

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОМУ
ПРАКТИКУМУ
ПО КОЛЕБАНИЯМ И ВОЛНАМ
ФПВ**

2007



САМАРА

\bookfoldsheets0 ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

УДК 530.1
ББК 22.236.35



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий"**

И. П. ЗАВЕРШИНСКИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ ПО КОЛЕБАНИЯМ И ВОЛНАМ ФПВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний*

Рецензент д-р техн. наук, проф. А. Ю. П р и в а л о в

Методические указания к лабораторному практикуму по колебаниям и волнам ФПВ: метод. указания / сост. *И. П. Завершинский*. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 16 с. : ил.

Методические указания предназначены для лабораторного практикума по колебаниям и волнам. Содержатся методические указания для лабораторных работ №6-3 «Изучение звуковых волн» и № 6-4 «Изучение собственных колебаний струны».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям "Прикладные математика и физика", "Физика" и др.

УДК 530.1
ББК 22.236.35

САМАРА
Издательство СГАУ
2007

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2007

Лабораторная работа №6-3

ИЗУЧЕНИЕ ЗВУКОВЫХ ВОЛН

Приборы и принадлежности:

Устройство измерительное ФПВИ03.01.00.00.00, объект исследования ФПВ03.01.00.00.00, стержень ФПВ03М.01.03.00.00, щуп.

1 Вводная часть

Цель лабораторной работы:

Определение скорости распространения продольных звуковых волн в воздухе и твердых телах.

Для выполнения поставленной цели следует:

- Изучить понятия «бегущая волна», «стоячая волна» и ответить на контрольные вопросы.
- Выполнить экспериментальную и расчетную части работы, следуя настоящим методическим указаниям.
- Составить отчет.

2 Стоячие волны

Упругие волны в среде, имеющие частоту от 16 до 20000 Гц, называются звуковыми волнами. Звуковая волна в газе - продольная волна, т. е. распространяющаяся в пространстве последовательность чередующихся областей сжатия и разрежения газа. Теоретическое значение скорости звуковых волн зависит от температуры T и молярной массы газа μ :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}, \quad (1)$$

где γ — постоянная адиабаты, R — универсальная газовая постоянная. Для воздуха вблизи комнатных температур $T = 300$ К; $\gamma = 1,4$; $\mu = 29$ кг/кмоль. Волны в безграничных средах или в ограниченных средах с полностью поглощающими границами называют бегущими, в а ограниченных — стоячими, то есть при наложении двух встречных плоских волн с одинаковой амплитудой возникает колебательный процесс, называемый стоячей волной. При этом переноса энергии не происходит.

Для волны, бегущей по оси x : $\xi_1(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$. Для волны, бегущей против оси x : $\xi_2(x, t) = A \cos(\omega t + kx)$. Для простоты мы положили

равным нулю значение начальных фаз этих волн. Сумма этих уравнений и дает уравнение стоячей волны:

$$\xi(x, t) = \xi_1(x, t) + \xi_2(x, t) = A \cos(\omega t - kx) + A \cos(\omega t + kx + \pi) = 2A \sin kx \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (2)$$

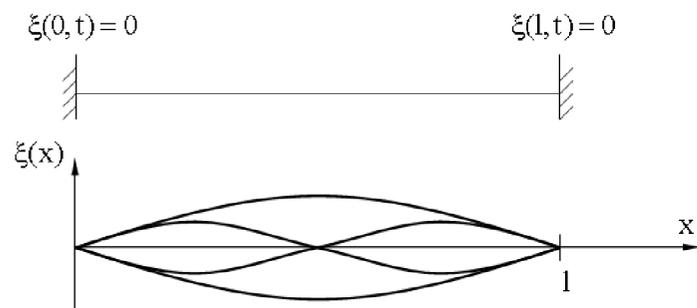


Рис. 1. Картина стоячих волн в одномерном резонаторе

Точки, координаты которых удовлетворяют условию $kx = \frac{2\pi x}{\lambda} = \pm(2n+1)\frac{\pi}{2}$, $n = 0, 1, 2, \dots$ (рис. 1), называется *пучностями*. Координаты пучностей

$$x_n = \pm(2n+1)\frac{\lambda}{4}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

