

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра энергетики и технологии металлов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА
(ИЗОБАРНОЙ, ИЗОХОРНОЙ), ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ,
ЭНТАЛЬПИИ И ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №2
по курсу технической термодинамики и
теплопередачи (теплотехники) для студентов
специальностей 100400, 170600, 330100, 150100

Курган 2003

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплины: «Термодинамика и теплопередача»
(специальность 150100);
«Теплотехника»
(специальности 170600, 330100);
«Гидрогазодинамика и тепломассообмен»
(специальность 100400)

Составили: профессор, докт. техн. наук Боченин В.И.
(теоретическая часть);
профессор, докт. техн. наук Ивашко А.Г.
(практическая часть);
доцент, канд. техн. наук Попов Г.А.
(практическая часть).

Составлены на основе переработанных данных и дополненных методических указаний «Определение теплоемкости воздуха (изобарной, изохорной), показателя адиабаты, энтальпии и внутренней энергии» / Боченин В.И., Ивашко А.Г., Попов Г.А. – Курган: Изд-во КГУ, 1998.

Утверждены на заседании кафедры «14» ноября 2003 г.

Рекомендованы редакционно-издательским советом университета
« » 2003 г.

Виктор Иванович Боченин
Александр Григорьевич Ивашко
Геральд Алексеевич Попов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА
(ИЗОБАРНОЙ, ИЗОХОРНОЙ), ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ,
ЭНТАЛЬПИИ И ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №2
по курсу технической термодинамики и
теплопередачи (теплотехники) для студентов
специальностей 100400, 170600, 330100, 150100

Редактор Н.М. Кокина

Подписано к печати		Бумага тип. № 1
Формат 60x84 1/16	Усл. п.л.	Уч. изд. л.
Заказ	Тираж	Цена свободная

Издательство Курганского государственного университета.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25
Курганский государственный университет, ризограф.

- 5.2. Принципиальную схему установки и ее краткое описание;
- 5.3. Таблицу экспериментальных данных №1;
- 5.4. Основные расчетные формулы;
- 5.5. Обработку экспериментальных данных;
- 5.6. Определение погрешности расчетов;
- 5.7. Выводы по работе.

Таблица 2

Средняя массовая изобарная теплоемкость воздуха в интервале

температур $C_{pm} /_0^t$

$t, ^\circ C$	0	10	20	30	40	50
$\frac{\text{кДж}}{\text{кг/град}}$	1, 005	1, 005	1, 005	1, 005	1, 005	1, 005

$t, ^\circ C$	60	70	80	90	100	120
$\frac{\text{кДж}}{\text{кг.град}}$	1, 005	1, 009	1, 009	1, 009	1, 009	1, 009

ЛИТЕРАТУРА

1. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1980. – 468 с.
2. Баскаков А.П. Теплотехника. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 222с.
3. Зубарев В.Н., Александров А.А. Практикум по технической термодинамике. – М.: Энергия, 1991. – 350 с.
4. Хазен М.М., Матвеев Г.А. и др. Теплотехника. – М.: Высшая школа, 1981. – 479 с.

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Каждый студент перед выполнением лабораторной работы должен самостоятельно во внеучебное время изучить данные «Методические указания», соответствующий раздел теоретического курса и «Методические указания по самостоятельной подготовке к выполнению лабораторных работ». После контроля знаний при условии положительной оценки студенты приступают к выполнению лабораторной работы. При этом необходимые схемы и таблицы следует подготовить заранее. Студенты, получившие при контроле знаний неудовлетворительную оценку, к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Все изменения теплового режима лабораторной установки, а также включения и отключение ее производится только лаборантом или преподавателем.

После выполнения работы студенты представляют преподавателю результаты экспериментов и в случае правильности их приступают к обработке экспериментальных данных. В противном случае эксперимент повторяется. Выполнение лабораторной работы завершается представлением отчета по установленной форме и его защитой.

Все вычисления рекомендуется выполнять в системе СИ. Схемы, таблицы, графики следует выполнять с помощью чертежных инструментов.

Обязательным условием допуска студентов к выполнению лабораторных работ является знание ими правил техники безопасности при работе в лаборатории теплотехники.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с методикой и аппаратурой экспериментального определения теплоемкости воздуха. Расчет изобарной и изохорной теплоемкости, а также показателя адиабаты, энтальпии, внутренней энергии.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЯСНЕНИЯ

