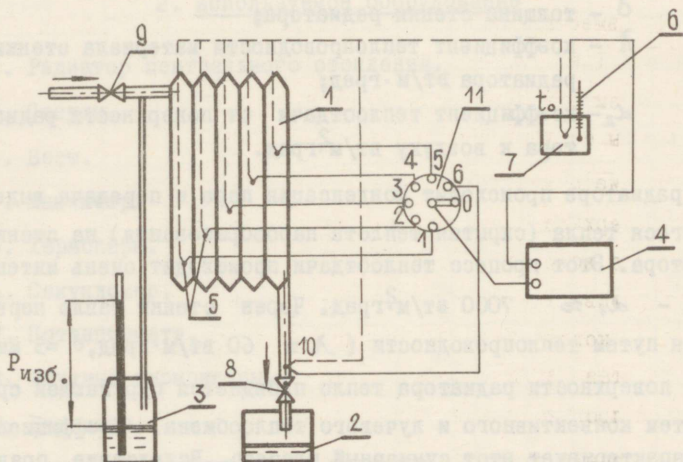


Рис. 7-1.

4. Ход работы

Для приведения установки в рабочее состояние сосуд 2 кладется под отводную трубку, открывается конденсатный кран 8 и паровой вентиль 9. При помощи вентилей 9 регулируют давление пара в радиаторе таким образом, чтобы уровень воды в манометре 3 находился на отметке, приблизительно на высоте

I м. На этом уровне поддерживают давление в течение всего опыта.

Когда из конденсатной трубки начнет выходить пар, при помощи крана 8 устанавливают уровень конденсата в трубке до красной метки. При помощи потенциометра 4 надо следить за температурой поверхности. Принцип действия и инструкция пользования потенциометром III приведены в приложении I. Когда температура станет постоянной, радиатор достиг теплового равновесия и можно начинать измерения.

Перед измерениями наливают в другой пустой сосуд приблизительно I кг холодной воды и взвешивают сосуд вместе с водой. Затем заменяют первоначальный сосуд взвешенным. Момент замены сосудов считают началом опыта.

В течение опыта через каждые 5 минут измеряется температура поверхности радиатора, температура конденсата и температура воздуха. После окончания опыта удаляется и опять взвешивается сосуд. Разность весов сосуда до и после опыта даст количество сконденсировавшегося пара. Холодная вода, залитая перед опытом, нужна для того, чтобы конденсировался прорывающийся иногда из радиатора пар.

Начало опыта точно фиксируется. Продолжительность опыта 30-40 мин.

Результаты измерений заносятся в таблицу 7-I.

Т а б л и ц а 7-I

время мин	температура поверхности радиатора					Температура конденсата	Температура холодного спая	температура окружающего воздуха		
	I	2	3	4	5			I	2	3
	мв	мв	мв	мв	мв	мв	°C	°C	°C	°C

5. Оформление и обработка опытных данных

Сводные данные опыта представляются следующим образом.

Продолжительность опыта $\tau = \dots \dots \dots$ сек.
 Масса сосуда с конденсатом в конце = $\dots \dots$ кг.
 " " в начале = $\dots \dots$ кг.

 Масса конденсата $Q = \dots \dots$ кг.
 Давление воздуха $B = \dots \dots \dots$ мбар = $\dots \dots \dots$ Мн/м².
 Избыточное давление пара P изб. = $\dots \dots \dots$ мм Н₂O = $\dots \dots \dots$ Мн/м².

 Абсолютное давление пара P абс. = $\dots \dots \dots$ Мн/м²

Степень сухости пара = $X = 0,90$ (взято по опыту).
 Средняя температура конденсата $t_{\text{ср}} = \dots \dots \dots$ °С.
 Средняя температура наружной поверхности
 радиатора $t_{\text{нр}} = \dots \dots \dots$ °С.
 Средняя температура воздуха $t_{\text{в}} = \dots \dots \dots$ °С.
 Площадь поверхности радиатора $F = 1,15 \text{ м}^2$.

Температуры находят при помощи градуировочных таблиц медь-константановых термопар (прил. 8), учитывая поправку на температуру холодного спая (см. работы I и 5).

При термически стационарном режиме все тепло Q , освободившееся при конденсации пара, передается внешней среде. В этом случае коэффициент теплопередачи можно подсчитать по формуле

$$K = \frac{Q}{F(t_{\text{н}} - t_{\text{в}})} \text{ вт/м}^2 \cdot \text{град}, \quad (7-2)$$

и коэффициент теплоотдачи по формуле

$$\alpha_2 = \frac{Q}{F(t_{\text{н}} - t_{\text{в}})} \text{ вт/м}^2 \cdot \text{град}. \quad (7-3)$$

Температура пара $t_{\text{н}}$ находится из таблиц насыщенного пара по p абс.

Количество передаваемого тепла Q находится по формуле

$$Q = \frac{G}{\tau} [xr + (t_n - t_k)C] \cdot 10^3 = \quad (7-4)$$

$$= \frac{G}{\tau} [i'' - (1-x)r - i_k] \cdot 10^3 \text{ Вт,}$$

где r - теплота парообразования кдж/кг;
 i'' - энтальпия сухого насыщенного пара кдж/кг;
 i_k - энтальпия конденсата кдж/кг;
 $C = 4,18$ кдж/кг град - удельная теплоемкость воды
 r, i'' и i_k - находят из таблиц водяного пара (прил. 6) по давлению p абс.

6. Контрольные вопросы и задания

1. Назвать определения коэффициентов теплопередачи K и теплоотдачи α .
2. От чего зависит коэффициент теплопередачи K ?
3. Что влияет на коэффициент теплоотдачи α ?
4. Как можно увеличить коэффициент теплопередачи радиатора?
5. Что такое термическое сопротивление радиатора и из каких частей оно состоит?
6. Какая часть термического сопротивления самая большая и какая самая маленькая?
7. Какие обстоятельства могут повлиять на точность проведенных результатов?

7. Литература

1. М.А. Михеев. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград 1956 г.
2. М.П. Вукалович. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Изд. "Энергия", 1965 г.

Работа 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛО- ПРОВОДНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОВОДА

I. Цель работы

Определить потерю тепла через изоляцию трубы при помощи измерителя теплового потока Шмидта и вычислить на основе этого коэффициент теплопроводности изоляции трубопровода λ .

2. Используемое оборудование

1. Паропровод, покрытый изоляцией.
2. Водяной манометр.
3. Термопары.
4. Измеритель теплового потока Шмидта.
5. Переключатель термопар.
6. Потенциометр.
7. Ртутный термометр.
8. Градуировочная таблица термопар.

3. Схема опытной установки и описание принципа работы

Для определения потерь тепла и для контроля коэффициента теплопроводности в условиях производства применяют прибор, называемый измерителем теплового потока Шмидта или "поясом Шмидта".

Работа этого прибора основана на принципе дополнительного слоя. Чтобы определить тепловой поток через плоскую стенку толщиной δ (рис. 8-1) и коэффициент теплопроводности материала стенки λ , на нее накладывают слой вспомогательного материала, толщиной δ_0 , коэффициент теплопроводности которого λ_0 известен. Если термическое сопротивление дополнительного слоя $\frac{\delta_0}{\lambda_0}$ мало по сравнению

с сопротивлением стенки $\frac{\delta}{\lambda}$, можно не учитывать увеличение общего сопротивления.

Измеряя температуры t_2 и t_3 или их разность Δt_0 , получают

$$q = \frac{\lambda_0}{\delta_0} (t_2 - t_3) = \frac{\lambda_0}{\delta_0} \Delta t \quad \text{вт/м}^2. \quad (8-1)$$

При установившемся тепловом режиме тот же поток тепла, который проходит через дополнительный слой, проходит и через основную стенку. Измеряя дополнительно температуры t_1 и t_2 или их разность Δt , можно определить коэффициент теплопроводности материала стенки

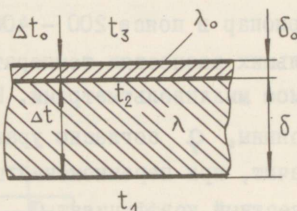


Рис. 8-1.

$$\lambda = \frac{q \delta}{(t_1 - t_2)} \quad \text{вт/м}^2 \cdot \text{град.} \quad (8-2)$$

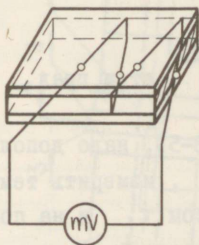


Рис. 8-2.

Вследствие наличия дополнительного слоя тепловой поток измеряется с определенной ошибкой. Ошибка зависит от соотношения термического сопротивления основной стенки с суммарным сопротивлением основной стенки с дополнительным слоем. Измеряемый тепловой поток всегда меньше действительного. Но уменьшение теплового не влияет на определение λ материала стенки по формуле (8-2). Получив коэффициент теплопроводности, можно определить действительный тепловой поток через стенку, для этого надо измерить t_1 и t_2 при установившемся режиме в случае отсутствия дополнительного слоя.

Тепловой поток

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2') \text{ вт/м}^2. \quad (8-3)$$

Прибор Шмидта изготовлен в виде резинового пояса, толщиной 6 мм, шириной 60 мм и длиной 60 см. Для измерения разности температур используются термодпары, соединенные последовательно и составляющие батарею (рис. 8-2). Число термодпар в поясе 200 - 400 штук. В таком случае и при небольших разностях температур получается напряжение, измеримое милливольтметрами. Поскольку величины λ и δ постоянны, q согласно уравнению (8-1) пропорционально Δt . Значит, при перемножении показания милливольтметра E на известный коэффициент C , получим тепловой поток q , проходящий через пояс. Коэффициент C зависит от средней температуры пояса.

В случае трубы более целесообразно определять тепловые потери на I погонный метр:

$$q_l = \pi d_{cp} q = c \pi (d_2 + \delta) E \text{ вт/м}^2 \quad (8-4)$$

и

$$\lambda = \frac{q_l \ln(d_2/d_1)}{2\pi(t_1 - t_2)} = \frac{c(d_2 + \delta) E \ln(d_2/d_1)}{2(t_1 - t_2)} \text{ вт/м град.} \quad (8-5)$$

Чтобы определить λ по формуле (8-5), надо дополнительно, кроме показания милливольтметра E , измерить температуру под слоем изоляции t_1 , под поясом t_2 и на поясе t_3 (для определения средней температуры пояса t_{cp}), а также определить диаметры этих изотермических поверхностей d_1 , d_2 и d_{cp} .

Кроме названного измеряют еще температуру на свободной поверхности изоляции t_2' . Эта температура необходима для определения действительного теплового потока через изоляцию

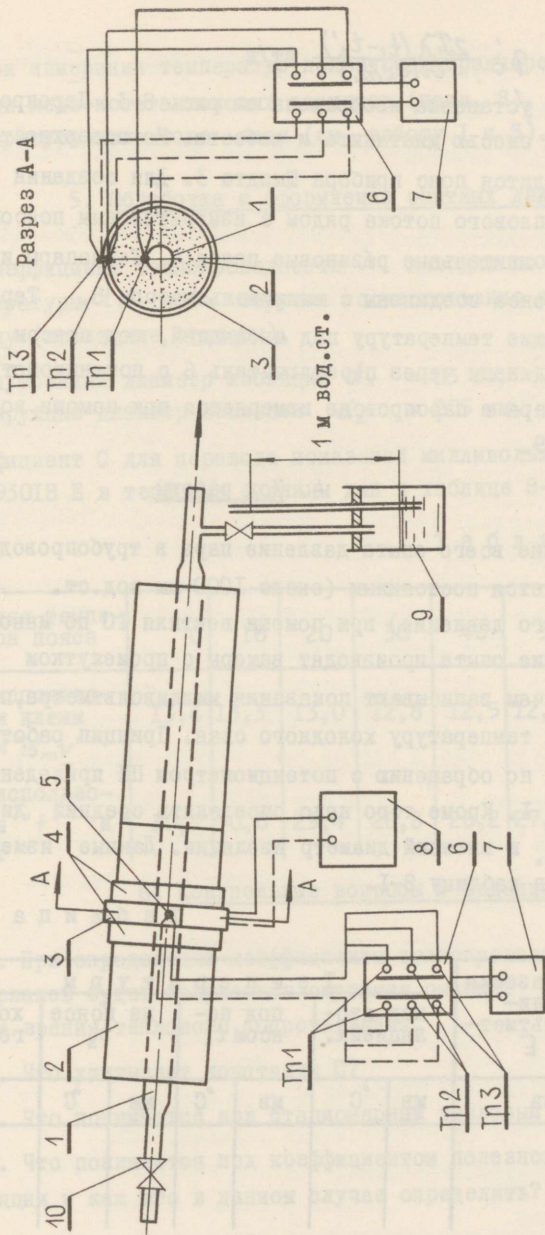


Рис. 8-3.

$$q_i = \frac{2\pi\lambda(t_1 - t_2')}{\ln(d_2/d_1)} \text{ Вт/м}$$

Опытная установка изображена на рис. 8-3. Паропровод I изолирован смесью диатанита и асбеста. На поверхности изоляции находится пояс прибора Шмидта 3. Для создания однородного теплового потока рядом с измерительным поясом наложены дополнительные резиновые пояса 4. Термопары измерительного пояса соединены с милливольтметром 8. Термопары 5, измеряющие температуру под изоляцией, под поясом и на поясе, соединены через переключатель 6 с потенциометром 7. Давление пара в паропроводе измеряется при помощи водяного манометра 9.

4. Ход работы

В течение всего опыта давление пара в трубопроводе I поддерживается постоянным (около 1000 мм вод.ст. сверх атмосферного давления) при помощи вентиля 10 по манометру 9. В течение опыта производят замеры с промежутком в 10 минут, причем записывают показания милливольтметра, потенциометра и температуру холодного спая. Принцип работы и инструкция по обращению с потенциометром III приведена в приложении I. Кроме того надо определить средний диаметр пояса $d_{\text{ср}}$ и внешний диаметр изоляции. Данные измерений заносятся в таблицу 8-1.

Т а б л и ц а 8-1

Время в мин	Показания милли- вольтмет- ра E	Т е м п е р а т у р ы						
		под изо- ляцией t_1		под по- ясом t_2		на поясе t_3		холодно- го спая
	мВ	мВ	°C	мВ	°C	мВ	°C	°C

При измерении температур пользуются градуировочными таблицами медь-константановых термопар (прил. 8), с учетом температуры холодного спая (см. работу I и 5).

5. Обработка и оформление опытных данных

Коэффициент теплопроводности λ находят по формуле 8-5. Температуры t_1 и t_2 берутся соответственно стационарному режиму (последние отсчеты).

Внутренний диаметр изоляции $d_1 = 83$ мм.

Наружный диаметр изоляции $d_2 = 205$ мм.

Коэффициент C для перевода показаний милливольтметра № II93018 E в тепловые единицы дан в таблице 8-2.

Т а б л и ц а 8-2

Средняя температура пояса	0	10	20	30	40	50	60	°C
при использовании клемм "4" и "15 мВ"	13,6	13,3	13,0	12,8	12,5	12,2	12,0	$\frac{mV}{m^2}$
при использовании "+" и "WF"	30,7	30,0	29,4	28,8	28,2	27,6	27,1	"--"

6. Контрольные вопросы и задания

1. При определении коэффициента теплопроводности каких материалов будет получаться ощутимая ошибка? Рассмотреть с точки зрения теплового сопротивления.

2. Что учитывает константа C ?

3. Что понимается под стационарным тепловым режимом?

4. Что понимается под коэффициентом полезного действия изоляции и как его в данном случае определить?

5. В какую сторону будет возникать ошибка, если не применять дополнительных поясов?

6. При каких значениях λ материал считается изоляционным?

7. Что понимается под критическим диаметром изоляции?

7. Литература

1. М.А.Михеев. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград 1956.

2. С.Н. Шорин. Теплопередача. Гос.изд.лит.по строительству и архитектуре, Москва-Ленинград 1952.

3. Б.С. Петухов. Опытное изучение процессов теплопередачи. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград 1952.

Работа 9. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОТЛА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

1. Цель работы

Ознакомиться с котлом низкого давления. Определить его тепловую мощность Q , удельную нагрузку теплообменных поверхностей K , коэффициент полезного действия η_k и количество пара, образующееся при сжигании 1 кг топлива.

2. Необходимое оборудование

1. Котел низкого давления, оснащенный аппаратурой для измерения температур, давления и расходов.

2. Газоанализатор типа ГХП-3.

3. Оптический пирометр.

4. Измерительная линейка.

5. Барометр.

6. Градуировочная таблица для термомпар.

7. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара.