Точки, координаты которых удовлетворяют условию $kx = \frac{2\pi x}{\lambda} = \pm\pi n$, $n = 0, 1, 2, \dots$ (рис. 1), называется *узлами*. Координаты узлов

$$x_n = \pm n\frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

3 Устройство и принцип работы

3.1 Определение скорости звуковых волн в воздухе основано на измерении длины стоячей волны, установившейся в волноводе, путем измерения расстояния между источником звука (громкоговоритель) и приемником звука (микрофон) при измерении разности фаз сигналов последних $\Delta\varphi = n\lambda$, где $n = 0, 2, 4$ и т.д.; $c = \lambda v = Lv$, где c - скорость звука в воздухе; λ - длина звуковой волны; v - частота генератора; L - расстояние между громкоговорителем и микрофоном, соответствующее разности фаз колебаний при $\Delta\varphi = 0$,

$\Delta\varphi = 2\pi$, $\Delta\varphi = 4\pi$ и т.д. Разность фаз при изменении расстояния между источником и приемником звука может измеряться любым общепринятым методом.

3.2 Определение скорости звуковых волн в твердых телах (сталь, алюминий, латунь) основано на резонансном методе. На концах стержней из алюминия и латуни запрессованы шайбы из ферромагнитного материала (на стержне из стали нет шайбы). Стержень жестко закреплен в плоскости геометрического места тяжести. С одной стороны стержня на расстоянии 0.1-0.3 мм находится датчик. Изменяя частоту генератора, меняют частоту тока протекающего через датчик. Конец стержня при этом начинает колебаться с частотой тока и в стержне возникают продольные волны, которые воспринимаются приемником, находящимся на расстоянии 0.1-0.3 мм от второго конца стержня, преобразуются им в электрический сигнал, амплитуда которого пропорциональна амплитуде продольных колебаний стержня. Сигнал усиливается и измеряется любым методом. В частности для измерения может использоваться вертикальный канал осциллографа. При определенном значении частоты можно получить в стержне стоячую волну, сопровождающуюся резонансом, т. е. собственная резонансная частота стержня кратна возбуждающей частоте, что сопровождается максимальным увеличением амплитуды приемного конца стержня и, соответственно, сигнала приемника. При первой резонансной частоте на стержне уложатся две четверти стоячей волны. Зная длину стержней, можно определить длину звуковой волны и рассчитать скорость распространения её в стержне

$$c = 2Lv, \quad (5)$$

где L - длина стержня; v - частота генератора.

3.3 Установка выполнена в настольном исполнении и состоит из объекта исследования и устройства измерительного (см. рис. 2).

3.4 Объект исследования состоит из волновода и резонатора. Волновод представляет собой воздушный канал, на одном конце которого закреплен громкоговоритель, а на другом перемещаемый микрофон. Для измерения расстояния между микрофоном и громкоговорителем предусмотрена миллиметровая шкала. Резонатор выполнен в виде желоба, в средней части которого закрепляется металлический стержень (сменный), а на концах установлены датчик и приемник. Воздушные зазоры между концами стержня и датчиком (приемником) могут регулироваться с помощью ручек и устанавли-

ливаться с помощью щупа, помещаемого при регулировке между концом стержня и датчиком. Объект исследования с помощью стойки устанавливается в штативе.



Рис. 2 Установка для работы № 6-3

3.5 В состав устройства измерительного входят генератор синусоидальных колебаний с усилителем мощности для возбуждения колебаний в громкоговорителе и датчике и частотомер для измерения частоты генератора.

