

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования -
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

Н.А. МАНАКОВ, В.А.ПОМАЗКИН, Е.В.ЦВЕТКОВА

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 128

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Оренбургский государственный
университет».

Оренбург 2009

УДК 536.4(07)
ББК 22.317я7
М 23

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, доцент Влацкий Ф.Д.

Манаков, Н.А.

М 23 Влияние температуры на скорость распространения звука в воздухе: методические указания к лабораторной работе № 128 /Н.А.Манаков, В.А.Помазкин, Е.В.Цветкова. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 10 с

Методические указания предназначены для студентов дневного, вечернего и заочного факультетов технических специальностей для выполнения лабораторной работы № 128 «Влияние температуры на скорость распространения звука в воздухе».

ББК 22.317я7

© Манаков Н.А., 2009
© ГОУ ОГУ, 2009

Лабораторная работа № 128

Влияние температуры на скорость распространения звука в воздухе

Цель работы:

- 1 Познакомиться с феноменом распространения в воздухе звуковой волны.
- 2 Изучить влияние внешних факторов на скорость распространения звуковых волн.
- 3 Экспериментально определить величину скорости звука при разных температурах и тепловой коэффициент ускорения звука.

Введение

Колеблющееся материальное тело, помещенное в упругую среду, будет приводить в колебательное движение прилегающие к нему участки среды. Последние в свою очередь будут действовать на соседние частицы и приводить их также в колебательное движение и т. д. Таким образом, колеблющееся материальное тело (струна, мембрана, голосовые связки и др.) вызывают появление в упругой среде возмущений в виде чередующихся сгустков и разрежений среды, которые перемещаются от источника этих неоднородностей в периферические области. Это явление распространения колебаний в упругой среде называется **волной**.

В рамках данной работы мы будем иметь дело с простыми гармоническими колебаниями среды (от греческого *harmoso* – приводить в порядок). Эти колебания можно описать с помощью уравнения гармонических колебаний:

$$x = A \sin \omega t \quad (1)$$

где: A – **амплитуда колебания** (максимальное отклонение от точки равновесия),

ωt – **фаза колебания** (время прошедшее с начала колебания, выраженное в радианах),

ω – **циклическая или круговая частота**, равная числу полных колебаний, совершаемых в течение 2π секунд.

Время, в течение которого совершается одно полное колебание, называется **периодом колебания** T . Число колебаний, совершаемое в единицу времени, называется **частотой колебаний** n . Эти величины связаны между собой следующим образом:

$$T = 1/f \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T \quad (3)$$

В силу специфики самой среды, в ней могут возникать как **продольные**, так и **поперечные** колебания. Если частицы среды совершают колебания в плоскости, перпендикулярной направлению движения волны, то такие колебания называют **поперечными**. Волны, в которых колебания частиц среды совершаются в направлении движения волнового процесса, называют **продольными**. В твердых телах возможно возникновение как поперечных, так и продольных волн. Поскольку жидкости и газы не обладают упругостью сдвига, в них могут распространяться только продольные колебания, представляющие собой чередующиеся сгущения и разрежения среды, удаляющиеся от источника колебаний с определенной характерной для данной среды скоростью. Граница, отделяющая колеблющиеся частицы среды от ещё не начавших колебаться, носит название **фронта волны**. В однородной изотропной среде направление распространения всегда перпендикулярно к фронту волны.

Специфические ощущения, воспринимаемые нами как звук, являются результатом воздействия на слуховой аппарат человека колебательных движений упругой среды – чаще всего воздуха. В силу физиологических свойств человеческого уха, мы можем воспринимать эти колебания в диапазоне частот от 16-18 герц, до 10-17 000 герц (в зависимости от индивидуальных особенностей конкретного человека). Звуки ниже 16 герц называют **инфразвук**, а выше 20 000 герц – **ультразвуком** (1 герц – это одно колебание в секунду). Принято скорость распространения звуковых волн называть **скоростью звука**. Путь, пройденный звуковой волной за время, равное одному периоду, называют **длиной волны** λ :

$$\lambda = v \cdot T = v/f \quad (4)$$

где v – скорость распространения звуковой волны или **скорость звука**.