Количество тепла, отдаваемое или воспринимаемое телом, определяется разностью температур, теплоемкостью и массой. Теплоемкость зависит от физических свойств тела, параметров состояния (P , v , T) и характера процесса подвода (отвода) тепла. Одним из наиболее приемлемых способов определения теплоемкости является метод проточного калориметрирования, описываемый в данной работе. Если к газу (воздуху) при постоянном давлении подвести некоторое количество тепла, то температура его возрастает. При постоянном количестве подводимого тепла Q и постоянном расходе газа V через некоторый промежуток времени наступит равновесие между подводимым теплом и теплом, воспринимаемым потоком газа. Это возможно лишь только после прогрева всех частей калориметра. Такой прогрев и будет свидетельствовать об установившемся тепловом равновесии системы. Если температура газа (воздуха) на входе в калориметр будет постоянной и равной t_1 , то на выходе из него, в результате нагрева, она окажется значительно выше t_1 и будет равна t_2 ($t_2 > t_1$). Пренебрегая тепловыми потерями в окружающую среду (при условии хорошей теплоизоляции калориметра), можно написать уравнение теплового баланса

$$Q = V_H \cdot C_{pm}^{t_1/t_2} (t_2 - t_1), \quad (1)$$

где: Q – тепловой поток от нагревателя, подведенный к воздуху в калориметре, кДж/ч;

V_H – объемный расход воздуха, м³/ч при нормальных физических условиях $t_H = 0^\circ\text{C}$, $P_H = 760$ мм рт. ст.;

$C_{pm}^{t_1/t_2}$ – средняя объемная изобарная теплоемкость в интервале температур от t_2 до t_1 , кДж/м³·К;

$t_2 - t_1$ – изменение температуры воздуха при прохождении через калориметр, °С.

Искомая теплоемкость воздуха равна:

$$C_{pm}^{t_1/t_2} = \frac{Q}{V_H(t_2 - t_1)}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3\text{К}}, \quad (2)$$

Таблица 1

Значения экспериментальных данных и расчетных величин

Расход воздуха М, кг/ч		
Температура воздуха в калориметре	на входе $t_1, ^\circ\text{C}$	
	на выходе $t_2, ^\circ\text{C}$	
Сила тока, А		
Напряжение, В		
Давление воздуха В, мм.рт.ст.		
$C_{pm}^{t_1/t_2}$ Дж/кг·К		
$C_{vpm}^{t_1/t_2}$ Дж/кг·К		
К		
Δh , Дж/кг		
Δu , Дж/кг		4

№№ режи- ма	1	2	3	4

- измеряется увеличение температуры Δt воздуха в калориметре термометром 6. Показания всех 9 бордов можно использовать для расчетов лишь при установившемся тепловом режиме калориметра, который наступает при достижении постоянной, не изменяющейся во времени температуры;

- при установившемся тепловом режиме измеряют температуру t_1 и давление воздуха по барометру, напряжение и силу тока на нагревателе; часовой расход воздуха сообщается преподавателем; температура воздуха на выходе из калориметра $t_2 = t_1 + \Delta t$;

- рассчитывается значение мощности по равенству (3);
 - определяют величину V_H по формуле (5);
 - затем определяют значение средней объемной изобарной теплоемкости по соотношению (2) (расчет проводится для четырех режимов работы установки);

- результаты экспериментальных измерений записывают в табл. 1;
 - температуру воздуха на входе в калориметр t_1 записывают дважды: в начале и конце каждого опыта;

- далее по равенству (6) рассчитывают среднюю мольную изобарную теплоемкость для 4-х режимов работы калориметра;

- а по формуле (7) рассчитывают массовую изобарную теплоемкость;

- по равенству (10) рассчитывают четыре значения показателя адиабаты (показатель адиабаты для воздуха равен 1,4);

- и, наконец, по формулам (11) и (12) определяют энтальпию и внутреннюю энергию воздуха.

Полученные значения $C_{pm} / t_1^{t_2}$ сравнивают с табличными (табл.

2) для интервала рабочих температур t_1 и t_2 .

Погрешность эксперимента определяют по формуле

$$\Sigma = \frac{C_{pm} / t_1^{t_2} - (C_{pm} / t_1^{t_2})_{табл.}}{(C_{pm} / t_1^{t_2})_{табл.}} \cdot 100\%. \quad (13)$$

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по выполняемой работе должен содержать:

5.1. Цель работы;

где

$$Q = 3,6 \cdot \overset{8}{U} \cdot J, \quad (3)$$

где: U – напряжение в вольтах на нагревателе калориметра;

J – сила тока в амперах.

Для определения V_H предварительно рассчитывают объемный расход воздуха при его параметрах

$$V = \frac{M}{\rho}, \quad (4)$$

где: M – массовый расход воздуха в калориметре (1 кг/ч и 1,5 кг/ч);

ρ – плотность воздуха, равная 1,2 кг/м³.