3.6 На задней стенке находятся разъём для подключения объекта исследования, гнезда для подключения осциллографа, клемма заземления, сетевой шнур с вилкой, сетевые предохранители и сетевой выключатель. На передней панели размещены следующие органы управления:

- кнопка "МЕТАЛЛ — ВОЗДУХ" для установки режима работы установки;
- ручки "ЧАСТОТА ГРУБО" и "ЧАСТОТА ТОЧНО" - для установки частоты генератора (частоты возбуждаемой волны);
- ручка "УРОВЕНЬ" - для установки необходимой амплитуды выходного напряжения генератора (уровень возбуждения);
- жидкокристаллический дисплей, на котором индицируется текущий режим работы ("METAL" или "AIR"), значение измеренной частоты в герцах.

4 Порядок работы

4.1 Установите в резонатор требуемый по условиям лабораторной работы стержень. Выставьте при помощи щупа и соответствующих регуляторов на объекте исследования зазоры между датчиком и стержнем около 0,1 мм.

4.2 Подключите сетевой шнур устройства измерительного к сети и включите установку выключателем "СЕТЬ" на задней панели устройства измерительного. На жидкокристаллическом дисплее устройства измерительного появится измерянное значение частоты и текущий режим работы (по включению питания — "METAL"). Включите осциллограф согласно его эксплуатационной документации. Прогрейте установку в течение 5 мин.

4.3 *Определение скорости распространения продольных звуковых волн в воздухе.*

4.3.1 Нажмите кнопку "МЕТАЛЛ — ВОЗДУХ". На дисплее должен отобразиться текущий режим работы "AIR".

4.3.2 Ручками "ЧАСТОТА ГРУБО" и "ЧАСТОТА ТОЧНО" установите необходимую частоту возбуждения громкоговорителя. Значение частоты отображается на жидкокристаллическом дисплее устройства измерительного (значения частот должны быть определены в методике проведения лабораторной работы).

4.3.3 Регулируя ручкой "УРОВЕНЬ" установки и ручками усиления канала (каналов) осциллографа, убедитесь в том, что амплитуда сигналов, поступающих на осциллограф с генератора и микрофона при передвижении микрофона вдоль волновода, достаточна для проведения измерений согласно условий лабораторной работы.

4.3.4 Перемещая микрофон относительно громкоговорителя, начиная с минимального расстояния и замеряя разность фаз сигналов (с помощью фигур Лиссажу или наложением сигналов), найти расстояния при $\Delta\varphi = 0$ (первое усиление), $\Delta\varphi = 2\pi$ (второе усиление), $\Delta\varphi = 4\pi$, $\Delta\varphi = 2m\pi$, и т.д.

4.3.5 Таким образом, $l_m - l_1 = (m-1)\frac{\lambda}{2}$. Вычислив отсюда длину волны,

находим скорость звука $c = \lambda\nu$.

4.3.6 Подсчитать число усилений звука.

4.3.7 Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.

4.3.8 Измерения провести при 5 частотах.

Таблица 1

№ опыта	ν , Гц	l_1 , мм	l_m , мм	m	$l_m - l_1$, мм	λ , мм	c , м/с
1							
...							

4.3.9 Рассчитать среднеквадратичную погрешность проведенного косвенного измерения.

4.3.10 Записать окончательный результат в виде

$$c = \langle c \rangle \pm \Delta c .$$

4.4. *Определение скорости распространения продольных звуковых волн звуковой частоты в твердых телах.*

4.4.1 Нажмите кнопку "МЕТАЛЛ — ВОЗДУХ". На дисплее должен отображаться текущий режим работы "METAL Ручку УРОВЕНЬ установить в крайнее правое положение.

4.4.2 Плавно изменяя ручками "ЧАСТОТА ГРУБО" и "ЧАСТОТА ТОЧНО" частоту возбуждения датчика и следя по осциллографу за сигналом приемника, получите резкое увеличение амплитуды сигнала, что соответствует образованию стоячей волны и резонанса.

При этом для получения более острого резонанса возможна дополнительная регулировка зазора между стержнем и датчиком (приемником). Значение частоты отображается на жидкокристаллическом дисплее устройства измерительного.