3. Описание и принцип действия схемы опытной установки

Целью теплотехнических испытаний парового котла является определение теплотехнических характеристик его. Важнейшей из характеристик является определяющий экономичность котла коэффициент полезного действия η_k , который показывает, какая часть тепла, подаваемого с топливом в котел, расходует-ся с пользой на получение пара и какую часть составляют по-тери. Тепловые потери имеют место как в топке котла, так и в газоходах. Потери в топке связаны с химической и механической неполнотой сгорания топлива и с потерями тепла в окружающую среду через стенки котла. Тепловые потери в га-зовых ходах происходят за счет теплообмена между стенками котла и окружающей средой. Значительную часть всех потерь составляют потери, происходящие вследствие сравнительно вы-сокой температуры выходящих дымовых газов. При сжигании твердого топлива имеются еще потери в виде физического теп-ла удаляемых золы и шлака.

Тепловой баланс котла можно выразить следующим образом:

$$Q_H^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \text{ кдж/кг,} \quad (9-1)$$

- где Q_H^p — теплотворная способность топлива, кдж/кг;
 Q_1 — количество тепла, полезно использованное на производство пара, кдж/кг;
 Q_2 — потеря тепла с дымовыми газами, дж/кг;
 Q_3 — тепловая потеря от химической неполноты сгора-ния топлива, кдж/кг;
 Q_4 — тепловая потеря от механической неполноты сго-рания топлива, кдж/кг;
 Q_5 — потеря тепла от наружной поверхности котла в окружающую среду, кдж/кг;

Q_8 — потеря тепла с физической теплотой удаляемых из топки шлака и золы, кдж/кг;

Все эти количества тепла отнесены к 1 кг топлива.

Выражение 9-1 целесообразно выразить в относительных величинах, разделив обе стороны уравнения на Q_H^P и выразить все в процентах

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_8 \quad \% \quad (9-2)$$

При теплотехнических испытаниях котла коэффициент полезного действия определяется путем т.н. прямого и обратного баланса.

Путем прямого баланса коэффициент полезного действия η_K определяется из соотношения тепла, затраченного на производство пара и всего тепла, поданного с топливом в котел

$$\eta_K = \frac{D(i - i_2)}{B Q_H^P} \cdot 100\% \quad , \quad (9-3)$$

где D — количество пара, произведенное котлом, кг/сек;
 i — энтальпия пара, произведенного котлом, кдж/кг;
 i_2 — энтальпия питательной воды, кдж/кг;
 B — расход топлива, кг/сек.

При помощи обратного теплового баланса коэффициент полезного действия определяется следующим путем

$$\eta_K = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad \% \quad (9-4)$$

Важным теплотехническим показателем работы котла является его тепловая мощность Q_1 , т.е. количество тепла, выходящее с паром (водой) из котла

$$Q_1 = D(i - i_2) \cdot 10^3 \text{ вт.} \quad (9-5)$$

По тепловой мощности можно выбрать необходимый тип котла, а также необходимое количество котлов для определенного объекта.

В данной работе определяют также тепловую нагрузку теплообменных поверхностей котла

$$K = \frac{Q_1}{H} \text{ вт/м}^2, \quad (9-6)$$

где H — площадь теплообменных поверхностей котла и

$$Z = \frac{D}{B} \text{ кг/кг}. \quad (9-7)$$

В качестве объекта опыта взят отопительный паровой котел (рис. 9-1 и 9-2) с теплообменной поверхностью $H = 25\text{ м}^2$, давление пара которого поддерживается примерно $P = 0,2$ ати. Максимально допустимое давление пара в котле $0,7$ атм $\approx 1,73$ ата $\approx 0,17$ Мн/м². Это сварной огнетрубный трехходовой котел. В качестве топлива используется мазут, впрыскиваемый в топку форсункой 8 (рис. 9-2). Топливо подается в котел из бака 5 при помощи насоса 6 через фильтр 7. Бак наполняется из подземного топливозапасника при помощи насоса 2. Для лучшего распыления топлива оно подогревается в топливном баке 5 отходящими дымовыми газами. Непосредственно перед форсункой топливо можно подогревать также электронагревателями.

Превышению давления пара в котле выше предусмотренного уровня (0,2 ати.) препятствует гидравлическая защита (водяной замок). Из котла подают пар в топливную систему, где он конденсируется (выделяет теплоту парообразования r). Конденсат возвращается самотеком в конденсатный бак 3, откуда при помощи насоса 4 подается в котел. Питательный трубопровод имеет невозвратный клапан 20, который препятствует вытеканию воды из котла, если давление в питательном трубопроводе понизится. Для отделения котла от питательного трубопровода имеется вентиль 19.

Питательных насосов должно быть по крайней мере 2. В данном случае имеется один центробежный насос 2-Н-5, мощ-

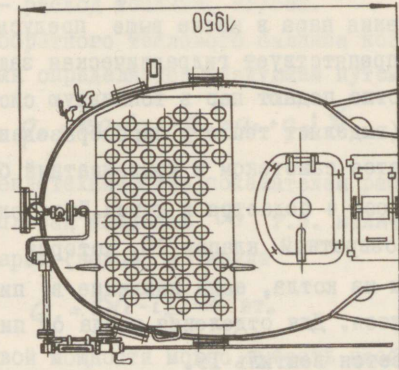
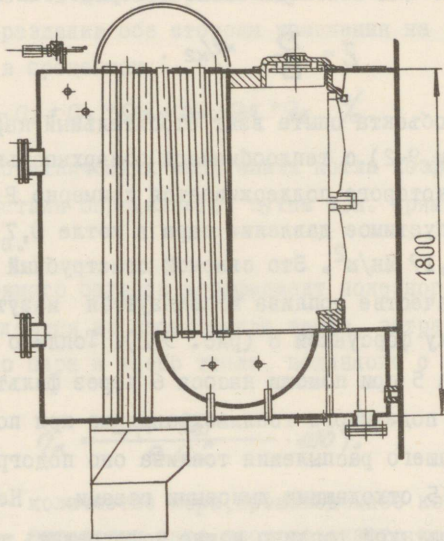


Рис.9-1.

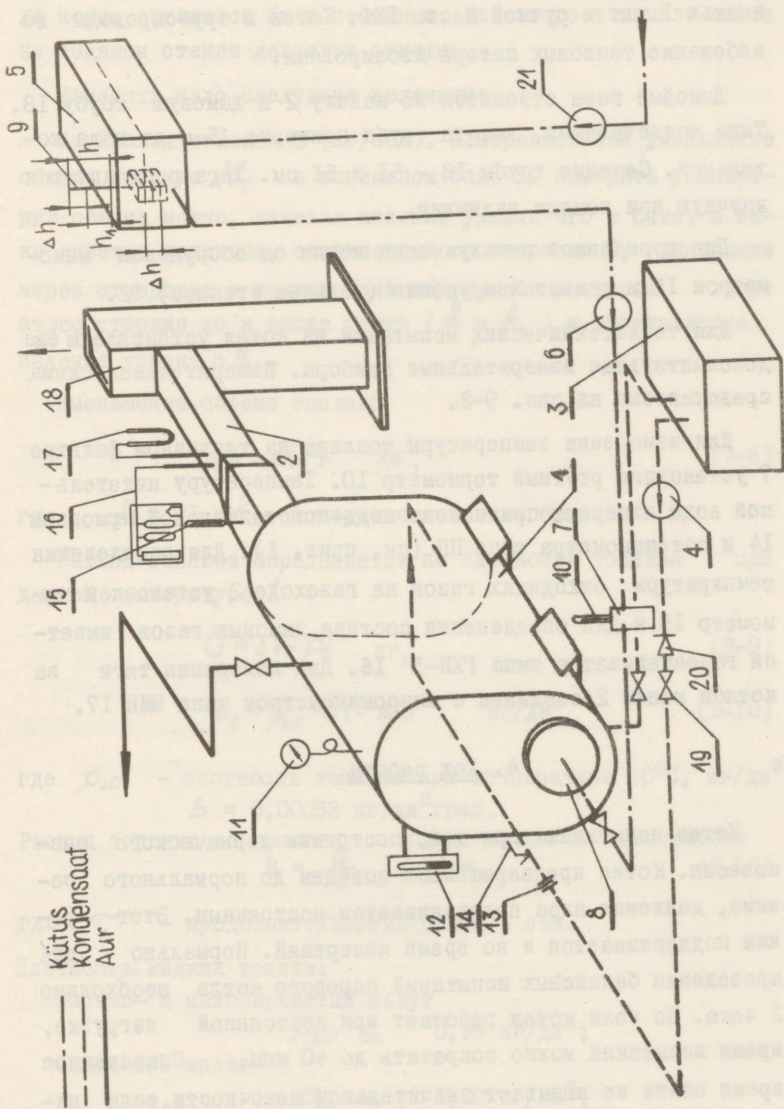


Рис. 9-2.

ностью I квт и ручной насос БКФ. Котел и трубопроводы во избежание тепловых потерь изолированы.

Дымовые газы отводятся по каналу 2 в дымовую трубу I8. Тяга естественная, высота трубы примерно 15 м от пола котельной. Сечение трубы I8 - 5I x 5I см. Тяга регулируется вручную при помощи задвижки.

Для нормальной эксплуатации котла он оборудован манометром II и указателем уровня (водяным стеклом) I2.

Для теплотехнических испытаний на котел установлены еще дополнительные измерительные приборы. Измерительная схема представлена на рис. 9-2.

Для измерения температуры топлива на топливном фильтре 7 установлен ртутный термометр IO. Температуру питательной воды измеряют при помощи медь-константановой термопары I4 и потенциометра типа ПП (см. прил. I). Для определения температуры отходящих газов на газоходе 2 установлен термометр I5 и для определения состава дымовых газов имеется газоанализатор типа ГХП-3 I6. Для измерения тяги за котлом канал 2 соединен с микроманометром типа ММН I7.

4. Ход работы

Котел испытывают при т.н. состоянии термического равновесия. Котел предварительно доведен до нормального режима, давление пара поддерживается постоянным. Этот режим поддерживается и во время измерений. Нормально для проведения балансных испытаний парового котла необходимо 2 часа. Но если котел работает при постоянной нагрузке, время испытаний можно сократить до 40 мин. Сокращенное время опыта не вызывает значительной неточности, если накопленное в котле количество тепла остается в течение всего опыта постоянным. Для этого надо тщательно следить за тем, чтобы уровень воды в котле все время от начала опыта

до конца оставался бы постоянным. Для этого в начале опыта на водяном стекле делается отметка.

Измерять надо следующие величины:

1. Расход топлива V (кг/сек). Измеряется как уменьшение объема топлива ΔV_T в топливном баке 5. Измерить уменьшение объема можно, заметив падение уровня его в баке. В баке имеется поплавок, соединенный со стержнем 9, выходящим через отверстие в крышке бака наружу. По разности высот этого стержня до и после опыта (h и h_1) и определяется падение уровня Δh .

Уменьшение объема топлива

$$\Delta V = \Delta h F_T \quad \text{дм}^3, \quad (9-8)$$

где $F_T = 71 \text{ дм}^2$ - поперечное сечение бака.

Расход топлива определяется по плотности топлива при данной температуре t :

$$G = \Delta V_T \rho_t \quad \text{кг}, \quad (9-9)$$

$$\rho_t = \rho_{20} - b(t-20) \quad \text{кг/дм}^3, \quad (9-10)$$

где ρ_{20} - плотность топлива при температуре 20°C , кг/дм³
 $b = 0,00052 \text{ кг/дм}^3 \text{ град}$.

Расход топлива во времени определяется из зависимости

$$V = \frac{G}{\tau} \quad \text{кг/сек}, \quad (9-11)$$

где τ - продолжительность опыта в сек.

Плотность жидких топлив:

высоко- и малосернистый мазут

$$\rho_{20} \leq 0,99 \text{ кг/дм}^3;$$

сланцевое масло

$$\rho_{20} = 1,00 \text{ кг/дм}^3,$$

2. Температура топлива перед форсунками $t^\circ(\text{C})$ измеряется при помощи ртутного термометра 10 в топливном фильтре 7. Показания термометра измеряют через каждые 5 минут и затем вычисляется среднее значение t .

3. Расход пара D (кг/сек). Определяется по расходу питательной воды V_b (дм³), который в свою очередь определяется по снижению уровня в расходном баке.

Поскольку питание производится периодически, то и понижение уровня замеряется периодически во время работы питательного насоса. Полный расход питательной воды за время опыта V_b будет суммой расходов во время отдельных подпиток котла. Если система не протекает и в котле поддерживается постоянный уровень воды, то масса производственного пара равна массе поданной воды G_b (кг)

$$G_b = \rho_b \cdot V_b \quad \text{кг.} \quad (9-12)$$

где ρ_b - плотность воды и соответствующая ей температура t_b , кг/дм³.

$$D = \frac{G_b}{\tau} \quad \text{кг/сек.} \quad (9-13)$$

4. Температура питательной воды t_b (°C)

Измеряется при помощи медь-константановой термопары I4, э.д.с. которой измеряется потенциометром III (см. работу I и прил. I). Температуру воды измеряют периодически только во время питания котла. По полученным данным вычисляют среднее значение t_b .

5. Давление пара P (ати). Измеряют при помощи установленного на котле манометра, показания которого снимают через каждые 5 минут и затем выводят среднее значение. Чтобы по измеренному давлению получить абсолютное давление пара $P_{\text{абс}}$ во время опыта необходимо измерить атмосферное давление V_0 (мбар).

Абсолютное давление вычисляют по формуле.

$$P_{\text{абс.}} = 10^{-4} V_0 + 0,098 \text{ р} \quad \text{Мн/м}^2. \quad (9-14)$$

6. Анализ дымовых газов. Газовый анализ проводится при помощи газоанализатора ГХП - 3, о пользовании которым написано в руководстве к работе 3.

Газоанализатор 16 соединен с газоходом 2. Газовый анализ производят непрерывно в течение всего опыта, независимо от других измерений. При помощи газового анализа вычисляют коэффициент избытка воздуха α и потерю тепла с отходящими газами. Коэффициент избытка воздуха является отношением действительного количества воздуха, подаваемого в топку котла (V_d) к количеству воздуха, необходимому для сгорания топлива (V_o)

$$\alpha = \frac{V_d}{V_o} \quad (9-15)$$

Для определения коэффициента избытка воздуха необходимо определить содержание O_2 и RO_2 в дымовых газах. При отсутствии O_2 или его малом содержании проверяют также содержание CO в дымовых газах.

По данным газового анализа коэффициент избытка воздуха вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{21}{21 - 49 \frac{RO_2}{100 - (O_2 + RO_2)}} \quad (9-16)$$

Приблизительно можно вычислить также по формуле

$$\alpha \approx \frac{(CO_2)_{max}}{RO_2} \quad (9-17)$$

где $(CO_2)_{max}$ максимально возможное для данного топлива содержание CO_2 в дымовых газах в процентах.

Для мазута $(CO_2)_{max} = 16,6\%$. По газовому анализу можно охарактеризовать сжигание топлива.

При хорошем сгорании топлива и при отсутствии дополнительного присоса воздуха в газоходах содержание CO_2 в ды-

мовых газах должно находиться в пределах 12...13%, а $CO=0$. В этом случае возрастает точность выражения 9-16.

7. Температура отходящих газов t_2 ($^{\circ}C$) измеряется при помощи термометра 15 в газоходе 2. Температуры фиксируются через каждые 5 мин, затем выводится среднее значение.

8. Температура воздуха в котельной $t_{в.к.}$ ($^{\circ}C$) измеряется через каждые 5 мин при помощи ртутного термометра, затем определяется среднее значение.

9. Тяга (разряжение) h_2 ($н/м^2$) измеряется при помощи микроманометра ММН (см. прил. 2).

10. Температура в топке t_r ($^{\circ}C$) измеряется периодически при помощи оптического пирометра ОППИР - 017 (см. работу 4).

Измерения 9 и 10 производятся для контроля работы котла.

Данные измерений заносят в таблицу 9-2.

5. Обработка и оформление опытных данных

Коэффициент полезного действия η_k определяют путем прямого баланса из выражения (9-3) и проверяют при помощи обратного баланса по формуле (9-4).

Энтальпию питательной воды i_6 получают по давлению $P_{абс}$ и температуре t_6 из таблицы, приведенной в приложении 6.

Энтальпия влажного пара, производимого котлом, вычисляется из выражения

$$i = i' + x r = i'' - (1-x) \cdot r \quad \text{кДж/кг} \quad (9-18)$$

где i' - энтальпия кипящей воды при давлении $P_{абс}$
кДж/кг;

i'' - энтальпия сухого насыщенного пара при давлении $P_{абс}$, кдж/кг;

r - скрытая теплота парообразования, кдж/кг;

$X = 0,98$ - степень сухости пара.

