МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра энергетики и технологии металлов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ПО ИЗМЕРЕНИЮ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №3
по курсам теплотехники, термодинамики и теплопередачи
для студентов специальностей 190201, 190202, 190601, 190603,
190702, 150202, 151002, 280100, 200503

Курган, 2010

Рецензент - доцент Соловьев Г. И.

Кафедра энергетики и технологии металлов

Курс: "Теплотехника, термодинамика и теплопередача"

Составили: проф., докт. техн. наук Боченин В.И., раздел 2

доц., канд. техн. наук Ивашко А.Г., раздел 5

доц., канд. техн. наук Попов Г.А., разделы 3, 4

Подготовила и переработала к переизданию: ст. преподаватель Семкина И.А.

Утверждены на заседании кафедры " 18 " марта " 2010г

Рекомендованы методическим советом университета " 27 " мая " 2010г

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Каждый студент перед выполнением лабораторной работы должен изучить данные методические указания, соответствующий раздел теоретического курса и методические указания по самостоятельной подготовке к лабораторным работам. На занятиях студенты закрепляют материал, относящийся к данной работе. После проверки знаний студенты приступают к выполнению лабораторной работы при условии удовлетворительных ответов на вопросы преподавателей. В противном случае студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются, как неподготовленные.

Включение и выключение приборов и аппаратов лабораторной установки производится только преподавателем или лаборантом.

Выполнение лабораторной работы завершается представлением отчета по установленной форме и его защитой. Все вычисления необходимо выполнять в системе СИ.

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

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ: определение показателя адиабаты воздуха по измерению скорости звука методом стоячей волны.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЯСНЕНИЯ:

Процесс без теплообмена с окружающей средой ($dq = 0$) называется адиабатным. Уравнение адиабаты имеет вид

$$p \cdot V^K = Const\,, \qquad (1)$$

где p - давление, V- объем.

Величину $K = \dfrac{C_p}{C_v}$ называют показателем адиабаты. Подставив в "K" уравнение Майера ($C_p = C_v + R$), получим

$$K = 1 + \frac{R}{C_v} \qquad (2)$$

Величина K не зависит от температуры и определяется числом степеней свободы молекул газа. Для одноатомного газа K = 1,66, а двухатомного - K = 1,33. Поскольку $K > 1$, то в координатах p ,V линия адиабаты идет круче, чем изотермы (рис. 1). При адиабатном расширении давление снижается быстрее, чем при изотермическом.

Скорость звука в идеальном газе определяется соотношением

$$a = \sqrt{K \cdot R \cdot T} \qquad (3)$$

где $K = \frac{C_p}{C_v}$ показатель адиабаты (C_P, C_V – изобарная и изохорная теплоемкости газа); R - удельная газовая постоянная (для воздуха R = 288 Дж/кг·К); T - абсолютная температура газа, К. Таким образом, измеряя скорость звука в воздухе и его температуру, можно по равенству (3) определить показатель адиабаты.

Измерение скорости звука выполняется методом стоячей волны. Механическая волна представляет собой колебательный процесс в упругой среде. Такая среда состоит из большого числа связанных друг с другом частиц, совершающих колебания. При возбуждении колебаний в одной из частиц, она становится центром распространявшейся волны. Скорость распространения волны называется фазовой скоростью.

Различают следующие типы волн. Волны, у которых направление скорости движения частиц перпендикулярно направлению фазовой скорости, называются поперечными. У таких волн происходит чередование горбов и впадин (рис. 2). Если направления скорости колебаний и фазовой скорости совпадают, то волны называют в этом случае продольными (рис. 2). У этих волн чередуются области

сгущения и разрежения.

Направление распространения волны называют лучом. Волновой фронт перпендикулярен лучу и представляет собой геометрическое место всех частиц, колеблющихся с одинаковой фазой. Расстояние между соседними волновыми фронтами называют длиной волны (λ). Плоскими называют волны, фронт которых имеет форму плоскости, в лучи параллельны.