Примечание: Допускается наблюдение иных резонансов, значительно меньших амплитуд, на более низких частотах, что не связано с резонансом системы датчик — стержень — приемник. По этому рекомендуется не устанавливать усиление осциллографа менее чем 0.2 вольт/деление.

4.4.3 Повторите вышеуказанные действия, предварительно установив стержень из другого материала и отрегулировав зазоры.

4.4.4 Дальнейшие действия выполнять в соответствии с пунктами 4.3.4 – 4.3.10.

5 Контрольные вопросы

1. Что представляют собой звуковые волны?
2. Опишите метод измерения скорости звука, применяемый в данной работе.
3. Чем объяснить расхождение в скорости звука, полученные в опыте на разных частотах?
4. В чем состоит явление резонанса?
5. Явление резонанса обычно относят к колебательным процессам. Какой смысл придается этому явлению в данном случае?

ИЗУЧЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ

Приборы и принадлежности:

1. Устройство измерительное ФПВИ04.01.00.00.00.
2. Объект исследования ФПВ04.00.00.00.00.

1. Вводная часть

Цель лабораторной работы:

Изучение законов колебания струны.

Для выполнения поставленной цели следует:

- Изучить понятия бегущая волна, стоячая волна и ответить на контрольные вопросы.
- Выполнить экспериментальную и расчетную части работы, следуя настоящим методическим указаниям.
- Составить отчет.

2 Вынужденные колебания струны

Задача о вынужденных колебаниях струны с закрепленными концами в среде без сопротивления, к которой с момента $t = 0$ приложена гармоническая сила $\Phi(x,t)$ описывается уравнениями с граничными условиями для смещения s

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + 2\gamma \frac{\partial s}{\partial t} - c^2 \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} = \Phi(x) e^{i\omega t}, \quad (6)$$

$$s(0,t) = 0, \quad s(l,t) = 0, \quad (7)$$

где γ - коэффициент затухания колебаний струны; $c^2 = T/\rho$ - фазовая скорость распространения изгибных волн в струне; T - натяжение струны.

Решение уравнения (6) будем искать в виде суммы

$$s(x,t) = s_1(x,t) + s_2(x,t), \quad (8)$$

где $s_1(x,t)$ - общее решение однородного уравнения

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + 2\gamma \frac{\partial s}{\partial t} - c^2 \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} = 0,$$

а $s_2(x,t)$ - частное решение уравнения (6). Общее решение однородного уравнения имеет характер затухающих колебаний:

$$s_1(x,t) = \sum_{m=1}^{\infty} e^{-\gamma t} s_m(x) A_m \cos(\omega_m t - \varphi_m), \quad (9)$$

где $s_m(x)$ - фундаментальные функции струны; A_m - амплитуда колебаний; φ_m - фаза этих колебаний. Если время действия внешней силы значительно больше, чем время затухания основного тона $t \gg \gamma^{-1}$, то к моменту времени t собственные колебания прекратятся и останутся только вынужденные. Частота вынужденных колебаний этом равна частоте вынуждающей силы, а амплитуда колебаний отдельных точек струны зависит от амплитуды силы. Эту зависимость можно найти, решив уравнение струны с правой частью (6). Для получения этого решения заметим, что смещение должно зависеть от времени по гармоническому закону с частотой вынуждающей силы

$$s_2(x, t) = s(x) e^{i\omega t}. \quad (10)$$

После подстановки функции $s_2(x, t)$ из (10) в уравнение с правой частью получим уравнение

$$\left(-\omega^2 + 2\gamma\omega\right) s(x) - c^2 \frac{d^2 s}{dx^2} - \Phi(x) = 0. \quad (11)$$

Решение уравнения (6) будем искать в виде ряда Фурье по фундаментальным функциям колебаний струны. С этой целью подставим в это уравнение $s(x)$ и $\Phi(x)$ в форме рядов Фурье:

$$s(x) = \sum_{m=1}^{\infty} \sigma_m s_m(x), \quad \Phi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} \Phi_m s_m(x), \quad (12)$$