Параметры i' , i'' и r определяются из таблицы (прил. 6) по давлению $P_{абс}$. Если применяются таблицы, где энтальпия представлена в ккал/кг, то ее надо перевести в кдж/кг (см. прил. 5).

Данные о влажности топлива W^P , зольности его A^P и теплоте сгорания Q_H^P приведены в таблице 9-I. В той же таблице дан рабочий состав топлива.

Т а б л и ц а 9-I

Наименование топлива	Рабочий состав топлива %						Теплотворная способность кдж/кг
	W^P	A^P	S^P	C^P	H^P	N_2O^P	
мазут с малым содержанием серы	3,0	0,3	0,5	85,3	10,2	0,7	38900
сернистый мазут	3,0	0,3	2,9	83,4	10,0	0,4	38300
сланцевое масло	0,6	2,8	0,7	81,3	9,25	5,31	36000

Потеря тепла с дымовыми газами вычисляется по следующей упрощенной формуле

$$q_2 = (3,6\alpha_2 + 0,5) \frac{t_2 - t_{603}}{100} \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \% \quad (9-19)$$

При сжигании жидких топлив потеря от механической неполноты сгорания фактически отсутствует. Поэтому в данной работе можно принять $q_4 = 0$.

Потеря от химической неполноты сгорания q_3 определяется по содержанию продуктов неполного сгорания (CO , H_2 , CH_4) в дымовых газах. Поскольку при данной аппаратуре продукты неполного сгорания (кроме CO) определить трудно, то можно при-

нять по опыту, что $q_3 = 1,5\%$. Вследствие малой величины q_3 не возникает значительной ошибки от столь приближительного определения. В случае достаточного количества воздуха и при хорошем смешивании воздуха с топливом не будет значительной ошибки, если принять $q_3 = 0$.

Потеря в результате теплообмена между относительно теплой внешней поверхностью котла и более холодным наружным воздухом вычисляется по формуле

$$q_5 = \frac{\alpha \Delta t F}{B Q_H} \cdot 100\% , \quad (9-20)$$

где α — коэффициент теплопередачи от стенки котла к воздуху, $\text{вт/м}^2\text{град}$;

$F = 15 \text{ м}^2$ — внешняя поверхность котла;

$\Delta t = t_F - t_{\text{вн}}$ — разность средних температур внешней поверхности котла и воздуха, град.

Теплообмен между поверхностью котла и наружным воздухом происходит как в результате конвекции, так и в результате лучеиспускания. Поэтому коэффициент теплоотдачи в формуле (9-20)

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_r \text{ вт/м}^2\text{град} . \quad (9-21)$$

Конвективный теплообмен происходит в результате свободного движения воздуха вдоль поверхности котла. Коэффициент теплоотдачи конвекцией находится по формуле

$$\alpha_K = A_3 \sqrt{\Delta t} \text{ вт/м}^2\text{град}, \quad (9-22)$$

где $\Delta t = t_F - t_{\text{вн}}$ — разность между температурой наружной поверхности и температурой воздуха, град;

A_3 — коэффициент, зависящий от температуры пограничного слоя воздуха $t_{\text{ср}}$, $\text{вт/м}^2\text{град}^{1,33}$;

если $t_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(t_F + t_{\text{в03}})^\circ\text{C}$,
 $t_{\text{ср}} = 40^\circ\text{C}$, то $A_3 = 1,52 \text{ вт/м}^2\text{град}$ I,33;

$t_{\text{ср}} = 45^\circ\text{C}$, то $A_3 = 1,50 \text{ вт/м}^2\text{град}$ I,33;

$t_{\text{ср}} = 50^\circ\text{C}$, то $A_3 = 1,48 \text{ вт/м}^2\text{град}$ I,33.

Коэффициент теплоотдачи излучением вычисляется по формуле

$$\alpha_1 = \frac{5,6\epsilon \left[\left(\frac{T_F}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{в03}}}{100} \right)^4 \right]}{t_F - t_{\text{в03}}} \text{ вт/м}^2\text{град} \quad (9-23)$$

где $\epsilon \approx 0,80$ - степень черноты системы;

T_F - абсолютная температура наружной поверхности, $^\circ\text{K}$;

$T_{\text{в03}}$ - абсолютная температура воздуха, $^\circ\text{K}$.

Различные части наружной поверхности могут иметь различную температуру. Разделив наружную поверхность котла на несколько частей с площадью F_1, F_2 и т.д., можно измерить для каждой части ее температуру (t_{F_1}, t_{F_2} и т.д.). В таком случае средняя температура поверхности котла

$$t_F = \frac{t_{F_1} \cdot F_1 + t_{F_2} \cdot F_2 + t_{F_3} \cdot F_3 + \dots}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots} \text{ }^\circ\text{C} \quad (9-24)$$

Но описанная операция очень трудоемка. На основании опыта известно, что $t_F \approx 70^\circ\text{C}$. Довольно высокая температура поверхности обусловлена поворотной камерой газохода, находящейся на фронтальной стенке котла и высокой температурой дверцы топки. Высока также температура газохода. Остальная часть поверхности котла имеет сравнительно низкую температуру.

К.п.д. котла η_K , вычисленный по формулам (9-3) и (9-4), а также вычисленные по формулам (9-5), (9-6) и (9-7) тепловая мощность котла Q , удельная тепловая нагрузка теплообменной поверхности K и q даются в виде:

По прямому балансу $\eta_k = \dots\dots\dots$,
 По обратному балансу $\eta_k = \dots\dots\dots$,
 $Q = \dots\dots\dots$,
 $K = \dots\dots\dots$,
 $Z = \dots\dots\dots$

Работа 10. ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

1. Цель работы

Ознакомиться с испытательным стендом двигателя внутреннего сгорания. Определить внешнюю характеристику двигателя. Вычертить на основании данных опыта диаграммы внешних характеристик $N_e = f_1(\omega)$, $M_e = f_2(\omega)$, $G_k = f_3(\omega)$, $g_e = f_4(\omega)$.

Обозначения:

- ω - угловая скорость коленчатого вала двигателя, рад/сек;
- N_e - эффективная мощность двигателя, квт;
- M_e - эффективный момент вращения на валу двигателя, н·м;
- G_k - расход топлива за единицу времени, кг/сек;
- g_e - удельный расход топлива, г/квт·сек.

2. Необходимое оборудование

1. Испытуемый двигатель.
2. Гидротормоз.
3. Тахометр.
4. Весы.
5. Секундомер.
6. Термометры и термомпары.
7. Манометр.
8. Барометр.

3. Описание схемы и принципа действия опытной установки

Основной частью испытательного стенда двигателя внутреннего сгорания является тормозное устройство — электрическое или гидравлическое. При помощи этого устройства можно измерять реактивный момент вращения двигателя, который равен по величине, но противоположен по направлению моменту, создаваемому двигателем.

В качестве электрического тормоза обыкновенно используют генератор постоянного тока, так как его можно использовать в качестве стартера и он может работать в большем диапазоне скоростей вращения.

В данной работе используется гидротормоз. В гидротормозе используется трение между вращающимся телом и водой.

Испытательный стенд с гидротормозом представлен на рис. 10-1.

Гидротормоз состоит из трех основных частей: ротора, статора и маятниковых весов.

Ротор гидротормоза состоит из отдельных дисков 10, укрепленных на валу тормоза, которые находятся между дисками 11, укрепленными в статоре. Ротор опирается на два подшипника, которые вмонтированы в статор, статор в свою очередь опирается на подшипники. Мощность тормоза регулируют при помощи высоты кольцеобразного слоя воды, образующегося при вращении в тормозе. Чем толще водяное кольцо, тем больше тормозной момент. Высоту слоя воды регулируют при помощи задвижек 9.

Под действием возникаемого вращающего момента статор пытается повернуться. Это движение переносится при помощи рычагов на маятниковые весы 7.

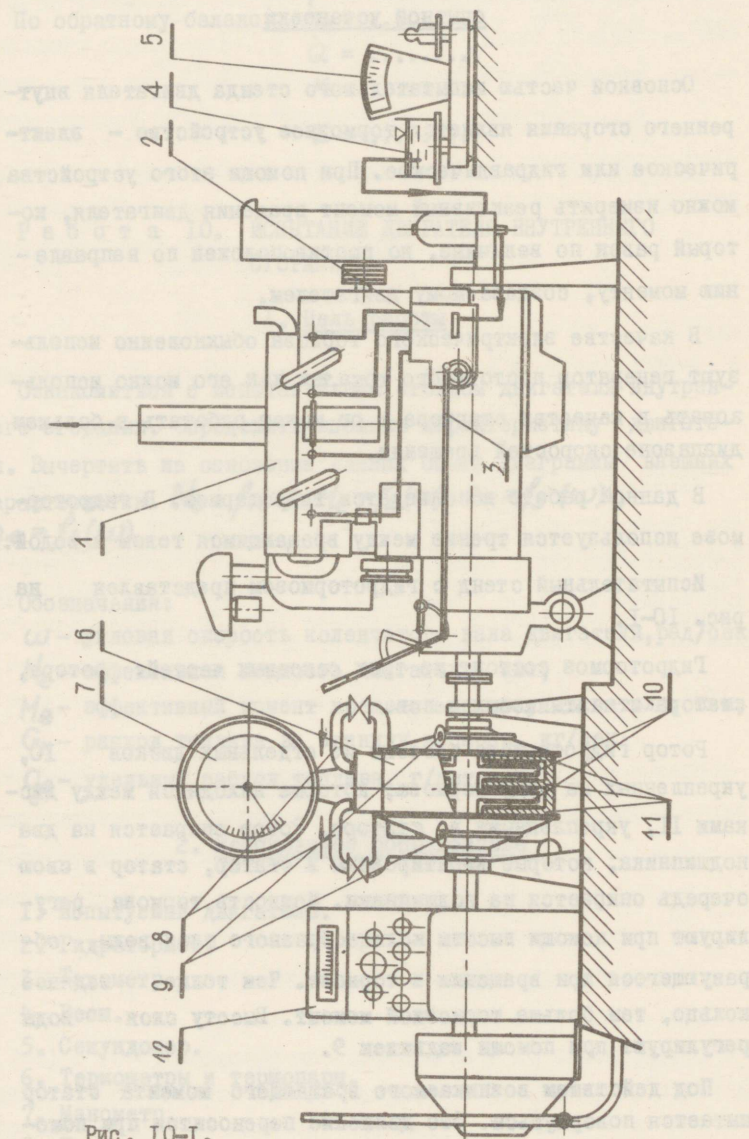


Рис. 10-1.

В качестве испытываемого двигателя I используется четырехцилиндровый тракторный дизель Д-54.

Вал мотора соединен при помощи муфты с валом гидротормоза. Приборы, необходимые для измерений, собраны на панели I2.

Обозначив длину плеча статора L и силу, действующую на весы P , момент, действующий на статор

$$M_e = 9,81 P \cdot L \quad \text{нм.} \quad (10-1)$$

Этот момент численно равен моменту вращения двигателя, т.к. в результате конструкции подшипников ротора весы учитывают также момент трения на них.

Зная момент вращения двигателя, можно получить его эффективную мощность

$$N_e = \frac{\omega M_e}{102} = \frac{2\pi n}{60 \cdot 102} \cdot P L = \frac{\pi L}{30 \cdot 102} P n = K P n \quad \text{квт,} \quad (10-2)$$

где K - константа тормоза;

ω - угловая скорость коленчатого вала, рад/сек;

n - число оборотов двигателя, об/мин;

P - показание весов, кг;

L - 0,7162 м - длина плеча статора.

$$\text{Константа тормоза } K = \frac{\pi \cdot 0,7162}{30 \cdot 102} = 0,00074 \text{ квт.мин/кг.} \quad (10-3)$$

Отсюда

$$N_e = 0,00074 P n \quad \text{квт.} \quad (10-4)$$

Внешними характеристиками двигателя называются такие характеристики, которые сняты при максимальном положении регулирующего органа.

Регулирующим органом дизеля являются топливные насосы 2, мощность регулируется путем изменения количества подаваемого в цилиндры двигателя топлива. Это можно изменить

поворотом цилиндров топливного насоса при помощи поводка 3. Передвижение поводка механически ограничено, чтобы сгорание топлива в моторе происходило без заметного образования сажи.

Характеристики, полученные таким образом, называются эксплуатационными внешними характеристиками. Они и определяются в данной работе.

Внешние характеристики показывают зависимость эффективной мощности двигателя N_e , эффективного момента вращения M_e , расхода топлива G_T и удельного расхода g_e от скорости вращения коленчатого вала.

Характеристики представляются графически

$$N_e = f_1(\omega), M_e = f_2(\omega), G_T = f_3(\omega), g_e = f_4(\omega).$$

По внешним характеристикам можно выяснить мощностные и экономические данные двигателей. Основной кривой является кривая эффективной мощности N_e , которая возрастает, начиная от минимальных оборотов двигателя до максимальной мощности $N_{e \text{ макс}}$.

Мощность мотора увеличивается за счет увеличения теплотворной способности горючей смеси в цилиндрах, т.к. количество подающегося в цилиндры топлива пропорционально скорости вращения коленчатого вала и связанного с ним вала топливного насоса. Но при известной скорости вращения коленчатого вала мощность начинает уменьшаться, доходя до нуля. Это уменьшение мощности обусловлено возрастанием потерь мощности на трение деталей в двигателе и ухудшающимися условиями сгорания при дальнейшем увеличении числа оборотов.

Важнейшими точками кривой мощностей являются точка максимальной мощности $N_{e \text{ макс}}$, соответствующая ей скорость

вращения $\omega_{N_{e \max}}$ и точки, где мощность потерь становится равной индикаторной мощности, т.е. точка пересечения кривой с осью ω .

Другой важной характеризующей кривой является кривая моментов M_e . Она имеет до известного момента восходящий характер.

Начиная с максимального момента $M_{e \max}$, вращающий момент начинает уменьшаться. Это происходит частично за счет уменьшения степени наполнения цилиндра, механических потерь и неполного сгорания топлива. Чем выше $M_{e \max}$ и чем длиннее падение кривой до оси абсцисс, тем больше способность приспособления двигателя к различным нагрузкам.

Важным показателем работы двигателя является отношение максимального момента $M_{e \max}$ к моменту при максимальной мощности $N_{e \max}$ - $M_{N_{e \max}}$. Это отношение называется коэффициентом приспособления и обозначается K :

$$K = \frac{M_{e \max}}{M_{N_{e \max}}} \quad (10-5)$$

Линия расхода топлива G_k является восходящей линией относительно всех координат. Вначале увеличение G_k больше за счет увеличения степени наполнения цилиндра.

Ход кривой удельного расхода топлива g_e определяется кривыми G_k и N_e .

Минимальный удельный расход топлива $g_{e \min}$ наблюдается перед тем, как двигатель достигает максимальной мощности $N_{e \max}$. Значит, экономичный режим работы двигателя наблюдается до достижения $N_{e \max}$ при меньшей скорости вращения $\omega_{g_{e \max}}$.

Из приведенного видно, что важнейшими показателями внешней характеристики являются: $N_{e \max}$, $M_{e \max}$, $g_{e \min}$,

$\omega_{N_{e \max}}$ и $\omega_{M_{e \max}}$.

4. Ход работы

После обогрева мотора на малых оборотах постепенно передвигают регулирующий орган до максимального положения. Затем нагружают мотор при помощи гидротормоза до минимально допустимых оборотов. Когда мотор достигнет термически стабильного режима, можно начать опыт.

Когда сделаны измерения на первом режиме, уменьшают нагрузку мотора на столько, чтобы число оборотов возросло примерно на 100 об/мин. Затем ждут наступления стабильного теплового режима и делают замеры. Так поступают при каждом новом режиме.

Опытные режимы должны быть выбраны так, чтобы некоторые точки находились за N_e макс.

При определении внешних характеристик надо фиксировать следующие данные:

1. Число оборотов в минуту n об/мин.
2. Показание маятниковых весов P кг.
3. Количество израсходованного топлива G кг.
4. Время τ сек, за которое израсходовано кг топлива.
5. Температура дымовых газов t_2 °C.
6. Температура охлаждающей воды в блоке цилиндров t_6 °C.
7. Температура масла в двигателе t_n °C.
8. Давление масла в масляной системе P кг/см².
9. Барометрическое давление B мбар.
10. Температура воздуха в помещении $t_{\text{воз}}^{\circ}\text{C}$.