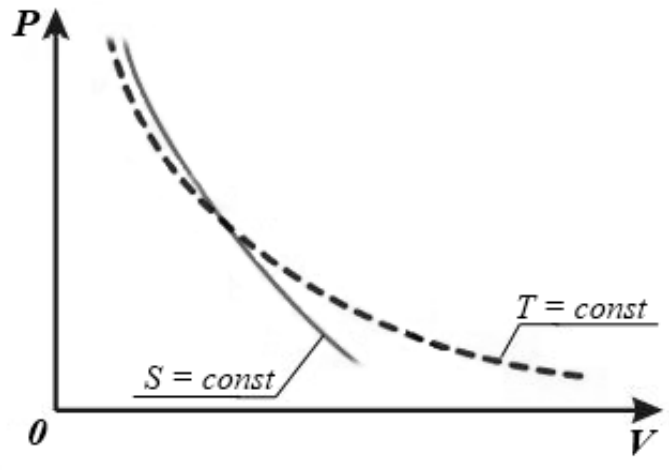

Рис. 1. Графическое изображение изотермического и адиабатического процессов

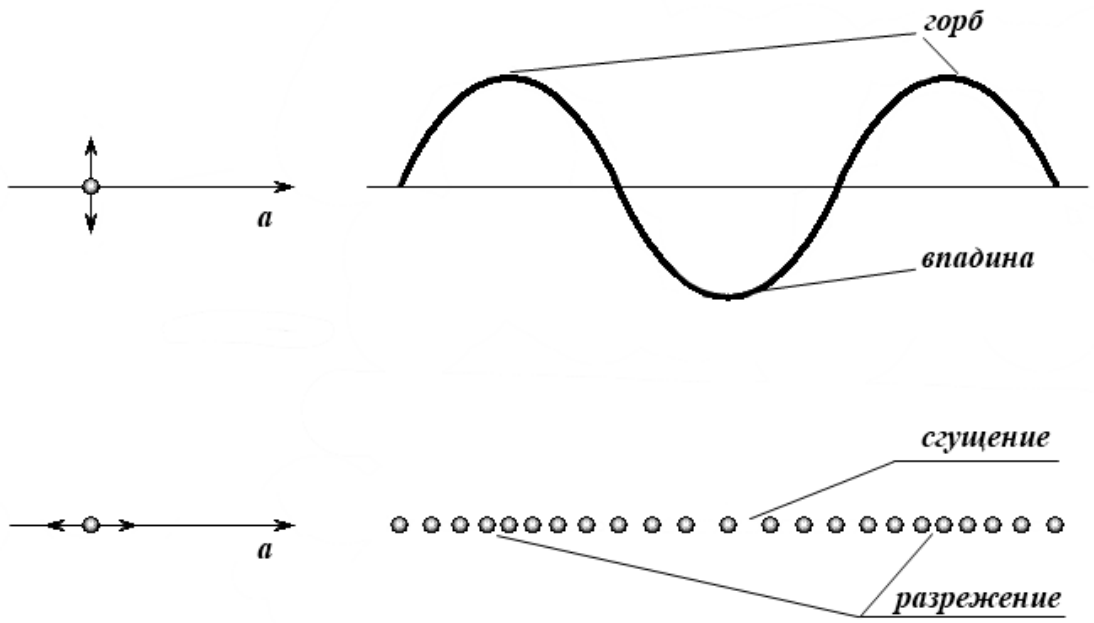

Рис. 2. Схематическое изображение распространения звуковых волн

При полном или частичном отражении одномерной волны (например, колебаний струны) на границе (среда 1-2) фаза скачком изменяется на величину π. Если среда 2 является более "плотной", то ей соответствует меньшая фазовая скорость. Скачок фазы на π, означает, что горб приходящей волны после отражения превращается во впадину (и наоборот).