где $s_m(x) = \sin \frac{\pi m}{L} x$, Φ_m - коэффициенты ряда Фурье, равные

$$\Phi_m(x) = \frac{2}{L} \int_0^L \Phi(\xi) \sin \frac{\pi m \xi}{L} d\xi.$$

В результате несложных преобразований получим

$$\sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[-\omega^2 + 2i\omega\gamma + c^2 \left(\frac{\pi m}{L} \right)^2 \right] \sigma_m - \Phi_m \right\} \sin \frac{\pi m x}{L} = 0.$$

Это уравнение может выполняться для любых значений координаты. Отсюда следует, что для любого целого m выполняется равенство нулю выражений, заключенных в фигурные скобки, т. е.

$$\left[-\omega^2 + 2i\omega\gamma + c^2 \left(\frac{\pi m}{L} \right)^2 \right] \sigma_m - \Phi_m = 0, \quad \text{где } m = 1, 2, 3, \dots$$

В этих уравнениях Φ_m определены, если задана в явном виде силовая функция $\Phi(x)$. Поэтому их можно рассматривать как уравнения для коэффици-

ентов разложения $s(x)$ по фундаментальным функциям:

$$\sigma_m = \frac{\Phi_m}{\frac{\pi^2 m^2 c^2}{L^2} - \omega^2 + 2i\omega\gamma}. \quad \text{Таким образом, искомая функция } s(x,t) \text{ представ-$$

ляется в виде ряда

$$s(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\Phi_m}{\frac{\pi^2 m^2 c^2}{L^2} - \omega^2 + 2i\omega\gamma} \sin \frac{\pi m x}{L} \cos \omega t. \quad (13)$$

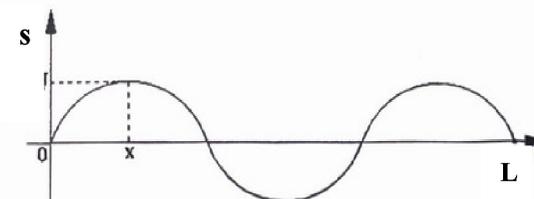


Рис. 3 Стоячая волна при $n = 3$

Если частота вынуждающей силы совпадает с частотой одного из обертонов

$$\omega = \omega_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}, \quad (14)$$

то из всех слагаемых суммы (13) наибольшее значение амплитуды имеет слагаемое с $m = n$:

$$s(x, t) = \frac{\Phi_n}{\frac{\pi^2 n^2 c^2}{L^2} - \omega^2 + 2i\omega\gamma} \sin \frac{\pi n x}{L} \cos \omega t + \text{слагаемые второго порядка}. \quad (15)$$

На рис.3 показана картина, образующаяся при $n = 3$, когда в струне образуется $n = 3$ полуволн.

3 Устройство и принцип работы

3.1 Принцип действия установки основан на возникновении сил, действующих на струну (проводник) с током в постоянном магнитном поле.

3.2 Картина колебаний натянутой струны осуществляется путем наложения друг на друга бегущих в разные стороны многократно отраженных волн. При некоторых частотах генератора и силе натяжения струны картина ста-

билизируется - в струне образуется стоячая волна. Частота, при которой образуется стоячая волна, определена соотношением (9).

3.3 Установка выполнена в настольном исполнении и состоит из объекта исследования и устройства измерительного, рис.4.