Измерения производят в начале и в конце каждого режима. Барометрическое давление и температуру воздуха измеряют один раз.

Данные замеров записываются в таблицу IO-I.

Таблица 10-1

№ ре- зи- ста	Число оборо- тов двигате- ля n	Пока- зание весов P	Кол-во потреб- ляемого топлива G	Время, за которое израсхо- довано топлива τ	Темпера- тура вы- хлопных газов t_2	Давление масла в системе p	Температура масла в системе t_H	Температура охлаждающей воды t_6
	об/мин	кг	г	мин, сек	$^{\circ}C$	кг/см ²	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
I								
I								
2								

Вес израсходованного топлива определяют по весам 5. На одну чашу весов поставлен расходный бак топлива 4, на другую — гири. При помощи последних уравнивается бак с топливопроводом. Для начала выбирают гири так, чтобы стрелка весов находилась в конце шкалы. В момент, когда стрелка проходит какое-нибудь показание (например 900,800 и т.д.), включают секундомер и следят, когда израсходуется определенное количество топлива G (г). В этот момент останавливают секундомер и записывают время τ (сек).

Количество топлива G выбирают, чтобы время, за которое оно израсходуется при максимальной мощности, было по возможности меньше, чтобы при других режимах оно не было бы слишком длинным. В данном случае этим количеством может быть 500 г. Расход топлива G желательно оставить постоянным при всех режимах.

5. Обработка и оформление опытных данных

По среднему значению замеров вычисляют вращающий момент мотора M_e (н·м) по формуле (10-1) и эффективную мощность N_e (квт), а также G_k (кг/сек) и g_e (г/сек·квт)

Общий расход топлива вычисляют по формуле

$$G_k = \frac{G}{\tau} \cdot 10^{-3} \text{ кг/сек.} \quad (10-6)$$

Удельный расход топлива получают из зависимости

$$g_e = \frac{G_k}{N_e} \cdot 10^3 \text{ г/сек.квт.} \quad (10-7)$$

Чтобы можно было бы между собой сравнивать опытные данные, полученные при разных внешних условиях, их приводят к стандартным условиям, которые по ГОСТ 491-55 равны:

внешнее давление — 1013 мбар,
внешняя температура — +15.

$$N_{e0} = N_e \frac{1013}{B_0} \cdot \frac{530 + t_{\text{вз}}}{545} \quad \text{кВт,} \quad (10-8)$$

где $t_{\text{вз}}$ - средняя температура внешнего воздуха, °С;
 B_0 - барометрическое давление, приведенное к температуре 0°С, мбар.

По барометрическому давлению B , измеренному во время опыта и по температуре t_a , которую показывает термометр около барометра

$$B_0 = B - B \cdot t_a \cdot 0,000163 \quad \text{мбар.} \quad (10-9)$$

Результаты вычислений сводятся в таблицу 10-2. По желаемой таблице 10-1 и 10-2 можно объединить.

Т а б л и ц а 10-2

Скорость вращения вала двигателя	Эффективная мощность двигателя	Момент вращения двигателя	Общий расход топлива	Удельный расход топлива	Приведенная мощность
ω	N_e	M_e	G_k	g_e	N_{e0}
рад/сек	кВт	Нм	кг/сек	г/сек.кВт	кВт

По данным таблицы строят графики внешних характеристик, выбрав в качестве оси абсцисс, ось ω . Все внешние характеристики наносят на один график. Необходимо отметить точки $N_{e \text{ макс}}$, $M_{e \text{ макс}}$, $g_{e \text{ мин}}$, $\omega_{N_e \text{ макс}}$, $\omega_{M_e \text{ макс}}$.

6. Контрольные вопросы и задания

1. Что такое эффективность двигателя?
2. От чего зависит эффективная мощность?

3. От чего зависит эффективный вращающий момент двигателя?

4. Как влияют атмосферные условия на эффективную мощность двигателя?

5. Определить точность измерений (ошибку).

6. Что такое детонация и как она выявляется?

7. Описать круговой процесс дизеля.

7. Литература

1. В.И. Сороко-Новитский. Испытание автотракторных двигателей. Машгиз, Москва, 1960.

2. В.А. Ваншейдт. Дизели. Судпромгиз, 1960.

3. В.К. Бирюков. Судовые двигатели внутреннего сгорания "Речной транспорт", 1961.

Работа II. ИНДИЦИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

I. Цель работы

Ознакомиться с индикатором, снять индикаторную диаграмму двигателя, вычислить по диаграмме индикаторную мощность и механический коэффициент полезного действия двигателя.

2. Необходимое оборудование

1. Испытуемый двигатель.

2. Индикатор.

3. Тормозное устройство.

4. Тахометр.

5. Термометр.

6. Барометр.

3. Описание схемы и принципа действия опытной установки

Прибор, применяемый для измерения давления в цилиндре двигателя, называется индикатором, а процесс измерения индицированием.

Для индицирования быстроходных двигателей применяют индикаторы, работающие на разных принципах. Индикаторы делятся в основном на две группы:

1. Индикаторы, при помощи которых можно получить диаграмму измерения давления газов в течение одного рабочего цикла (индикаторную диаграмму).

2. Индикаторы, которые дают изменение давления газов в виде диаграммы, на которой представлено изменение давления во время нескольких циклов.

К числу первых относятся механические, электрические и электромагнитные, а ко вторым относятся стробоскопические и пневмоэлектрические индикаторы.

Требованием ко всем быстроходным индикаторам является, чтобы период свободных колебаний, регистрирующий давление системы, был по возможности меньше периода изменения измеряемых давлений. В противном случае индикаторная диаграмма искажается и не дает ясной картины процесса изменения давлений.

На рис. II-1 представлен индикатор с плоской пружиной и малым периодом собственных колебаний, предназначенный для снятия индикаторных диаграмм с быстроходных двигателей числом оборотов до 1500 об/мин.

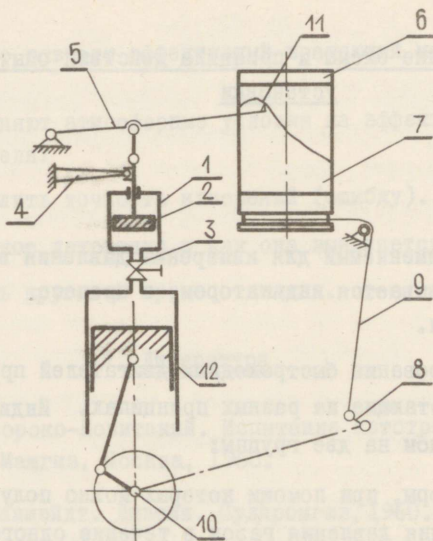


Рис. II-I.

Индикатор состоит из корпуса, на котором укреплен барабан 6. К нижней части барабана прикреплена катушка, на которую намотана шелковая нить или тонкая стальная проволока 9, которая прикреплена к имеющемуся на конце коленчатого вала двигателя эксцентрику 10. При вращении коленчатого вала барабан вращается вокруг своей оси взад и вперед. Назад барабан вращается за счет спиральной пружины. Длина пути диаграммы взад и вперед или иначе — длина индикаторной диаграммы в определенном масштабе должна соответствовать ходу поршня.

К барабану прижат укрепленный на свободном конце рычага 5 карандаш 11. Другой конец рычага при помощи шарнира соединен со штоком 2 поршня индикаторного цилиндра, ко-

торый в свою очередь поддерживается в положении, соответствующем имеющемуся в цилиндре давлению газов, при помощи пружины 4. Нижняя часть индикаторного цилиндра I соединена при помощи крана 3 с камерой сгорания цилиндра двигателя I2. В качестве индицируемого двигателя используется четырехтактный тракторный дизель Д-54, который смонтирован на испытательном стенде (см. работу IO, рис. IO-I).

Если во время работы двигателя открыть кран 3, то находящийся под давлением газ передвинет цилиндр индикатора до тех пор, пока давление газа не уравновесится пружиной 4. Каждому положению поршня индикатора соответствует определенное положение рычага индикатора с карандашом. Вследствие этого карандаш выписывает на укрепленной на барабане бумаге 7 кривую изменения давления соответственно передвижению положения поршня двигателя.

Итак, благодаря вращательному движению барабана и перпендикулярному ему движению карандаша на бумаге возникает характерная круговая диаграмма работы газов в цилиндре двигателя в координатах давление - объем (рис. II-2).

Высота у какой-нибудь произвольной точки a на линии, вычерченной карандашом, относительно линии атмосферного давления даст в масштабе пружины индикатора величину избыточного давления или разрежения при соответствующей абсциссе точки положений поршня. Линию атмосферного давления выпишет карандаш, если повернуть барабан при условии, что

обе стороны индикаторного цилиндра соединены с атмосферой. Это положение наблюдается, если кран 3 закрыт.

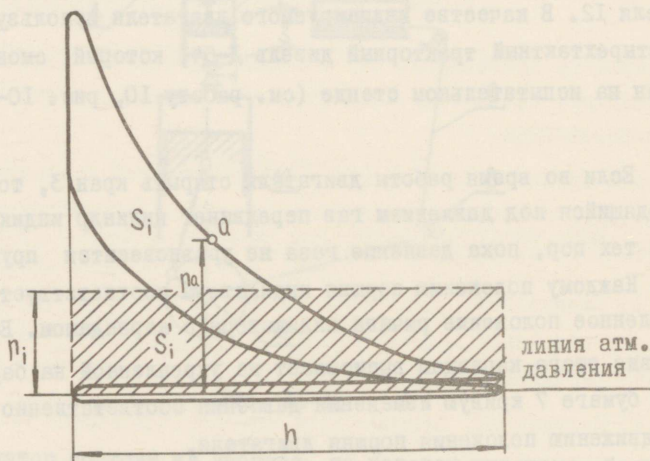


Рис. II-2.

На индикаторной диаграмме эта линия перпендикулярна оси давлений.

При индицировании выбирают желательную нагрузку и число оборотов двигателя. Когда двигатель достиг теплового равновесия, можно начинать снятие диаграммы. При индицировании надо измерять число оборотов двигателя, температуру масла и барометрическое давление.

Для того, чтобы по индикаторной диаграмме измерить индикаторную мощность, необходимо найти механическую работу,

произведенную в цилиндре двигателя за один цикл. На индикаторной диаграмме эта работа выражается в определенном масштабе положительной площадью S_i . Значит, при помощи индикаторной диаграммы, зная скорость вращения двигателя, можно получить работу, совершенную газами за 1 секунду, что и является индикаторной (внутренней) мощностью.

Для упрощения расчетов и для создания возможности сравнения различных двигателей употребляется т.н. среднее индикаторное давление.

Средним индикаторным давлением называется такое предполагаемое постоянное давление, которое за один ход поршня совершает ту же работу, что и действительное давление газов в течение всего цикла.

Для нахождения среднего индикаторного давления полезная площадь диаграммы S_i представляется в виде прямоугольника, длина которого равна длине индикаторной диаграммы (II-2). Высота этого прямоугольника в масштабе индикаторных давлений и представляет из себя среднее индикаторное давление.

4. Ход работы

Индицировать можно двигатель, находящийся в термически стационарном рабочем состоянии. Для этого двигатель заводят и прогревают, пока температура масла в картере не достигнет $70-75^{\circ}\text{C}$. Перед пуском двигателя на индицируемый цилиндр устанавливается индикатор. Затем нагружают двигатель при помощи тормозного устройства и регулируют необходимое число оборотов.

Индицирование производится следующим образом. На барабане индикатора 6 укрепляется бумага и отпускается катушка натяги троса 8. Прижав пишущий механизм II к бумаге, по-

лучаем линию атмосферного давления. При помощи крана 3 соединяем цилиндр индикатора с цилиндром двигателя и, нажав на пишущий механизм, получаем индикаторную диаграмму, затем закрепляется механизм натяги тросика и с барабана снимается бумага. На край диаграммы наносится показание гидротормоза, число оборотов коленчатого вала двигателя, барометрическое давление и температуру воздуха в помещении, зарегистрированные во время индицирования.

5. Обработка и оформление опытных данных

Площадь индикаторной диаграммы измеряется при помощи планиметра и вычисляется среднее индикаторное давление

$$p_i = \frac{S_i}{h \cdot m} \quad \text{Мн/м}^2, \quad (\text{П-1})$$

где S_i — полезная площадь индикаторной диаграммы, мм²;
 h — длина индикаторной диаграммы, мм;
 m — масштаб пружины индикатора мм/Мн/м².

Масштаб индикатора задается преподавателем.

Индикаторная мощность двигателя

$$N_i = \frac{p_i V_s n}{30 \tau} \quad \text{кВт}, \quad (\text{П-2})$$

где p_i — среднее индикаторное давление Мн/м²;
 V_s — суммарный объем двигателя, дм³;
 n — число оборотов двигателя, мин⁻¹;
 τ — число тактов двигателя (2 или 4).

Механический к.п.д.

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_i}, \quad (\text{П-3})$$

где $N_e = P_n / 1360$ - эффективная мощность двигателя по гидротормозу квт (см. работу 10);
 P - показание маятниковых весов кг.

Механическая потеря мощности

$$N_n = N_i - N_e. \quad (\text{П-4})$$

К отчету надо представить индикаторную диаграмму или ее копию.

6. Контрольные вопросы и задания

1. Что такое индикаторная мощность?
2. От чего зависит индикаторная мощность двигателя?
3. Какие ошибки могут возникнуть при индицировании двигателя?
4. Вывести формулу индикаторной мощности?
5. Как выглядит индикаторная диаграмма двухтактного двигателя?
6. Описать по индикаторной диаграмме процессы, происходящие в цилиндре двигателя.

7. Литература

1. В.И. Сороко-Новицкий. Испытание автотракторных двигателей. Машгиз, Москва, 1960.

Работа 12. СНЯТИЕ ИНДИКАТОРНОЙ ДИАГРАММЫ КОМПРЕССОРА

1. Цель работы

Ознакомиться с компрессорной установкой. Снять индикаторную диаграмму компрессора. Вычислить среднее индикаторное давление p_i , работу L_i и мощность N_i . Вычислить зна-

чения показателя политропы сжатия m на различных ее участках и по конечным ее параметрам. Навести на индикаторную диаграмму политропу, полученную по конечным точкам. Вычислить индикаторный к.п.д. компрессора η_i и относительный к.п.д. компрессорной установки η_y .

2. Необходимое оборудование

1. Компрессор с трубопроводом сжатого воздуха и резервуаром.
2. Индикатор.
3. Комплект электроизмерительных приборов.
4. Барометр.
5. Ртутный термометр.
6. Тахометр.
7. Планиметр.

3. Описание схемы и принципа действия опытной установки

Компрессорная установка (рис. I2-1) состоит из вертикального одноступенчатого компрессора. Основной частью компрессора является цилиндр I, в котором движется поршень 3. Последний при помощи шатуна соединен с коленчатым валом 5. Во избежание перегрева цилиндр окружен охлаждающей рубашкой 2, заполненной водой. В качестве двигателя используется электромотор 4. Мощность, потребляемая мотором, измеряется при помощи комплекта электроизмерительных приборов I7. Сжатый воздух из компрессора через трубопровод 7 направляется в резервуар 8. Давление воздуха поддерживается в системе при помощи защитного клапана I8. Для измерения давления имеется манометр 9.

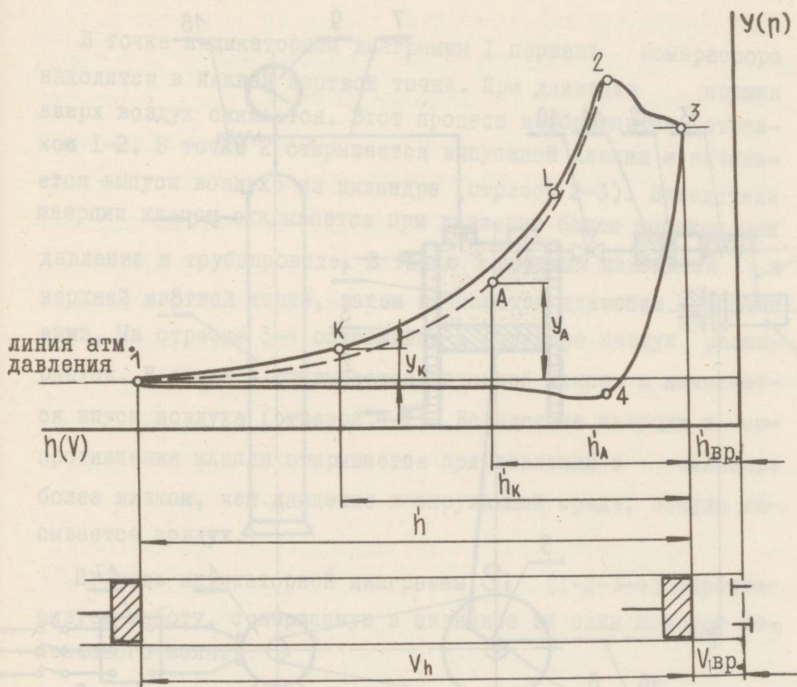


Рис. 12-1.