Две волны, распространяющиеся в среде навстречу друг другу, при сложении образуют стоячую волну, если имеют одинаковые амплитуды и длину. Такому условию отвечают падающая плоская волна и отраженная.

При образовании стоячей волны в некоторых точках пространства амплитуда колебаний частиц среды возрастает вдвое по сравнению с амплитудой накладывающихся волн. Это происходит потому, что в эти точки обе встречные волны приходят постоянно в одинаковой фазе. Такие точки называются пучностями. Точки, в которые волны приходят все время в противоположных фазах, называются узлами смещения. В них не происходят колебания частиц среды, так как алгебраическая сумма отклонений всегда равна нулю.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема установки представлена на рис. 3. Установка состоит из трубы 7 длиной 0,65 м с расположенным на ней нагревателем 6, который питается от сета переменного тока через трансформатор 3.

Температура воздуха в трубе измеряется цифровым прибором 5, соединенным с термопарой 4. При этом на табло прибора высвечивается число, определяющее температуру воздуха в °С.

Звуковые волны в трубе возбуждаются излучателем 2, питаемым от звукового генератора 1. Сигнал от излучателя воспринимается приемником 8 и регистрируется осциллографом 9.

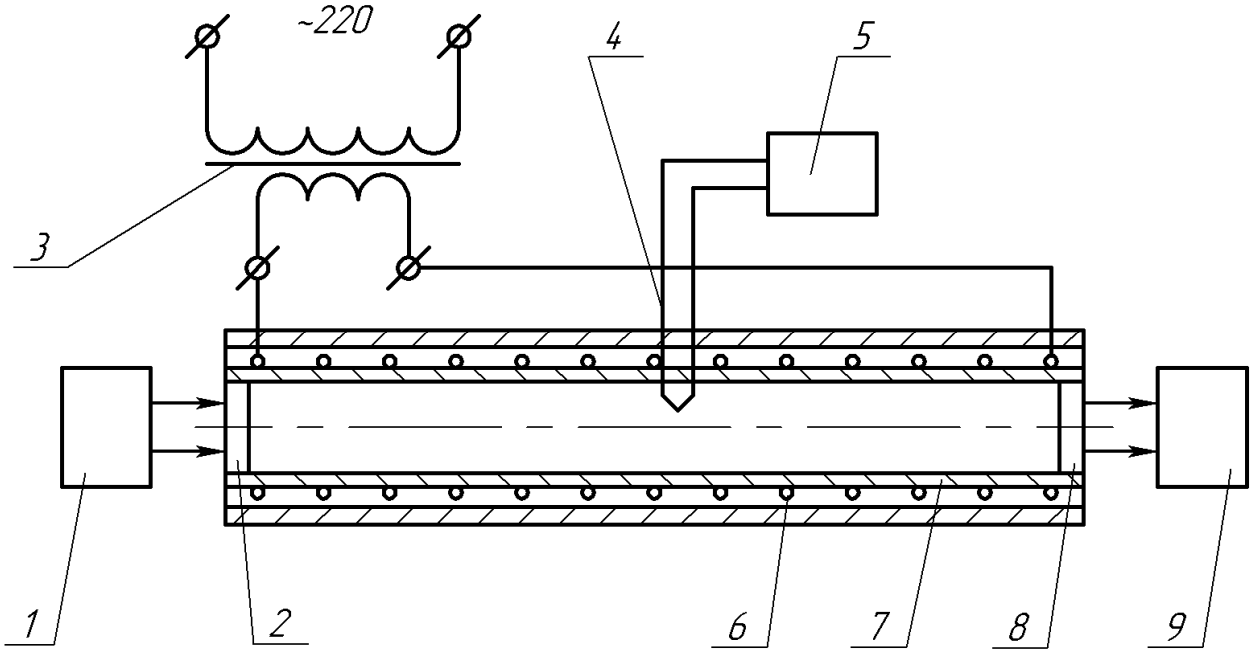

Рис. 3. Схема экспериментальной установки

При отражении бегущей волны от закрытого конца трубы в ней образуется при определенной частоте стоячая, волна. Расстояние между двумя соседними узлами равно половине длины волна. Установлению стоячей волны в трубе соответствует резкое возрастание амплитуды звуковых колебаний, регистрируемых осциллографом.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

Перед началом работы проверить положение тумблеров, переключателей и ручки настройки приборов:

Звуковой генератор.