Если на пути следования звуковой волны встречается не прозрачное для её прохождения препятствие, то волна от него отражается и начинает распространяться в противоположном направлении. Рассмотрим движение волны в пространстве, ограниченном размерами цилиндрической трубы - резонатора, один конец которой заглушен пробкой. С помощью динамика или телефона возбудим у открытого конца трубы звуковые колебания. Отразившись от закрытого конца, волна пойдет навстречу первой и, налагаясь друг на друга, эти волны будут интерферировать (поскольку они когерентны), т.е. будут усиливать или ослаблять друг друга в соответствии с **принципом суперпозиции**. Степень усиления или ослабления колебаний будет определяться разностью фаз, с которыми волны приходят в данную точку пространства. При определенных соотношениях между длиной волны и размерами трубы-резонатора, внутри её возникнет волна, положение максимумов и минимумов которой в пространстве будут находиться во вполне определенных местах, не изменяя своего положения

во времени. Такая волна называется **стоячей волной**. В точках, где фазы обеих волн одинаковы, волны складываются и их результирующая амплитуда удваивается. Такие точки с максимальной амплитудой называются **пучностями стоячей волны**. В точках, куда приходят колебания в противофазе, они взаимно уничтожаются и в них наблюдаются **узлы стоячей волны**. Расстояние между двумя соседними пучностями или узлами равно половине длины волны $\lambda/2$. В трубчезвонаторе только тогда возникает стоячая волна, когда на её длине укладывается целое число длин полуволн. Следовательно, зная длину резонатора и частоту колебаний воздуха, можно в соответствии с формулой (3) определять скорость распространения звука.

Из курса механики известно, что скорость распространения звука в газах определяется как:

$$v = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} \quad (5)$$

где P – давление, а ρ – плотность газа. Поскольку давление P не только зависит от плотности ρ , но и от температуры T , необходимо уточнить как следует понимать производную $\frac{dP}{d\rho}$. И. Ньютон предложил считать $\frac{dP}{d\rho}$, как частную производную при постоянной температуре. Это соответствует предположению, что разности температур между сгущениями и разрежениями воздуха в звуковой волне мгновенно выравниваются и распространение звука происходит по изотермическому процессу, т.е. плотность и давление связаны между собой законом Бойля-Мариотта:

$$\frac{P}{\rho} = \text{Const} \quad (6)$$

Тогда формула (5) переходит в формулу Ньютона:

$$v_n = \sqrt{\frac{P}{\rho}} = \sqrt{\frac{RT}{\mu}} \quad (7)$$

где v_n – скорость звука, рассчитанная по формуле Ньютона, μ – молекулярная масса газа. Однако, вычисленные по формуле (7) и полученные экспериментально данные имеют существенные различия. Эти расхождения были устранены П. С. Лапласом. Он указал, что колебания плотности и связанные с ним колебания температуры в звуковой волне происходят настолько быстро, а теплопроводность воздуха так мала, что для таких процессов теплообмен не играет никакой существенной роли. Следовательно, распространение звука можно считать адиабатическим процессом. Учитывая это, а также, используя уравнение Клапейрона-

Менделеева, Лаплас нашел, что звук в воздухе будет распространяться согласно закону:

$$v_{\text{л}} = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}} \quad (8)$$

Где: $\gamma = C_p / C_v$ - отношение теплоёмкостей при постоянном давлении (C_p) к теплоемкости при постоянном объеме (C_v),

R – универсальная газовая постоянная,

T – температура по шкале Кельвина, μ – молярная масса.