Для изучения процессов, происходящих в цилиндре компрессора, производится индицирование компрессора. Для этого на компрессор устанавливается индикатор (см. работа II). Принцип действия его следующий.

Цилиндр компрессора I соединен при помощи трехходового крана IO с цилиндром индикатора II, в котором движется поршень I2. Последний при помощи системы рычагов соединен с пишущим механизмом I4. Под действием давления воздуха поршень индикатора начинает двигаться и нагружает пружину I3. При падении давления пружина возвращает поршень в начальное положение. Таким образом, каждому давлению соответствует определенное положение поршня, и при изменении

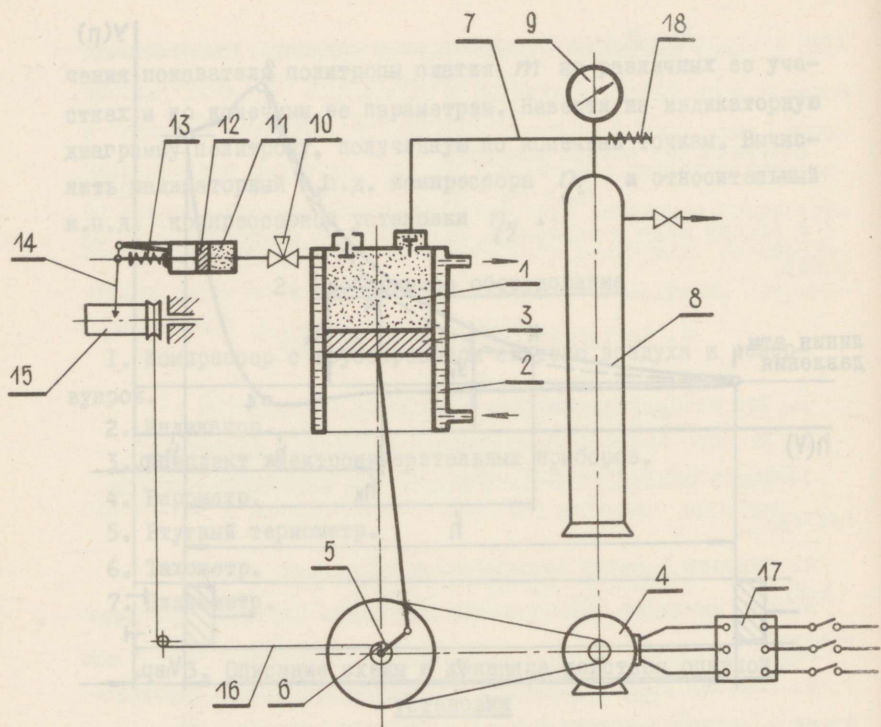


Рис. 12-2.

давления острие пишущего механизма вычерчивает на барабане 15 вертикальную линию, если барабан неподвижен. На краю барабана намотана нить 16, которая соединена с имеющимся на конце коленчатого вала компрессора эксцентриком 6. При помощи этого механизма барабан поворачивается на угол, пропорциональный ходу поршня. Барабан возвращается в исходное положение при помощи пружины, прикрепленной к его оси.

Одновременное движение поршня и барабана индикатора дает изображение процесса, происходящего в цилиндре компрессора, в координатах $p\lambda$ или pV , где p давление воздуха в цилиндре компрессора, λ ход поршня компрессора и V объем воздуха в цилиндре. Это изображение называется индикаторной диаграммой (рис. 12-2).

В точке индикаторной диаграммы I поршень компрессора находится в нижней мертвой точке. При движении поршня вверх воздух сжимается. Этот процесс изображается отрезком I-2. В точке 2 открывается выпускной клапан и начинается выпуск воздуха из цилиндра (отрезок 2-3). Вследствие инерции клапан открывается при давлении более высоком, чем давление в трубопроводе. В точке 3 поршень находится в верхней мертвой точке, затем начинается движение поршня вниз. На отрезке 3-4 оставшийся в цилиндре воздух расширяется. В точке 4 открывается впускной клапан и начинается впуск воздуха (отрезок 4-I). Вследствие инерции и сопротивления клапан открывается при давлении в цилиндре более низком, чем давление в окружающей среде, откуда всасывается воздух.

Площадь индикаторной диаграммы S_i (I-2-3-4) характеризует работу, совершаемую в цилиндре за один поворот коленчатого вала.

Сжатие воздуха в цилиндре является политропическим процессом. В начале процесса тепло передается от нагретых стенок цилиндра и поршня всасываемому холодному воздуху. Во время сжатия температура воздуха повышается, и воздух сам начинает отдавать тепло стенкам. При помощи охлаждения пытаются приостановить увеличение температуры, чтобы приблизить процесс сжатия к изотермическому, который является наилучшим с термодинамической точки зрения.

Если разделить кривую сжатия на несколько отрезков и определить для каждого из них показатель политропы m , то видно, что показатель для различных участков различный.

Для упрощения анализа работы компрессора рассматривают процесс сжатия, как политропу с постоянным показателем, который подсчитывается по начальным и конечным параметрам.

При протекании действительных процессов возникают различные потери, которые уменьшают производительность и тем самым увеличивают потребляемую мощность.

Вредный объем цилиндра увеличивает его общий объем по сравнению с образующим движением поршня объемом.

Сжатый воздух, заключенный во вредном объеме, расширяется при движении поршня вниз, уменьшая количество всасываемого воздуха. Последний уменьшается также вследствие расширения при соприкосновении с горячими стенками цилиндра, а также от смешения с горячим воздухом из вредного объема.

Кроме того, объемные потери возникают также вследствие сопротивления и неплотности впускного и выпускного клапанов.

Все потери, уменьшающие производительность компрессора, характеризуются при помощи коэффициента производительности.

Мощность, потребляемая для производства сжатого воздуха, увеличивается за счет различных энергетических потерь в компрессорной установке.

Действительный процесс сжатия в компрессоре не соответствует теоретически самому выгодному, вследствие чего необходимо затрачивать большую мощность. Потери мощности наблюдаются также вследствие трения движущихся деталей компрессора, а также в ременной передаче и в электромоторе.

Суммарные энергетические потери оцениваются при помощи относительного коэффициента полезного действия компрессора λ .

4. Ход работы

Компрессор индицируется в состоянии термического равновесия, т.е. при постоянной температуре выходящего сжатого воздуха.

На барабане индикатора 15 закрепляется бумага и движущая барабан нить 16 прикрепляется к эксцентрику 6. Для этой

операции необходимо остановить компрессор. После достижения нормального числа оборотов и постоянного давления сжатого воздуха (по манометру 9), цилиндр индикатора соединяется при помощи трехходового крана IO с атмосферой. Нажав на пишущий механизм I4, получаем на бумаге линию атмосферного давления. Затем при помощи крана IO соединяется цилиндр индикатора с цилиндром компрессора и, нажав на пишущий механизм, получаем индикаторную диаграмму. Компрессор останавливается и бумага снимается с барабана.

Во время индицирования записывается давление воздуха в резервуаре p , барометрическое давление воздуха B , температура всасываемого воздуха t_1 и потребляемая электрическая мощность N_3 . Последняя измеряется при помощи комплекта электроизмерительных инструментов I7, N_3 получается как сумма мощностей трех фаз N_A , N_B и N_C .

После индицирования нить отделяется от эксцентрика, компрессор запускается снова и при достижении постоянного давления в резервуаре 8 измеряют число оборотов вала компрессора n .

5. Обработка и оформление опытных данных

Площадь индикаторной диаграммы измеряется планиметром и по ней вычисляется среднее индикаторное давление

$$\rho_i = \frac{S_i}{k' \cdot M} \quad \text{Мн/м}^2, \quad (I2-I)$$

где S_i — площадь индикаторной диаграммы, мм²;
 k' — расстояние между крайними точками индикаторной диаграммы (рис. I2-2), мм;
 M — масштаб пружины индикатора, мм/Мн/м².

Масштаб индикатора задается преподавателем.

По среднему индикаторному давлению вычисляется индикаторная работа

$$L_i = p_i F h \cdot 10^6 \text{ дж}, \quad (I2-2)$$

где F - площадь поршня, м^2 (диаметр цилиндра $D = 130 \text{ мм}$);
 $h = 0,1 \text{ м}$ - длина хода поршня,

и индикаторная мощность

$$N_i = \frac{p_i F h n \cdot 10^6}{60} \text{ Вт}, \quad (I2-3)$$

где n - число оборотов вала компрессора I/мин.

Абсолютное давление в любой точке кривой сжатия

$$p_0 = B \cdot 10^{-4} + \frac{y}{M} \text{ МН/м}^2, \quad (I2-4)$$

где B - барометрическое давление, мбар;

y - расстояние между точкой и линией атмосферного давления, мм.

Для определения показателя политропы сжатия на каком-нибудь отрезке I-к употребляется формула

$$m_{1-k} = \frac{\lg \frac{p_k}{p_1}}{\lg \frac{V_1}{V_k}} = \frac{\lg \frac{p_k}{p_1}}{\lg \frac{h_{1,0}}{h_{k,0}}}, \quad (I2-5)$$

где p_1 и p_k - абсолютные давления в начале и в конце рассматриваемого процесса сжатия, МН/м^2 ;

$h_{1,0}$ и $h_{k,0}$ - соответствующие объемам V_1 и V_k отрезки в масштабе хода поршня, отсчитанные от начала координат, мм.

Линейный размер $h_{k,0}$, соответствующий какой-либо точке K, находят следующим образом:

$$h_{k,0} = h_{vp} + h_k = \frac{4V_{vp}}{\pi D^2} + h_k' \frac{h}{H} \text{ мм}, \quad (I2-6)$$

где $V_{vp} = 1,03 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$ - вредный объем цилиндра компрессора;

$D = 130$ мм - диаметр цилиндра;

$h = 100$ мм - ход поршня;

h' - линейный размер, соответствующий на диаграмме ходу поршня, мм;

h'_k - расстояние от точки К до верхней мертвой точки, замеренное по горизонтали на индикаторной диаграмме, мм.

При помощи формул (I2-4), (I2-5) и (I2-6) вычисляется показатель политропы для двух отрезков политропы сжатия (например I-K и K-L) и средний показатель политропы I-2. Для построения политропы со средним показателем, вычисленным по конечным точкам, задаются давлением p_a в какой-то точке А процесса; на основании зависимости (I2-5) вычисляют линейный размер $h_{a,0}$, из зависимости (I2-6) линейный размер h'_a и из зависимости (I2-4) ординату точки А y .

Индикаторный коэффициент полезного действия показывает соотношение теоретической и индикаторной мощности компрессора

$$\eta_i = \frac{N_T}{N_i} \quad (I2-7)$$

Теоретическая или изотермическая мощность компрессора - это мощность, которую потреблял бы компрессор, если бы сжатие происходило изотермически

$$N_T = p_1 V h' \ln \frac{p_2}{p_1} \cdot 10^6 \text{ Вт} \quad (I2-8)$$

Объемная производительность компрессора

$$V = \lambda h F \frac{n}{60} \text{ м}^3/\text{сек},$$

где $\lambda = 0,75$ - показатель производительности компрессора.

Массовая производительность компрессора

$$M = \frac{V}{\sigma}, \text{ кг/сек},$$

где v_1 — удельный объем всасываемого воздуха, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Коэффициент полезного действия цилиндра компрессора $\eta_{ц}$ показывает отношение теоретически необходимой для сжатия воздуха мощности к электрической мощности, потребляемой из сети электромотором, приводящим в действие компрессор

$$\eta_{ц} = \frac{N_T}{N_э} \cdot \quad (12-9)$$

Мощность измеряется по принципу трех ваттметров (см. работу 6)

$$N_э = (N_A + N_B + N_C) K_{вт} \text{ Вт}, \quad (12-10)$$

где $K_{вт}$ — константа ваттметра, $\text{Вт}/\text{деление}$;

N_A, N_B, N_C — показания ваттметра на различных фазах, делений шкалы.

К отчету представить индикаторную диаграмму или ее копию.

6. Контрольные вопросы и задания

1. Чем отличаются реальные процессы, происходящие в компрессоре, от идеальных?
2. Какие объемные потери уменьшают производительность компрессора?
3. Как учитывают при анализе работы компрессора вредный объем цилиндра?
4. Что такое политропический процесс?
5. При помощи каких к.п.д. можно вычислить относительный к.п.д. компрессора $\eta_{ц}$?
6. Назовите основные термодинамические процессы.
7. Какой процесс выгоднее всего применять при сжатии газов?

Работа 13. ИСПЫТАНИЕ ФРЕОНОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

I. Цель работы

Ознакомиться со схемой и принципом действия фреоновой холодильной установки. Произвести ее испытание и на основе полученных данных построить круговой процесс в диаграмме $T-s$ Вычислить характеристики холодильной установки: холодопроизводительность Q_0 , холодильный коэффициент ε , расход холодильного агента G_d .

2. Необходимое оборудование

1. Фреоновый холодильник.
2. Ртутные термометры.
3. Манометры.
4. Водяной расходомер.
5. Потенциометр.
6. Термопары с переключателем.
7. Барометр.
8. Секундомер.
9. Диаграмма $T-s$ для фреона.
10. Градуировочная таблица термомпар.

3. Схема и принцип действия опытной установки

В качестве опытной установки используется одноступенчатая парокompрессорная холодильная машина АК-ФВ-4.

Машина представляет из себя замкнутую систему (рис. 13-1а), в которой циркулирует постоянное количество холодильного агента. В качестве последнего используется фреон F_{12} (CF_2Cl_2).

В холодильной машине тепло переносится от более холодной среды к более теплой за счет внешней работы.

Термодинамический цикл холодильной машины в координатах $T-s$ представлен на рис. 13-1в.

В испарителе 5, находящемся в холодильной камере 6, кипит холодильный агент (испарение, процесс 5-1) при давлении p_0 и температуре t_0 , необходимое для этого тепло берется из камеры 6. Вследствие этого температура в холодильной камере понижается до температуры примерно на 10 град выше температуры насыщения фреона.

Из испарителя 5 пары фреона засасываются при давлении P_0 в компрессор 1, где они адиабатически сжимаются (процесс 1-2) до давления p_k , соответствующего температуре t_k . Во время адиабатического сжатия температура фреона значительно повышается. Из компрессора пары фреона попадают в конденсатор 2, где они охлаждаются до температуры (процесс 2-2') и затем конденсируются (процесс 2' - 3). Температура конденсации t_k определяется температурой воды t'_6 , поступающей в конденсатор ($t_k - t'_6 \approx 10$ град). В конденсаторе фреон отдает охлаждающей воде тепло, взятое из холодильной камеры, а также тепло, эквивалентное работе, затраченной в компрессоре. В теплообменнике 3 жидкий фреон охлаждается парами фреона, выходящего из испарителя до температуры t_4 , более низкой, чем температура конденсации (процесс 3-4). В клапане 4 происходит дросселирование фреона до давления p_0 , соответствующего температуре кипения t_0 (процесс 4-5), причем энтальпия фреона остается постоянной ($i_4 = i_5$). Затем следует описанный выше процесс в испарителе (5-1).

Охлаждение жидкого фреона служит цели повышения температуры холодного фреонового пара (процесс 1 - 1'),

вследствие чего в цилиндр засасывается перегретый пар. Это обеспечивает работу компрессора с сухим паром.

Основные показатели, характеризующие холодильный процесс:

1. Холодопроизводительность (на 1 кг холодильного агента)

$$q_0 = i_1 - i_5 \text{ кДж/кг.} \quad (13-1)$$

2. Количество тепла, переданного в конденсаторе

$$q_k = i_2 - i_3 \text{ кДж/кг.} \quad (13-2)$$

3. Работа компрессора при адиабатическом сжатии

$$L_T = i_2 - i_1 \text{ кДж/кг.} \quad (13-3)$$

$i_1 \dots i_5$ — энтальпии холодильного агента в соответствующих точках процесса, кДж/кг.

4. Теоретический холодильный коэффициент

$$\varepsilon_T = \frac{q_0}{L_T}. \quad (13-4)$$

5. Объемная производительность холода

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} \text{ кДж/м}^3, \quad (13-5)$$

где v_1 — удельный объем фреона на всасывании в компрессор, м³/кг.