- Тумблеры "Вкл." должны быть установлены в положение "Выкл.";
- переключатель - множитель - в положение "x10";
- переключатель усиление - в положение "0 дБ";

Осциллограф.

- Кнопка "Вкл." - в отжатом положении;

- ручки, резисторов настройки изображения (◎ ⬭ ☼ - ручки регулировки фокусировки, астигматизма и яркости; ↕ ↔ - ручки перемещения луча по вертикали и горизонтали; ◢У - ручка плавной регулировки чувствительности; УРОВ, СТАБ - ручки регулировки режимов стабильной работы генератора развертки) должны быть установлены в средние положения;

- переключатель "вольт/дел." - в положение "0,05";
- переключатель "время/дел." - в положение "1".

Цифровой прибор.

- переключатель "сеть Вкл." - в положение "Выкл.";
- переключатель режима работы - в положение "°С".

Панель установки.

- <u>тумблер "Нагрев" - в положение "Выкл."!</u>

Порядок выполнения опыта

1. Включить в сеть:
- звуковой генератор тумблером;
- осциллограф кнопкой "Вкл.";
- цифровой прибор включателем "Сеть".

2. После прогрева генератора и осциллографа (2-3 минуты) установить частоту 200 Гц.

3. Настроить осциллограф, отрегулировав ручками настройки изображение на экране осциллографа (расположение изображения, сфокусированность, яркость и т.д.).

<u>Примечание: Чрезмерная яркость изображения ведет к преждевременному "износу" экрана осциллографа.</u>

4. Первый опыт проводить при комнатной температуре (т.е. t_1 = (I5...25)°C.

Начиная с 200 Гц увеличивать частоту сигнала, идущего от звукового генератора, ступенчато через 10 Гц, добиваясь образования в трубе стоячей волны. О возникновении стоячей волны свидетельствует возрастание амплитуды колебаний на экране осциллографа до максимума.

Необходимо следить, чтобы изображение сигнала не выходило за пределы экрана осциллографа, чего можно достичь использованием переключателя "вольт/дел.".

Частота, при которой произошло образование стоячей волны, определяется с точностью до единицы, и значение частоты заносится в таблицу 1.

5. Для определения числа полуволн, уложившихся на длине трубы, достаточно двух значений частоты ν_n ν_{n+1} (при частотах, заключенных между ν_n и ν_{n+1}, стоячая волна не образуется).

Для повышения надежности и точности получаемых результатов необходимо определять три значения частоты ν_n , ν_{n+1} и ν_{n+2}, соответствующих образованию стоячих волн (см. табл. 1).

6. Включить нагрев воздуха в трубе тумблером на панели установки и следить за температурой воздуха в трубе по показаниям цифрового прибора.

Таблица I

№№ пп	Наименование величины	Обозна-чение	Ед. изм.	Номер опыта			
				1	2	3	4
1.	Температура воздуха	t	°C				
2.	Первая частота, при которой наблюдается стоячая волна	ν_n	Гц				
3.	Вторая частота, при которой наблюдается стоячая волна	ν_{n+1}	Гц				
4.	Третья частота, при которой наблюдается стоячая волна	ν_{n+2}	Гц				

7. Выполнить опыты, согласно пунктам 4, 5 для трех различных температур t_2, t_3, t_4. Рекомендуемые значения температур t_2 = (35...40)°С; t_3 = (55..,.60)°С; t_3 = (75...80)°С.