Величина V_H определяется из равенства

$$V_H = V \cdot \frac{T_H}{T_I} \cdot \frac{B}{P_H}, \frac{м^3}{ч}, \quad (5)$$

где: T_H – абсолютная температура, соответствующая нормальным физическим условиям ($T_H = 273$ К);

P_H – давление при нормальных физических условиях ($P_H = 760$ мм рт. ст.);

B – атмосферное давление в лаборатории, мм рт. ст.;

T_I – абсолютная температура воздуха на входе в калориметр ($T_I = t_1 + 273$ К).

Рассчитав среднюю объемную изобарную теплоемкость воздуха по равенству (2), определяют среднюю мольную изобарную теплоемкость

$$\mu \cdot C_{pm} / t_1^{t_2} = 22,4 \cdot C_{pm} / t_1^{t_2}, \frac{кДж}{кмоль \cdot К}. \quad (6)$$

Затем рассчитывают среднюю массовую изобарную теплоемкость

$$C_{pm} / t_1^{t_2} = \frac{\mu \cdot C_{pm} / t_1^{t_2}}{\mu} = \frac{22,4 \cdot C_{pm} / t_1^{t_2}}{\mu}, \quad (7)$$

где: 22,4 – объем одного киломоля газа при нормальных физических

условиях, м³/кмоль;

μ – молекулярная масса воздуха, кг/кмоль (для воздуха $\mu = 29,27$ кг/кмоль).

Кроме $C_{pm} / t_1^{t_2}$ необходимо рассчитать среднюю массовую изохорную теплоемкость $C_{vm} / t_1^{t_2}$. Так как воздух по своим свойствам близок к идеальному газу, то связь между теплоемкостями выражается формулой

$$C_{pm} / t_1^{t_2} = C_{vm} / t_1^{t_2} + R \quad (8)$$

где: R – газовая постоянная (для воздуха равна $287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, или $0,287 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$).

Из равенства (8) находим

$$C_{vm} / t_1^{t_2} = C_{pm} / t_1^{t_2} - R, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \quad (9)$$

Далее, используя данные опыта, необходимо вычислить величину показателя адиабаты для воздуха:

$$K = \frac{C_{pm} / t_1^{t_2}}{C_{vm} / t_1^{t_2}}. \quad (10)$$

И в итоге, для каждой разности температур ($t_2 - t_1$) следует рассчитать энтальпию:

$$\Delta h = C_{pm} / t_0^{t_2} \cdot t_2 - C_{pm} / t_0^{t_1} \cdot t_1, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (11)$$

И также внутреннюю энергию:

$$\Delta u = C_{vm} / t_0^{t_2} \cdot t_2 - C_{vm} / t_0^{t_1} \cdot t_1, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (12)$$

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка, схема которой приведена на рис.1, включает в себя проточный калориметр 1, в который воздух подается вентилятором 2. Калориметр состоит из двух стеклянных трубок 3 и 4

с теплоизоляцией на наружной поверхности. На оси внутренней трубки 3 расположен электрический нагреватель 5. Температура воздуха, поступающего в вентилятор (калориметр), измеряется термометром. А температура нагретого воздуха на выходе из внутренней трубки регистрируется термометром 6. Электрическая мощность нагревателя калориметра измеряется вольтметром 7 и амперметром 8. Питание нагревателя, вентилятора и термометра 6 осуществляется от источника тока 9. Источник питания позволяет изменить количество подводимого тепла к воздуху в калориметре и напряжения на электродвигателе вентилятора (расход воздуха). Включение и отключение установки осуществляется с пульта управления (обычно преподавателем). Изменение режима работы установки производится непосредственно на пульте управления ее.

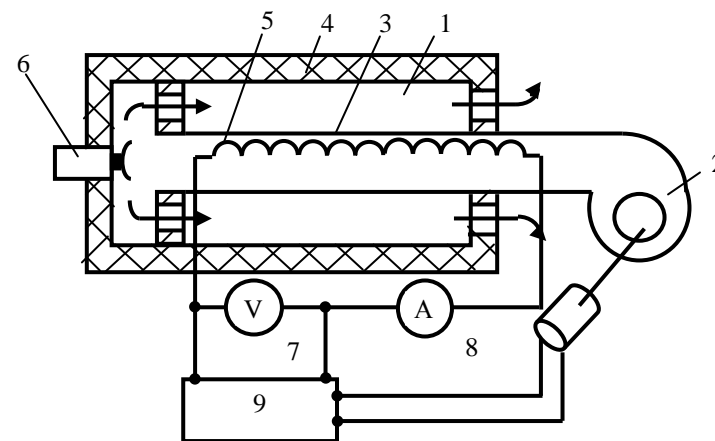


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная работа выполняется в следующем порядке:

- включается источник питания 9 и вентилятор 2 для прокачки воздуха через калориметр 1;
- с помощью регулятора 1 источника питания 9 устанавливается

требуемая мощность на нагревателе 5;

7