6. Количество холодильного агента циркулирующего в системе

$$G_a = \frac{q_0}{q}. \text{ кг/сек.} \quad (13-6)$$

7. Мощность, потребляемая компрессором при адиабатическом сжатии

$$N_T = G_a L_T \text{ кВт.} \quad (13-7)$$

Действительный процесс отличается от теоретического в основном тем, что процесс сжатия в компрессоре не адиабатический.

————— нагнетательный } трубопровод
 - - - - - всасывающий }
 - - - - - охлаждающая вода
 ————— фреоновые пары
 ————— жидкий фреон
 ⊕ манометр
 ⊕ ртутный термометр
 √ термопара

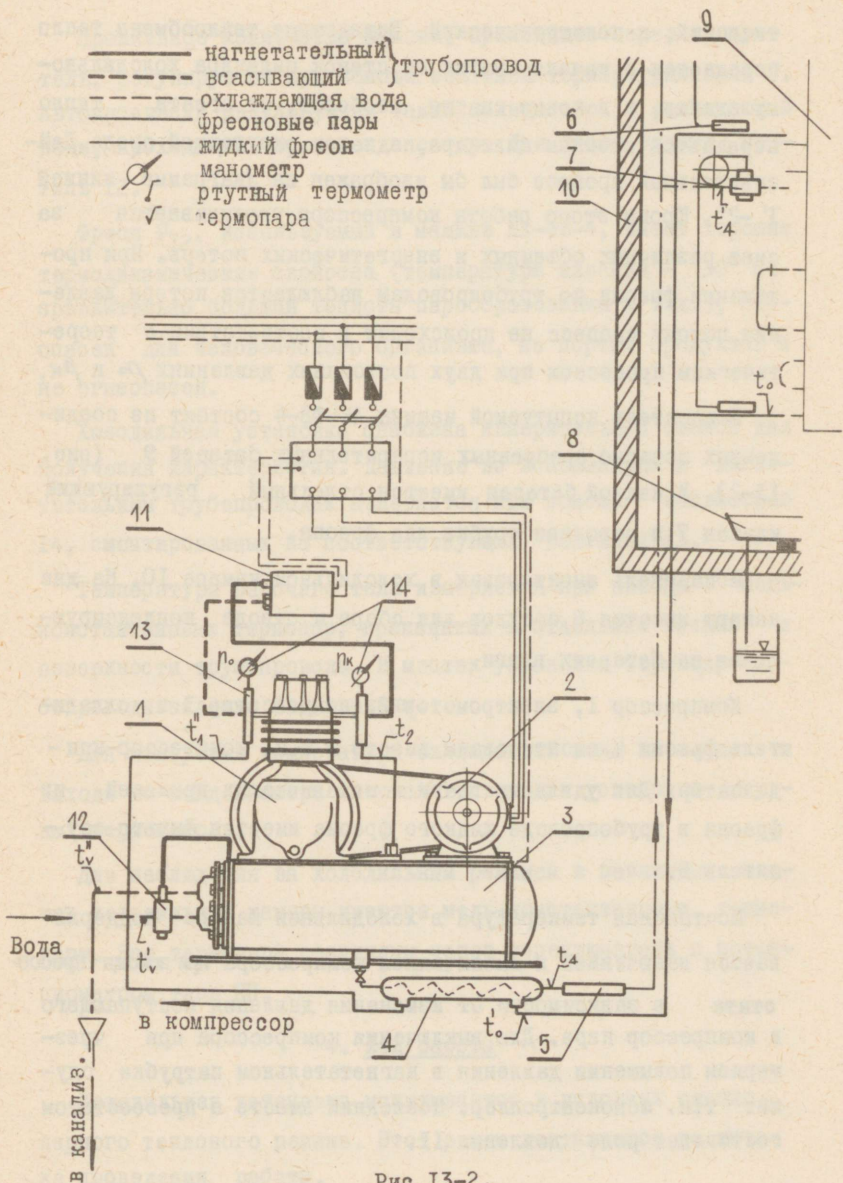


Рис. I3-2.

тический, а политропический. Вследствие теплообмена тепло передается в начале сжатия от стенок цилиндра холодильному агенту, а в конце сжатия, наоборот, от агента тепло передается стенкам цилиндра, а затем окружающей среде. Действительный процесс был бы изображен на диаграмме линией $I' - 2''$. Кроме этого работа компрессора увеличивается за счет различных объемных и энергетических потерь. При протекании фреона по трубопроводам наблюдается потеря давления, потому процесс не происходит в соответствии с теоретическим процессом при двух постоянных давлениях P_0 и P_k .

Испаритель испытуемой машины АК-ФВ-4 состоит из соединенных попарно оребренных испарительных батарей 9 (рис. I3-2). У каждой батареи имеется отдельный регулирующий клапан 7 и отводная трубка для фреона.

Испаритель смонтирован в холодильной камере IO. На дне камеры имеется 8 сосудов для сбора и отвода конденсирующейся на батареях влаги.

Компрессор I, электромотор 2, конденсатор 3 и охладитель фреона 4 смонтированы вместе в т.н. компрессор-конденсатор. Для удаления влаги и механических примесей из фреона в трубопроводе жидкого фреона имеется фильтр-осушитель 5.

Постоянная температура в холодильной камере поддерживается включением и выключением компрессора при помощи прессостата в зависимости от изменения давления поступающего в компрессор пара. Для выключения компрессора при чрезмерном повышении давления в нагнетательном патрубке служит т.н. моноконтроллер. Последний вместе с прессостатом составляет реле давления II.

Правильное количество фреона, проходящее через испаритель, регулируется при помощи вентилей-терморегуляторов 7. Автоматически регулируется также количество охлаждающей воды, проходящей через конденсатор. Для этого служит вентиль 12.

Фреон F_{12} , используемый в машине АК-ФВ-4, имеет хорошие термодинамические свойства (температура кипения - $30^{\circ}C$, сравнительно большая теплота парообразования и т.д.), безопасен для человеческого организма, не портит продуктов и не огнеопасен.

Холодильная установка снабжена измерительной схемой для получения характеристик. Давление во всасывающем и нагнетательном трубопроводах измеряется при помощи манометров 14, смонтированных на соответствующих вентилях 13.

Температура рабочего тела измеряется при помощи медь-константановых термопар, припаянных в отдельных точках к поверхности трубопровода. В местах установки термопар трубопроводы надежно изолированы.

Для измерения температуры охлаждающей воды на входе и выходе из конденсатора имеются гильзы для установки ртутных термометров.

Для наблюдения за холодильным режимом в различных местах холодильной камеры имеются медь-константановые термопары. Все термопары соединены через переключатель с потенциометром типа ПП.

4. Ход работы

Холодильная установка испытывается в условиях стационарного теплового режима. Этот режим достигается до начала проведения работы.

Во время опыта замеряются следующие показатели:

1. Расход охлаждающей воды через конденсатор G_c кг/сек.
2. Температура охлаждающей воды на входе t_6 и на выходе из конденсатора t_6'' °C.
3. Давление во всасывающем трубопроводе компрессора p_0 кг/см².
4. Давление за компрессором p_k кг/см².
5. Температура фреона на выходе из компрессора t_2 °C.
6. Температура жидкого фреона после выхода из теплообменника t_4 °C.
7. Температура фреона перед регулирующими вентилями t_4' и t_4'' °C.
8. Температура фреонового пара при выходе из испарителя t_0 °C.
9. Температура фреонового пара на входе в компрессор t_1 °C.
10. Температура фреонового пара перед теплообменником t_0' °C.
11. Температура холодильной камеры $t_{хк}$ °C.
12. Барометрическое давление B мбар.

Измерения производятся периодически, через 5-10 минут. Продолжительность опыта полчаса.

Для измерения количества воды, проходящей через конденсатор, под отводную трубку ставится взвешенный сосуд (G_c кг) и одновременно включается секундомер. После наполнения сосуд удаляется и секундомер останавливается. Сосуд останавливается и взвешивается (G_c'' , кг). По разности весов находится количество воды, набравшееся в сосуд за τ сек.

Количество воды, протекающее за секунду через конденсатор

$$G_{b1} = \frac{G_c'' - G_c'}{\tau} \text{ кг/сек.} \quad (I3-8)$$

Расход охлаждающей воды измеряется три раза. По полученным результатам (G_{b1} , G_{b2} , G_{b3}) рассчитывается средний расход охлаждающей воды.

Температуры измеряются при помощи медь-константановых термопар, поочередно соединяя их с потенциометром III (приложение I). По электродвижущей силе термопар, с учетом температуры холодного спая, которая измеряется ртутным термометром, находятся температуры в точках замера (см. работа I и 5). Для этого используются градуировочные таблицы (приложение 8).

Данные замеров заносятся в таблицы I3-1, I3-2 и I3-3, затем вычисляются их средние значения в течение опыта.

5. Обработка и оформление опытных данных

В отчете надо представить на диаграмме $T-s$ рабочий цикл холодильной установки по средним параметрам, измененным во время опыта. Диаграмма $T-s$ фреона F_{12} представлена в приложении 7.

При построении диаграммы упрощенно принимают, что сжатие происходит адиабатически и нет потерь давления при течении фреона. Поэтому точки 5, I и I' находятся на изобаре P_0 и точки I, 2', 3 и 4 на изобаре p_k ; точки линий сжатия I' и 2 находятся на линии $s = const$, проходящей через точку I'; точки 4 и 5 находятся на линии $i = const$ проходящей через точку 5. Поскольку на диаграмме $T-s$ фреона F_{12} отсутствуют изобары, то в качестве точки 4 можно взять пересечение линий $i_s = const$ с нижней пограничной кривой.

Поскольку на диаграмме $T-s$ обозначены линии абсолютного давления $p_{абс}$ (кг/см²), то измеренные планометрические давления p (кг/см²) надо сложить с показанием барометра B (ммбар)

$$p_{абс} = \frac{B}{980,4} + p \text{ кг/см}^2. \quad (13-9)$$

Производительность холода на 1 кг фреона q_0 вычисляется из общего теплового баланса

$$q_k = q_0 + l \text{ кдж/кг} \quad (13-10)$$

или

$$q_0 = q_k - l \text{ кдж/кг} \quad (13-11)$$

Количество тепла на 1 кг фреона, отданное в конденсаторе

$$q_k = 4,1868(i_2 - i_3) \text{ кдж/кг}, \quad (13-12)$$

где i_2 - энтальпия фреона на входе в конденсатор, ккал/кг;

i_3 - энтальпия фреона на выходе из конденсатора, ккал/кг;

i_2 и i_3 - находят из диаграммы $T-s$ по соответствующей точке процесса.

Работа компрессора при адиабатическом сжатии

$$l = 4,1868(i_2 - i_1') \text{ кдж/кг}, \quad (13-13)$$

где i_2 и i_1' - энтальпия фреона в точках 2 и 1' ккал/кг.

Энтальпию точки 5 можно вычислить

$$q_0 = i_4' - i_5 \text{ кдж/кг}, \quad (13-14)$$

отсюда

$$i_5 = i_4' - q_0 \text{ кдж/кг},$$

или

$$i_5 = 0,2388(i_4' - q_0) \text{ кдж/кг}.$$

Производительность холода холодильного агента

$$q_0 = \frac{Q_0}{V_1} \text{ кДж/м}^3, \quad (I3-I5)$$

где V_1 - удельный объем паров фреона при давлении P_0 м³/кг.

Холодильный коэффициент цикла

$$\xi = \frac{q_0}{l}. \quad (I3-I6)$$

Количество тепла, отдаваемого в конденсаторе воде Q_K , получается из теплового баланса конденсатора

$$Q_K = 4,1868 G_B C_B (t_B'' - t_B') \text{ кВт}, \quad (I3-I7)$$

где G_B - расход воды через конденсатор кг/сек;
 C_B - средняя теплоемкость воды ккал/кг·град;
 t_B'' - температура воды после конденсатора °C;
 t_B' - " " " до " " °C

Количество фреона, циркулирующего в установке

$$G_a = \frac{Q_K}{q_k} \text{ кг/сек}. \quad (I3-I8)$$

Производительность холодильной установки

$$Q_0 = G_a q_0 \text{ кВт}. \quad (I3-I9)$$

Объемный расход фреона через испарительные батареи

$$V_a = G_a v_1 \text{ м}^3/\text{сек}. \quad (I3-20)$$

Мощность, потребляемая компрессором

$$N_k = G_a l \text{ кВт} \quad (I3-21)$$

6. Контрольные вопросы и задания

I. От чего зависит производительность холода при постоянном количестве циркулирующего в системе фреона?

2. Описать цикл идеальной холодильной машины на диаграмме $T-s$.

3. Как зависит холодопроизводительность от температуры в холодильной камере?

4. Какое устройство называется тепловым насосом?

5. На каком законе термодинамики основан рабочий процесс холодильной установки?

6. Какой термодинамический процесс называется адиабатическим?

7. Литература

1. В.П. Зайцев. Холодильная техника. Изд. торговой литературы. Москва 1967.

2. Л.Н. Розенфельдт. Холодильные машины и аппараты. Изд. торговой литературы, Москва 1960.

Т а б л и ц а 13-1

№ п/п	Время наполнения сосуда τ сек.	Масса сосуда кг		$G_c'' - G_c'$ кг	Расход воды G_b кг/сек
		пустой G_c'	полный G_c''		

Т а б л и ц а 13-2

№ п/п	Давление фреона $\frac{кг}{см^2}$		Температура охлаждающей воды $^{\circ}C$		Показание барометра B мбар
	во всасывающем трубопроводе P_0	в нагнетательном трубопроводе P_k	на входе t_b'	на выходе t_b''	

Таблица 13-3

№ п/п	Температура жидкого фреона МВ			Температура фрео-нового пара					Температура хо-лодильной каме-ры				Тем-пература хо-лодно-го сная	
	t_4	t_4'	t_4''	t_0	t_2	t_0'	t_1	t_1'	t_k	t_{k2}	t_{k3}	t_{k4}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЛАБОРАТОРНОГО
ПОТЕНЦИОМЕТРА ПП И ОПИСАНИЕ ОБРАЩЕНИЯ С НИМ

Потенциометр постоянного тока ПП предназначен для измерения электродвижущей силы в диапазоне 0...7I мв.

Принцип действия потенциометра состоит в том, что измеряемая э.д.с. уравнивается (компенсируется) на сопротивлениях схемы определенным напряжением.

Электродвижущая сила уравнивается напряжением дополнительного источника тока (сухого элемента) B на сопротивлении R , которое состоит из шестисекционного и реохордного сопротивления.

Термопара T_p соединена с прибором так, что ее э.д.с. направлена в противоположную сторону э.д.с. дополнительного источника тока. При помощи передвижного контакта включается часть AD сопротивления R , падение напряжения на которой равно э.д.с. термопары. Состояние равновесия фиксируется при помощи нулевого показания гальванометра G .

Для обеспечения точности измерений падение напряжения дополнительного источника тока на R регулируется путем сравнения его с падением напряжения нормального элемента NE на сопротивлении $R_t + R$. Для регулировки рабочего тока в цепи дополнительного источника имеется переменное сопротивление R_b .

Нулевой гальванометр можно включать в цепь при измерении э.д.с. при помощи переключателя L (положение И) и при регулировании рабочего тока (положение К).

В случае, если стрелка гальванометра находится в положении "ноль", в цепи термопары отсутствует ток и показание

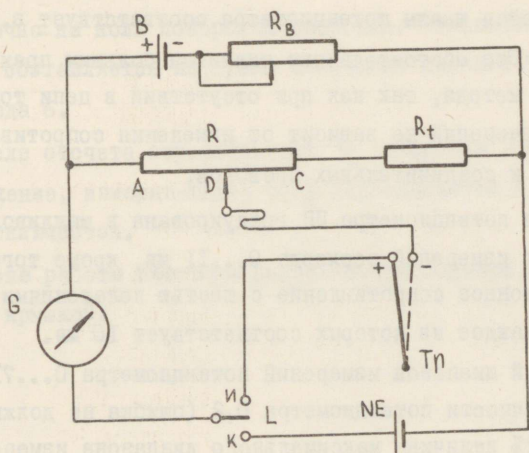


Рис. 14 а.

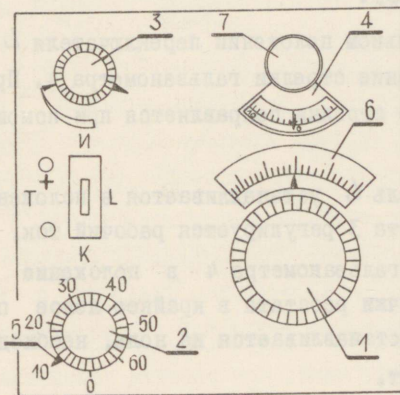


Рис. 14 б.