Из формулы видно, что скорость распространения звука по Лапласу ($v_{\text{л}}$) в $\sqrt{\gamma}$ больше, чем скорость по Ньютону ($v_{\text{н}}$). Поскольку $\gamma = \frac{i+2}{i}$ (см. формулу Майера), где i – число степеней свободы молекул газа, в широком диапазоне от температуры не зависит, видно, что скорость звука будет возрастать пропорционально корню квадратному из абсолютной температуры. Известно, что при увеличении температуры на 1 °С скорость звука возрастает приблизительно на 0,5 м/с. В воздухе при нормальных условиях принято считать, что скорость распространения звука равна приблизительно 340 м/с. В жидкостях и твердых телах звук распространяется значительно быстрее: в воде около 1500 м/с, в стали – 5000 м/с. Рекордсменом является бериллий, звук в котором распространяется со скоростью 12000 м/с.

Описание экспериментальной установки

В настоящей работе определение скорости звука основано на явлении интерференции звуковых волн в трубе – резонаторе. Зная длину резонатора $L = 0,18$ м, возбуждаем в нем с помощью звукового генератора переменной частоты (подбирая соответствующую частоту n) стоячую волну λ и, используя уравнение (4), определяем скорость распространения звука v .

Экспериментальная установка выполнена в виде трех блоков (Рисунок 1), смонтированных на одной раме. Блок А – резонатор-термостат, блок В – звуковой генератор, блок С – регулировка и управление работой термостата, питание генератора, контроль температуры термостата и режимов питания нагревателя термостата.

Основной блок А - «Резонатор» (Рисунок 2), в который входит металлическая труба 1, закрытая с одного конца крышкой 6, в противоположный конец которой вмонтирован микрофон 5 и динамик 4. На трубе равномерно распределен нагреватель 2. Температура воздуха в трубе контролируется датчиком температуры 3. Динамик подключен к звуковому генератору (блок В), частоту которого можно плавно изменять ручкой «Частота» (Рисунок 1), контролируя её значение по индикатору «Генератор». Уровень сигнала генератора регулируется ручкой

«Амплитуда». Индикаторная система, подключенная к микрофону, позволяет по яркости свечения светодиода «инд» определять максимальную амплитуду стоячей звуковой волны, возникающей около нижнего торца резонатора. Температуру термостата, напряжение и ток обмотки нагревателя контролируют прибором ИСТ – 4К, подключая его к измеряемой цепи переключателем. Значение температуры стабилизации резонатора задаются переключателем «термостат». Светодиоды «сд» контролируют режим стабилизации температуры. Регулятор «питание» позволяет изменять величину напряжения и тока в обмотке нагревателя термостата.