Для проведения опытов при выбранной температуре t_i. необходимо. при достижении температуры воздуха значения t_i выключить нагрев, после чего в течении 15 минут температура воздуха будет равна (t_i ± 1,5) °С, что достаточно для определения трех значений частот стоячей волны.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Скорость звука определяется по формуле:

$$a = \lambda \cdot \nu \tag{4}$$

где λ - длина волны, м;

ν - частота звука, 1/с, Гц.

Стоячая волна образуется каждый раз, когда на длине трубы L = 0,65 м укладывается целое число полуволн λ /2, т.е.:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}, \tag{5}$$

где n - целое положительное число (т.е. n =1, 2, 3 ...).

Отсюда:

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

Подставляя (5) в (4), получим уравнение для определения скорости звука

$$a = \frac{2L \cdot \nu_n}{n} \qquad (6)$$

где ν_n - частота звука, при которой на длине L укладывается ровно n полуволн. Число " n " определяется из наблюдения двух последовательных состояний колеблющейся системы, при которых устанавливаются стоячие волны, следующим образом:

$$a_1 = \frac{2L \cdot \nu_n}{n_1} = \frac{2L \cdot \nu_{n+1}}{n+1}; \quad a_2 = \frac{2L \cdot \nu_{n+1}}{n_2} = \frac{2L \cdot \nu_{n+2}}{n_2+1} \qquad (7)$$

Отсюда:

$$n_1 = \frac{\nu_n}{\nu_{n+1} - \nu_n}.; \qquad n_2 = \frac{\nu_{n+1}}{\nu_{n+2} - \nu_{n+1}}. \qquad (8)$$

Полученные значения n_1, и n_2 округляют до ближайшего целого числа.

Таким образом, определив n_1, и n_2 по данным измерений с помощью уравнения (8). вычисляют скорость звука a_1 и a_2 по формулам (7) и затем определяют среднюю скорость звука в воздухе при данной его температуре.

По результатам вычислений рассчитывают показатель адиабаты для каждого значения температуры по формуле:

$$K = \frac{a^2}{RT} \qquad (9)$$

и строят график зависимости средней скорости звука от температуры.

Результаты вычислений сводят в табл. 2.

Таблица 2

№№ пп	Наименование величины	Обозна-чение	Ед. изм.	Номер опыта			
				1	2	3	4
1.	Температура воздуха	t	°С				
2.	Значения частот	ν_n	Гц				
		ν_{n+1}	Гц				
		ν_{n+2}	Гц				
3	Число полуволн	n_1	-				
4	Число полуволн	n_2	-				
5	Скорость звука	a_1	м/с				
6	Скорость звука	a_2	м/с				
7	Средняя скорость звука	a	м/с				
8	Показатель адиабаты	K	-				

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по выполненной работе должен включать:

а) цель работы;

б) схему установки с указанием её элементов;

в) таблицу результатов измерений (табл. 1);

г) обработку результатов опытов (основные формулы, пример расчета для одной температуры, табл. 2);

д) график зависимости a (T);

е) выводы по работе.

КОНТРЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как называются устройства, обозначенные в работе излучателем, приемником?

2. Почему при образовании стоячей звуковой волны в трубе амплитуда возрастает не вдвое, а в 5...10 раз?

3. Отражаются ли механические волны от менее плотной среды?

4. Почему в замкнутом пространстве стоячая волна образуется только в том случае, если на длине его укладывается целое число полуволн?

5. Объясните физическую картину отражения волны, если на длине трубы не укладывается целое число полуволн.

6. Как с помощью результатов эксперимента рассчитать теплоемкость воздуха?

Виктор Иванович Боченин

Александр Григорьевич Ивашко

Геральд Алексеевич Попов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ПО ИЗМЕРЕНИЮ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №3
по курсам теплотехники, термодинамики и теплопередачи
для студентов специальностей 190201, 190202, 190601, 190603,
190702, 150202, 151002, 280100, 200503

Авторское издание

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип №1
Печать трафаретная	Усл.п.л. 1,0	Уч. изд.л. 1,0
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.