вращающейся шкалы потенциометра соответствует э.д.с. термопары. Это обстоятельство является большим преимуществом данного метода, так как при отсутствии в цепи тока точность измерений не зависит от изменения сопротивления термопары и соединительных проводов.

Шкала потенциометра III градуирована в милливольтках. Диапазон измерений реохорда 0...II мв, кроме того имеется секционное сопротивление с шестью положениями переключателя, каждое из которых соответствует 10 мв. Поэтому суммарный диапазон измерений потенциометра 0...7I мв. Класс точности потенциометра 0,2 (ошибка не должна превышать 0,2% величины максимального диапазона измерений).

Термоэлектродвижущую силу измеряют потенциометром следующим образом:

1. К клеммам Т (рис. I4 в), учитывая полярность, присоединяют термопару.

2. При нейтральном положении переключателя L проверяют нулевое положение стрелки гальванометра 4. При необходимости положение стрелки поправляется при помощи корректора 7.

3. Переключатель L устанавливается в положение К и при помощи реостата 3 регулируется рабочий ток, установлением стрелки гальванометра 4 в положение "ноль". Если поворотом ручки реостата в крайнее левое положение гальванометр не устанавливается на ноль, необходимо сменить сухой элемент.

4. Переключатель L устанавливается в положение И и поворотом реохорда I гальванометр устанавливается на ноль. Если в диапазоне реохорда это не удается, надо повернуть на необходимое число контактов ручку секционного сопротивления 2. Гальванометр и в этом случае устанавли-

вается точно на ноль поворотом реохорда. Показание потенциометра составляется из суммы показаний стрелки 5 и шкалы реохорда 6.

5. После отсчета переключатель Δ ставится в нейтральное положение, измерительная цепь разъединяется и гальванометр отключается.

6. После работы очистить панель потенциометра и накрыть ее крышкой.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ИНСТРУКЦИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
МИКРОМАНОМЕТРА ММН

Микроманометр ММН предназначен для измерения давления, разряжения и перепада давлений неагрессивных газов. Для увеличения точности измерений измерительная трубка манометра расположена наклонно. Диапазон измерений манометра изменяется с изменением наклона измерительной трубки. Микроманометр ММН имеет несколько диапазонов измерений максимальной протяженностью 0...200 мм вод.ст.

К основанию микроманометра I при помощи кронштейна 7 прикреплена измерительная трубка 8. Нижний конец измерительной трубки соединен при помощи патрубков 9 с сосудом 2, установленным на основании I. Сосуд закрыт герметической крышкой 3, на которой имеется кран 4, пробка 5 и регулятор уровня жидкости 6. Через отверстие, закрытое пробкой 5, манометр наполняется жидкостью, в качестве которой используется этиловый спирт. Вращая ручку 6, можно в известных пределах регулировать уровень жидкости в сосуде, корректируя при этом уровень жидкости в измерительной трубке. Спирт можно выпустить при помощи крана IO.

Тройной кран 4 имеет три ниппеля и соединяется с атмосферой при помощи отверстия "0". При помощи ниппеля "а" и резиновой трубки II кран постоянно соединен с измерительной трубкой. К ниппелям "+" и "-" присоединяются трубки, идущие с места измерений. При рабочем положении крана (кран повернут до отказа по часовой стрелке) ниппель "+" соединен с сосудом 2, а ниппель "-" - с измерительной трубкой 8. При присоединении микроманометра к измерительной схеме надо следить, чтобы абсолютное давление в сосуде было больше абсолютного давления в трубке. В этом слу-

чае уровень в сосуде понизится, а в трубке повысится.

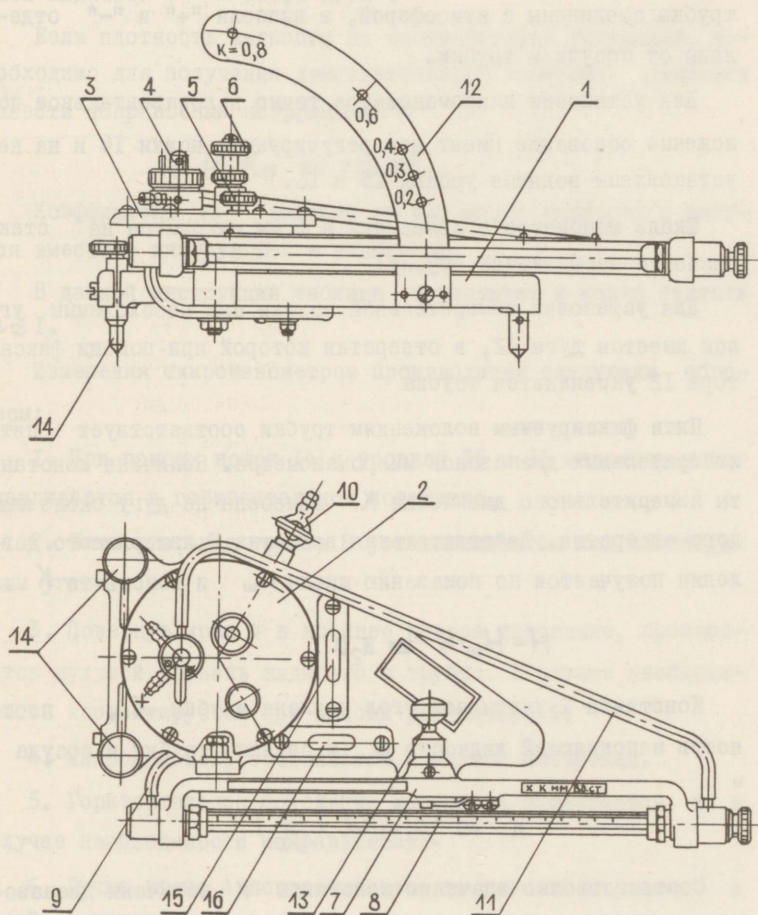


Рис. 15.

При измерении давления надо точку измерений соединить с ниппелем "+" и при измерении разряжения с "-". При измерении падения давления импульсные линии соединить соответственно обозначениям.

В положении контроля (кран повернут до отказа против часовой стрелки, ручка находится на отметке "0") сосуд и трубка соединены с атмосферой, а ниппеля "+" и "-" отделены от сосуда и трубки.

Для установки микроманометра точно в горизонтальное положение основание имеет две регулируемые ножки I4 и на нем установлены водяные уровни I5 и I6.

Шкала манометра с делениями в I мм находится на стеклянной измерительной трубке.

Для установки измерительной трубки под необходимым углом имеется дуга I2, в отверстия которой при помощи фиксатора I2 укрепляется трубка

Пяти фиксируемым положениям трубки соответствует пять измерительных диапазонов микроманометра. Величина константы измерительного диапазона K нанесена на дугу около каждого отверстия. Действительная величина H измеряемого давления получается по показанию шкалы H_w и константе K :

$$H = H_w \cdot K \text{ мм H}_2\text{O}$$

Константа K учитывает угол наклона трубки α , плотность наполняющей жидкости ρ и сечения трубки и сосуда и

$$K = 10^{-3} \rho \left(\sin \alpha + \frac{F_1}{F_2} \right) .$$

Соответственно значению константы K величины диапазонов следующие:

K мм вод. ст./мм	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8
H мм вод. ст.	0-50	0-75	0-100	0-150	0-200
K н/м ² /мм	1,96	2,94	3,92	5,88	7,84

Значение константы K верно, если плотность наполнительной жидкости $\rho = 809,5 \text{ кг/м}^3$.

Если плотность жидкости не соответствует указанной, необходимо для получения действительного значения давления ввести поправочный коэффициент n

$$H = H_0 K n \text{ мм вод.ст.}$$

Коэффициент n зависит от плотности жидкости и дается вместе с инструкцией к манометру.

В данной инструкции таблица отсутствует и можно считать $n \approx 1$.

Измерения микроманометром производятся следующим образом:

1. При помощи ножек I4 и уровней I5 и I6 манометр устанавливается в горизонтальное положение.
2. Измерительная трубка 8 устанавливается под необходимым углом.
3. Повернув кран 4 в крайнее правое положение, проверяется нулевой уровень жидкости в трубке. В случае необходимости корректируется при помощи регулятора 6.
4. Микроманометр соединяется с местом измерений.
5. Горизонтальное положение манометра проверяется и в случае необходимости исправляется.
6. Ручка крана 4 поворачивается по часовой стрелке в крайнее положение.
7. Отсчитывается показание по шкале на измерительной трубке.
8. Во время работы периодически проверяется нулевой уровень жидкости и горизонтальность микроманометра.

Чтобы жидкость в трубке была бы лучше различима, ее можно подкрасить метилоранжем.

Приложение 3

Монохроматическая степень черноты ϵ_λ
 некоторых материалов, сплавов и окислов при $\lambda = 0,66 \mu\text{м}$

Материал	Монохроматическая степень черноты		
	В твердом состоянии	В расплавленном состоянии	На гладкой металлической поверхности образовались окислы
Алюминий	-	-	0,30
Железо	0,35	0,37	0,70
Медь	0,10	0,15	0,70
Никель	0,36	0,37	0,90
Платина	0,30	0,38	-
Углерод	0,93	-	-
Хром	0,34	0,39	0,70
Сталь	0,35	0,37	0,80
Чугун	0,37	0,40	0,70
Хромель	0,35	-	0,87
Алюмель	0,37	-	0,87
Сталь X20H80	0,35	-	0,90
Жаропрочная сталь X18H9	-	-	0,85
Фарфор	0,25- 0,50	-	-

Зависимость между действительной температурой и температурой, измеренной оптическим пирометром при различных значениях монохроматической степени черноты ϵ_λ ($\lambda = 0,66$ мкм, $C_2 = 14380$ мкм.град)

ϵ_λ	Измеренная температура °C								
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800
0,20	890	1010	1130	1260	1380	1510	1640	1900	2180
0,25	880	1000	1110	1230	1350	1480	1600	1850	2120
0,30	870	980	1100	1210	1330	1450	1570	1820	2070
0,35	860	970	1080	1200	1310	1430	1550	1790	2030
0,40	850	960	1070	1180	1300	1410	1530	1760	2000
0,45	840	950	1060	1170	1280	1400	1510	1740	1970
0,50	840	950	1050	1160	1270	1380	1490	1720	1950
0,55	830	940	1050	1150	1260	1370	1480	1700	1910
0,65	820	930	1030	1140	1240	1350	1460	1670	1890
0,70	820	920	1030	1130	1240	1340	1450	1660	1870
0,75	820	920	1020	1130	1230	1330	1440	1650	1860
0,80	810	910	1020	1120	1220	1330	1430	1640	1850
0,85	810	910	1010	1110	1220	1320	1420	1630	1830
0,90	810	910	1010	1110	1210	1310	1410	1620	1820
0,95	800	900	1000	1100	1210	1310	1410	1610	1810
1,00	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800

Единицы измерений теплотехнических величин (ГОСТ 8550-61)

Наименование величин	Старые единицы измерения		Единицы измерения в системе СИ		Соотношение между старыми единицами измерений и единицами в системе СИ
	наименование единицы изм.	сокращенное обозначение	наименование единицы измер.	сокращенное обозначение	
1	2	3	4	5	6
Количество тепла	калория	кал	джоуль	дж	$1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ дж}$
Термодинамический потенциал	килокалория	ккал			$1 \text{ ккал} = 4,1868 \times 10^3 \text{ дж} = 4,1868 \text{ кдж}$
Удельная энтальпия	килокалория на килограмм	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$	джоуль на килограмм	$\frac{\text{дж}}{\text{кг}}$	$1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} = 1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} = 4,1868 \times 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{кг}} = 4,1868 \frac{\text{кдж}}{\text{кг}}$
Удельная теплота изменения состояния вещества	калория на грамм	$\frac{\text{кал}}{\text{г}}$			
Удельный термодинамический потенциал					
Теплоемкость системы	калория на градус	$\frac{\text{кал}}{\text{град}}$	джоуль на градус	$\frac{\text{дж}}{\text{град}}$	$1 \frac{\text{кал}}{\text{град}} = 4,1868 \frac{\text{дж}}{\text{град}}$
Энтропия системы	килокалория на градус	$\frac{\text{ккал}}{\text{град}}$			$1 \frac{\text{ккал}}{\text{град}} = 4,1868 \times 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{град}} = 4,1868 \frac{\text{кдж}}{\text{град}}$
Удельная теплоемкость	калория на грамм и градус	$\frac{\text{кал}}{\text{град} \cdot \text{г}}$	джоуль на килограмм и градус	$\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	$1 \frac{\text{кал}}{\text{град} \cdot \text{г}} = 1 \frac{\text{ккал}}{\text{град} \cdot \text{кг}} = 4,1868 \times 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} = 4,1868 \frac{\text{кдж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$
Удельная энтропия	килокалория на килограмм и градус	$\frac{\text{ккал}}{\text{град} \cdot \text{кг}}$			$1 \frac{\text{ккал}}{\text{град} \cdot \text{кг}} = 1 \frac{\text{ккал}}{\text{град} \cdot \text{кг}} = 4,1868 \times 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} = 4,1868 \frac{\text{кдж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$
Тепловой поток	калория в секунду	$\frac{\text{кал}}{\text{сек}}$	ватт (джоуль в секунду)	вт	$1 \frac{\text{кал}}{\text{сек}} = 4,1868 \text{ вт}$ $1 \frac{\text{ккал}}{\text{ч}} = 1,1630 \text{ вт}$
Удельный тепловой поток	калория в секунду на квадратный сантиметр	$\frac{\text{кал}}{\text{сек} \cdot \text{см}^2}$	ватт на квадратный метр	$\frac{\text{вт}}{\text{м}^2}$	$1 \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}} = 4,1868 \times 10^4 \frac{\text{вт}}{\text{м}^2} = 41,868 \frac{\text{квт}}{\text{м}^2}$ $1 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} = 1,1630 \frac{\text{вт}}{\text{м}^2}$
Кoeffициент теплоотдачи	калория на секунду на квадратный сантиметр и градус	$\frac{\text{кал}}{\text{сек} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{град}}$	ватт на квадратный метр градус	$\frac{\text{вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$	$1 \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}} = 4,1868 \times 10^4 \frac{\text{вт}}{\text{град} \cdot \text{м}^2} = 41,868 \frac{\text{квт}}{\text{град} \cdot \text{м}^2}$
Кoeffициент теплопередачи	килокалория на час на квадратный метр и градус	$\frac{\text{ккал}}{\text{ч} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{град}}$			$1 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}} = 1,163 \frac{\text{вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$

1	2	3	4	5	6
Коэффициент теплопроводности	калория на секунду - сантиметр-градус	кал сек·см·град	ватт на метр и градус	вт м·град	$1 \frac{\text{кал}}{\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}} = 4,1868 \times 10^2 \frac{\text{вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$ $1 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}} = 1,1630 \frac{\text{вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$ $1 \frac{\text{м}^2}{\text{ч}} = 2,7778 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$
Коэффициент температуропроводности	метр квадратный в час	$\frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$	метр квадратный в секунду	$\frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$	
Плотность	грамм на кубический сантиметр	$\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	килограмм на кубический метр	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$1 \frac{\text{кгс} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^3} = 9,81 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
	килограмм-сила - секунда в квадрате на метр в 4-й степени	$\frac{\text{кгс} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^4}$			
Массовый расход	килограмм в час	$\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	килограмм в секунду	$\frac{\text{кг}}{\text{сек}}$	$1 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 0,2777 \times 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{сек}} = 0,2777 \frac{\text{г}}{\text{сек}}$
Объемный расход	кубический метр в час	$\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$	кубический метр в секунду	$\frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$	$1 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 0,2777 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$ $1 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}} = 0,01666 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$
Давление	дина на квадратный сантиметр	$\frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$	ньютон на квадратный метр	$\frac{\text{н}}{\text{м}^2}$	$1 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2} = 0,1 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$
	килограмм-сила на квадратный метр	$\frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$	"	"	$1 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} = 9,81 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$
	килограмм-сила на квадратный сантиметр или техническая атмосфера	$\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$	ньютон на квадратный метр	$\frac{\text{н}}{\text{м}^2}$	$1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 9,81 \times 10^4 \frac{\text{н}}{\text{м}^2} = 0,0981 \frac{\text{Мн}}{\text{м}^2}$
	ат				
	бар		"	"	$1 \text{ бар} = 10^5 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$
	миллиметр водяного столба	мм вод.ст.	"	"	$1 \text{ мм вод.ст.} = 9,81 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$
	миллиметр ртутного столба	мм рт.ст.	"	"	$1 \text{ мм рт.ст.} = 133,322 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$
	физическая атмосфера	атм	"	"	$1 \text{ атм.} = 760 \text{ мм рт.ст.} = 101325 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$
Удельный вес	килограмм-сила на кубический метр	$\frac{\text{кгс}}{\text{м}^3}$	ньютон на кубический метр	$\frac{\text{н}}{\text{м}^3}$	$1 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^3} = 9,81 \frac{\text{н}}{\text{м}^3}$
Угловая скорость	обороты в минуту	$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	радиан в секунду	$\frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	$1 \frac{\text{об}}{\text{мин}} = \frac{\pi}{30} \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$

Приложение 5 (продолжение)

Примечание: Позволено употреблять десятикратные увеличения (уменьшения) величин. В таком случае к наименованию единицы прибавить соответствующую приставку.