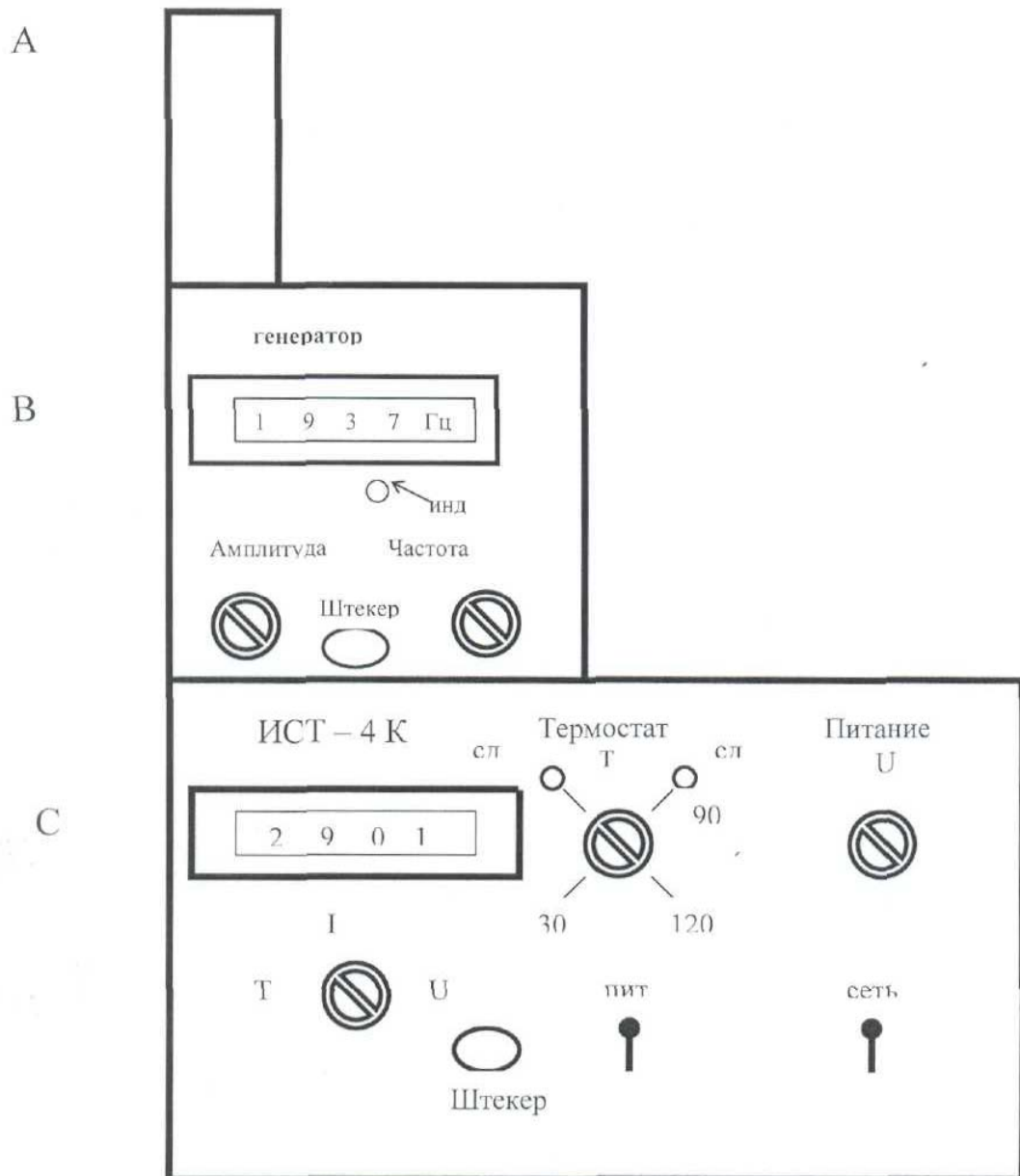


Рисунок 1- Блок-схема экспериментальной установки

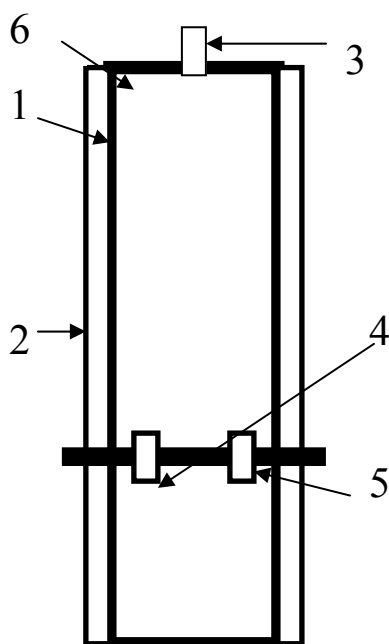


Рисунок 2 - Принципиальная схема блока А – «резонатор-термостат»

Порядок выполнения работы

Прежде, чем подключить прибор к сети, необходимо проверить следующее:

- штекера блоков В и С должны быть соединены специальным шлангом;
- тумблера «сеть» и «пит» должны быть в выключенном состоянии (ключи вниз);
- регуляторы «Питание» и «Термостат» повернуть против часовой стрелки до упора.