Употребляются следующие приставки:

Приставка	Сокращение	Множитель, на который надо умножить основную приставку
тера	Т	10^{12}
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	К	10^3
гекто	г	10^2
дека	да	10^1
деци	д	10^{-1}
санти	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}

Например: $1 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$ (меганьютон на квадратный метр) =

$$= 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ (килоджоуль на килограмм) =

$$= 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

I. Обозначения величин в приложении 6

1. p - абсолютное давление водяного пара Мн/м².
2. t - температура воды или водяного пара °С.
3. i - энтальпия воды кдж/кг.
4. i' - энтальпия кипящей воды кдж/кг.
5. i'' - энтальпия сухого насыщенного пара кдж/кг.
6. r - теплота парообразования кдж/кг.
7. v - удельный объем воды м³/кг.
8. v' - удельный объем кипящей воды м³/кг.
9. v'' - удельный объем сухого насыщенного пара м³/кг.
10. ρ'' - плотность сухого насыщенного пара кг/м³.
- II. C_p - истинная теплоемкость при постоянном давлении кдж/кг·град.

2. Термодинамические свойства воды и насыщенного
пара

p	t	v	v''	ρ''	i'	i''	r
0,080	93,52	0,0010385	2,087	0,4792	391,8	2665	2273
0,090	96,72	0,0010409	1,869	0,5350	405,3	2670	2265
0,100	99,64	0,0010432	1,694	0,5903	417,4	2675	2258
0,11	102,32	0,0010452	1,550	0,6453	428,9	2679	2250
0,12	104,81	0,0010472	1,429	0,6999	439,4	2683	2244
0,13	107,14	0,0010492	1,325	0,7545	449,2	2687	2238
0,14	109,33	0,0010510	1,236	0,8088	458,5	2690	2232
0,15	111,38	0,0010527	1,159	0,8627	467,2	2693	2226
0,16	113,32	0,0010543	1,091	0,9164	475,4	2696	2221
0,17	115,17	0,0010559	1,031	0,9699	483,2	2699	2216
0,18	116,94	0,0010575	0,9773	1,023	490,7	2702	2211
0,19	118,62	0,0010591	0,9290	1,076	497,9	2704	2206
0,20	120,23	0,0010605	0,8854	1,129	504,8	2707	2202
0,21	121,78	0,0010619	0,8459	1,182	511,4	2709	2198
0,22	123,27	0,0010633	0,8098	1,235	517,8	2711	2193
0,23	124,71	0,0010646	0,7768	1,287	524,0	2713	2189
0,24	126,09	0,0010659	0,7465	1,340	529,8	2715	2185
0,25	127,43	0,0010672	0,7185	1,392	535,4	2717	2182
0,26	128,73	0,0010685	0,6925	1,444	540,9	2719	2178
0,27	129,98	0,0010697	0,6684	1,496	546,2	2721	2175
0,28	131,20	0,0010709	0,6461	1,548	551,4	2722	2171
0,29	132,39	0,0010721	0,6253	1,599	556,5	2724	2167
0,30	133,54	0,0010733	0,6057	1,651	561,4	2725	2164

Приложение 6 (продолжение)

3. Термодинамические свойства воды

t	40			50			60		
p	v	i	c _p	v	i	c _p	v	i	c _p
0,1	0,0010079	167,5	-	0,0010121	209,3	4,17	0,0010171	251,1	4,18
0,14	0,0010078	167,5	-	0,0010120	209,3	4,17	0,0010170	251,1	4,18
0,18	0,0010078	167,6	-	0,0010120	209,4	4,17	0,0010170	251,1	4,18
0,22	0,0010078	167,6	-	0,0010120	209,4	4,17	0,0010170	251,2	4,18
0,26	0,0010078	167,7	-	0,0010120	209,5	4,17	0,0010170	251,3	4,18
0,30	0,0010078	167,7	-	0,0010120	209,5	4,17	0,0010170	251,3	4,18

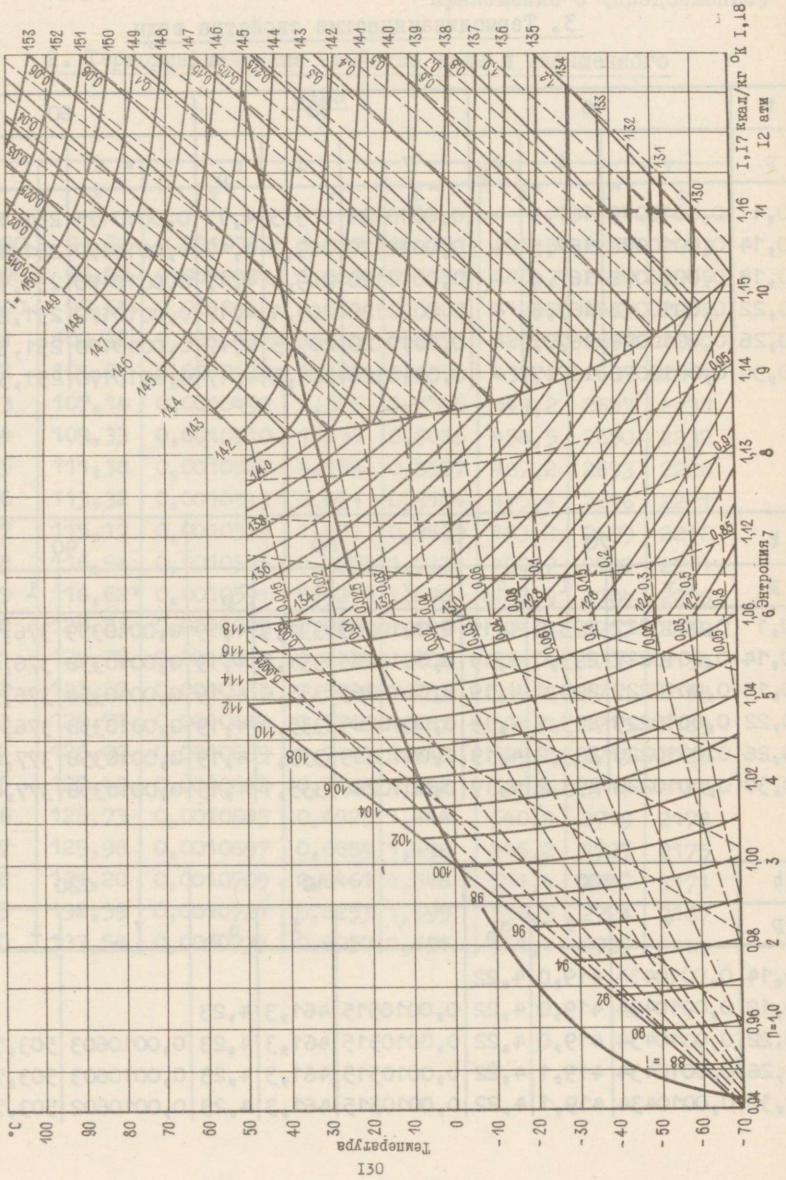
t	70			80			90		
p	v	i	c _p	v	i	c _p	v	i	c _p
0,1	0,0010227	293,0	4,19	0,0010289	334,9	4,19	0,0010359	376,8	4,20
0,14	0,0010227	293,0	4,19	0,0010289	334,9	4,19	0,0010358	376,8	4,20
0,18	0,0010227	293,1	4,19	0,0010289	335,0	4,19	0,0010358	376,9	4,20
0,22	0,0010227	293,1	4,19	0,0010289	335,0	4,19	0,0010358	376,9	4,20
0,26	0,0010226	293,2	4,19	0,0010289	335,1	4,19	0,0010358	377,0	4,20
0,30	0,0010226	293,2	4,19	0,0010288	335,1	4,19	0,0010358	377,0	4,20

t	100			110			120		
p	v	i	c _p	v	i	c _p	v	i	c _p
0,14	0,0010434	419,0	4,22						
0,18	0,0010434	419,0	4,22	0,0010515	461,3	4,23			
0,22	0,0010434	419,0	4,22	0,0010515	461,3	4,23	0,0010603	503,7	4,25
0,26	0,0010434	419,1	4,22	0,0010515	461,3	4,23	0,0010603	503,7	4,25
0,30	0,0010434	419,1	4,22	0,0010515	461,3	4,23	0,0010602	503,7	4,25

Приложение 7

T-S фреона R12

Диаграмма



Градуировочная таблица медь-константановых термопар при температуре холодного спая 0°C

t °C	Термоэлектродвижущая сила мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-60	-2,137	-1,840	-1,873	-1,906	-1,939	-1,972	-2,005	-2,038	-2,071	-2,104
-50	-1,807	-1,500	-1,534	-1,568	-1,602	-1,637	-1,671	-1,705	-1,739	-1,773
-40	-1,466	-1,149	-1,184	-1,219	-1,255	-1,290	-1,325	-1,360	-1,395	-1,431
-30	-1,114	-0,788	-0,824	-0,860	-0,897	-0,933	-0,969	-1,005	-1,041	-1,078
-20	-0,752	-0,418	-0,455	-0,492	-0,529	-0,567	-0,604	-0,641	-0,678	-0,715
-10	-0,381	-0,038	-0,076	-0,114	-0,152	-0,191	-0,229	-0,267	-0,305	-0,343
(-) 0	0,000	0,039	0,078	0,117	0,156	0,194	0,233	0,272	0,311	0,350
(+) 0	0,389	0,429	0,469	0,509	0,548	0,588	0,628	0,668	0,708	0,747
10	0,787	0,828	0,869	0,909	0,950	0,991	1,031	1,072	1,113	1,153
20	1,194	1,236	1,277	1,319	1,360	1,402	1,443	1,485	1,526	1,568
30	1,610	1,652	1,695	1,737	1,780	1,822	1,865	1,907	1,950	1,992
40										

Приложение 8 (продолжение)

t °C	Термоэлектродвижущая сила мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	2,034	2,077	2,120	2,164	2,207	2,250	2,294	2,337	2,380	2,424
60	2,467	2,511	2,555	2,599	2,643	2,688	2,732	2,776	2,820	2,864
70	2,908	2,953	2,998	3,043	3,087	3,132	3,177	3,222	3,267	3,311
80	3,356	3,402	3,447	3,493	3,538	3,584	3,699	3,675	3,720	3,766
90	3,812	3,858	3,905	3,951	3,998	4,044	4,091	4,137	4,184	4,230
100	4,276	4,323	4,370	4,417	4,464	4,512	4,559	4,606	4,653	4,700
110	4,747	4,795	4,843	4,891	4,938	4,986	5,034	5,082	5,130	5,177
120	5,225	5,274	5,322	5,371	5,419	5,468	5,516	5,565	5,613	5,662
130	5,710	5,769	5,808	5,857	5,907	5,956	6,005	6,054	6,103	6,153
140	6,202	6,252	6,302	6,352	6,401	6,451	6,501	6,551	6,601	6,650
150	6,700	6,751	6,801	6,852	6,902	6,953	7,003	7,054	7,104	7,155
160	7,205	7,256	7,307	7,358	7,409	7,461	7,512	7,563	7,614	7,665
170	7,716	7,768	7,820	7,871	7,923	7,975	8,026	8,078	8,130	8,181
180	8,233									

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение.....	3
Общие указания.....	4
Работа № 1. Градуирование термомпар.....	6
" № 2. Тарирование диафрагменного расхо- мера.....	II
" № 3. Газовый анализ при помощи газоана- лизатора ГХП-3.....	19
" № 4. Измерение температуры при помощи оптического пирометра ОППИР-ОИ7..	24
" № 5. Определение коэффициента теплопро- водности методом шара.....	30
" № 6. Испытание центробежного вентилятора	35
" № 7. Определение коэффициента теплопере- дачи и теплоотдачи радиатора цент- рального отопления.....	48
" № 8. Определение коэффициента теплопро- водности изоляции трубопровода...	54
" № 9. Теплотехнические испытания котла низкого давления.....	60
" №10. Испытание двигателя внутреннего сгорания.....	74
" №11. Индицирование двигателя внутренне- го сгорания.....	84
" №12. Снятие индикаторной диаграммы комп- рессора.....	91
" №13. Испытание фреоновой холодильной установки.....	101
Приложения.....	II4

СОДЕРЖАНИЕ

170	Введение	8,53
171	Общая характеристика	8,53
172	1. Исследования	8,53
173	2. Исследования	8,53
174	3. Исследования	8,53
175	4. Исследования	8,53
176	5. Исследования	8,53
177	6. Исследования	8,53
178	7. Исследования	8,53
179	8. Исследования	8,53
180	9. Исследования	8,53
181	10. Исследования	8,53
182	11. Исследования	8,53
183	12. Исследования	8,53
184	13. Исследования	8,53
185	14. Исследования	8,53
186	15. Исследования	8,53
187	16. Исследования	8,53
188	17. Исследования	8,53
189	18. Исследования	8,53
190	19. Исследования	8,53
191	20. Исследования	8,53
192	21. Исследования	8,53
193	22. Исследования	8,53
194	23. Исследования	8,53
195	24. Исследования	8,53
196	25. Исследования	8,53
197	26. Исследования	8,53
198	27. Исследования	8,53
199	28. Исследования	8,53
200	29. Исследования	8,53
201	30. Исследования	8,53
202	31. Исследования	8,53
203	32. Исследования	8,53
204	33. Исследования	8,53
205	34. Исследования	8,53
206	35. Исследования	8,53
207	36. Исследования	8,53
208	37. Исследования	8,53
209	38. Исследования	8,53
210	39. Исследования	8,53
211	40. Исследования	8,53
212	41. Исследования	8,53
213	42. Исследования	8,53
214	43. Исследования	8,53
215	44. Исследования	8,53
216	45. Исследования	8,53
217	46. Исследования	8,53
218	47. Исследования	8,53
219	48. Исследования	8,53
220	49. Исследования	8,53
221	50. Исследования	8,53
222	51. Исследования	8,53
223	52. Исследования	8,53
224	53. Исследования	8,53
225	54. Исследования	8,53
226	55. Исследования	8,53
227	56. Исследования	8,53
228	57. Исследования	8,53
229	58. Исследования	8,53
230	59. Исследования	8,53
231	60. Исследования	8,53
232	61. Исследования	8,53
233	62. Исследования	8,53
234	63. Исследования	8,53
235	64. Исследования	8,53
236	65. Исследования	8,53
237	66. Исследования	8,53
238	67. Исследования	8,53
239	68. Исследования	8,53
240	69. Исследования	8,53
241	70. Исследования	8,53
242	71. Исследования	8,53
243	72. Исследования	8,53
244	73. Исследования	8,53
245	74. Исследования	8,53
246	75. Исследования	8,53
247	76. Исследования	8,53
248	77. Исследования	8,53
249	78. Исследования	8,53
250	79. Исследования	8,53
251	80. Исследования	8,53
252	81. Исследования	8,53
253	82. Исследования	8,53
254	83. Исследования	8,53
255	84. Исследования	8,53
256	85. Исследования	8,53
257	86. Исследования	8,53
258	87. Исследования	8,53
259	88. Исследования	8,53
260	89. Исследования	8,53
261	90. Исследования	8,53
262	91. Исследования	8,53
263	92. Исследования	8,53
264	93. Исследования	8,53
265	94. Исследования	8,53
266	95. Исследования	8,53
267	96. Исследования	8,53
268	97. Исследования	8,53
269	98. Исследования	8,53
270	99. Исследования	8,53
271	100. Исследования	8,53

Отв. ред. Д.Егоров

Сдано в печать 9 сентября 1969г.
 Бумага 60x84/16. Печ.л. 8,5. Усл.печ.л. 7,91
 Тираж 1500. Зак.№353 Ротапринт ТПИ
 Галлин, Пижк ялг 14
 Цена 23 коп.



Цена 23 коп.