- 1 Включаем тумблер «сеть». Должны загореться цифровые индикаторы блока генератора, ИСТ – 4К и зеленый светодиод термостата.
- 2 Ставим переключатель ИСТ – 4К в положение T_1 и определяем температуру воздуха в резонаторе.
- 3 Определяем скорость распространения звука при температуре T_1 . Для этого ставим регулятор «Амплитуда» в среднее положение и регулятором «Частота» плавно начинаем изменять частоту звука до той поры, пока индикатор не вспыхнет максимально ярко. По шкале генератора находим частоту f_1 ($N=1$), которая равна будет около 1000 герц, что соответствует основному тону нашей стоячей волны. Затем, плавно увеличивая частоту генератора, найдем вторую гармонику f_2 (N

=2) и третью гармонику f_3 ($N=3$), ($f_2 \approx 2f_1$; $f_3 \approx 3f_1$). Каждую частоту определяем не менее трех раз. Скорость звука находим по формуле:

$$v = \frac{2Lf_i}{N} \quad N = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

Результаты измерения заносим в первую графу таблицы 1. Скорость звука находим как среднее арифметическое этих измерений.

Таблица 1

№ п/п	T_1 °C	$f_1(N=1)$ Гц	$f_{1\text{cp}}$ Гц	$f_2(N=2)$ Гц	$f_{2\text{cp}}$ Гц	$f_3(N=3)$ Гц	$f_{3\text{cp}}$ Гц	v м/с	v_{cp} м/с	α град
1								f_1		
								f_2		
								f_3		
2								f_1		
								f_2		
								f_3		
3								f_1		
								f_2		
								f_3		
4								f_1		
								f_2		
								f_3		
5								f_1		
								f_2		
								f_3		

- Нагреваем термостат до температуры приблизительно 45-50 °C. Для этого ставим переключатель ИСТ-4К в положение U_1 и регулятором «Питание» устанавливаем на нагревателе термостата напряжение 19-20 вольт. Переключив переключатель ИСТ-4К в положение I_1 , убеждаемся, что ток по обмотке нагревателя идет. Переключатель «Термостат» ставим в положение между 30 и 60. После того, как температура стабилизируется (включится красный фотодиод), измеряем скорость звука при этой температуре, измерив её по шкале ИСТ-4К при положении переключателя T_1 .
- Далее, изменяем температуру в резонаторе переключателем «Термостат», ставя его в положение между 60 - 90 - 120, измеряем температуру стабилизации (при положении T_1), и, дождавшись когда загорится красный фотодиод, определяем значение скорости звука при этой температуре. Определяем v не менее, чем при 3-4 значениях температуры.

- 6 Для каждого температурного интервала находим средний коэффициент теплового ускорения единицы скорости звука при изменении температуры на 1°C по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta v_{cp}}{\Delta T} \cdot \frac{1}{v_n} \quad (10)$$

где: v_n – начальное значение скорости звука,
 Δv_{cp} – среднее значение изменения скорости, соответствующее изменению температуры на ΔT градусов.

Находим значение α как среднее арифметическое всех вычислений:

$$\alpha = \frac{\sum \alpha_i}{n} \quad (11)$$

где n – число слагаемых в числителе.

По окончании измерений, переведите ручки регулировки температуры и напряжения в нулевое положение, отключите тумблеры «питание» и «сеть».

Контрольные вопросы

- 1 Запишите уравнение гармонических колебаний. Дайте определения: амплитуда, фаза, частота, циклическая частота, период колебания.
- 2 Что такое стоячая волна и условия ее возникновения. Длина волны.
- 3 Распространения звука по И. Ньютону и П. С. Лапласу.
- 4 Уравнения Бойля-Мариота, уравнение Пуассона.
- 5 Почему вопреки результатам нашего эксперимента звук у берегов «Туманного Альбиона» (Англия) распространяется быстрее, чем в песках знойной Сахары, где температура воздуха достигает 70°C и даже выше?
- 6 Какой принцип положен в основу приборов, предсказывающих приближение шторма на море? (Скорость движения жестокого штормового фронта порядка 30-40 м/с).

Список использованных источников

- 1 Савельев, И.В. Курс физики: учебник / И.В.Савельев. – М.: Наука, 1992. – 304 с.
- 2 Трофимова, Т.И. Курс физики: учебник / Т.И.Трофимова. – М.: Высшая школа, 1990. – 478 с.
- 3 Яворский Б.М. Справочное руководство по физике / Б.М.Яворский, Ю.А.Селезнев. – М.: Наука, 1989. – 575 с.