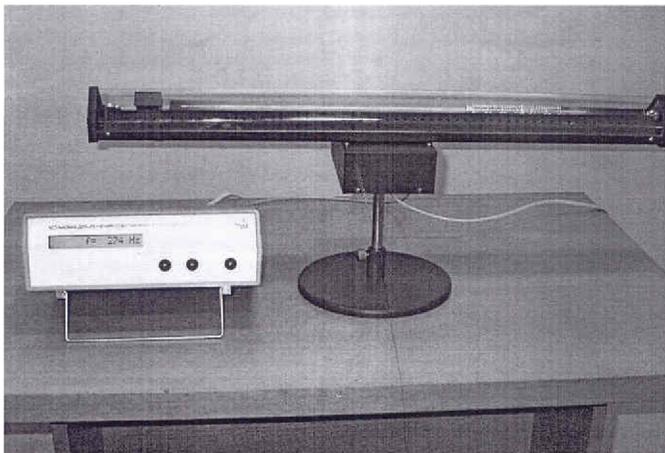


Рис. 4 Установка лабораторной работы № 6-4

3.4 Объект исследования состоит из жесткого основания, на котором закреплены постоянные магниты, между полюсами которых натянута струна, и механизма натяжения струны. Один конец струны жестко крепится к основанию, а второй прикреплен к тарировочной пружине. Второй конец пружины механически связан с винтовым механизмом, при помощи которого осуществляется изменение натяжения струны. Сила натяжения струны измеряется при помощи указателя, перемещающегося по шкале при изменении натяжения струны. Измерение длины стоячих волн, образующихся на струне, производится по миллиметровой шкале, нанесенной на прозрачный кожух, закрывающий переднюю стенку объекта исследования. Для улучшения видимости струны, за ней размещена лампа подсветки. Устройство питания лампы выполнено в виде отдельного блока и размещается под основанием объекта исследования. На задней панели устройства питания лампы находятся кабель для соединения с устройством измерительным, шнур для подключения к сети, сетевой выключатель, предохранители и

клемма заземления. Объект исследования с помощью стойки устанавливается в штатив.

3.5 В состав устройства измерительного входят генератор синусоидальных колебаний с усилителем мощности для возбуждения колебаний струны и частотомер для измерения частоты генератора.

3.6 На задней стенке находятся разъем для подключения объекта исследования, клемма заземления, сетевой шнур с вилкой, сетевые предохранители и сетевой выключатель. На передней панели размещены следующие органы управления:

- ручки "ЧАСТОТА ГРУБО" и "ЧАСТОТА ТОЧНО" - для установки частоты генератора;
- ручка "УРОВЕНЬ" - для установки необходимой амплитуды выходного напряжения генератора (амплитуда колебаний струны);
- жидкокристаллический дисплей.

4 Порядок работы и обработки результатов

4.1 Подключите установку к сети 220 В. Нажмите кнопку СЕТЬ устройства питания лампы. После этого должна загореться лампа подсветки струны. Нажмите кнопку СЕТЬ устройства измерительного. После этого должна засветиться подсветка жидкокристаллического дисплея устройства измерительного, и на дисплее будет индцироваться значение текущей выставленной частоты.

4.2 Дайте установке прогреться в течение 3 - 5 мин.

4.3 Установите натяжение струны 0,4 Н. Ручку "УРОВЕНЬ" установите в среднее положение.

4.4 Изменяя при помощи ручек "ЧАСТОТА ГРУБО" и "ЧАСТОТА ТОЧНО" частоту в диапазоне 20-45 Гц, получите одну хорошо различимую полуволну на всей длине струны.

4.5 Увеличивая частоту кратно полученной, получите различные полуволны на других частотах. Максимальное число различных полуволн должно быть не менее четырех.

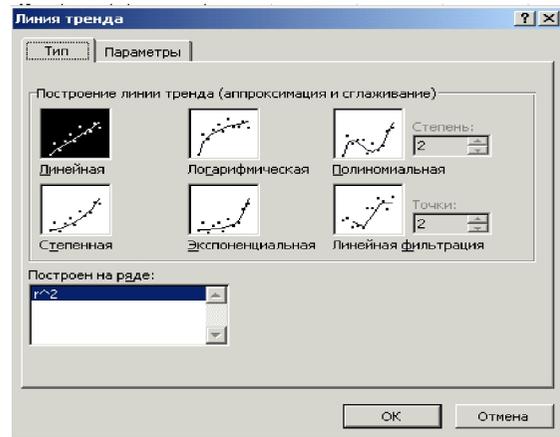
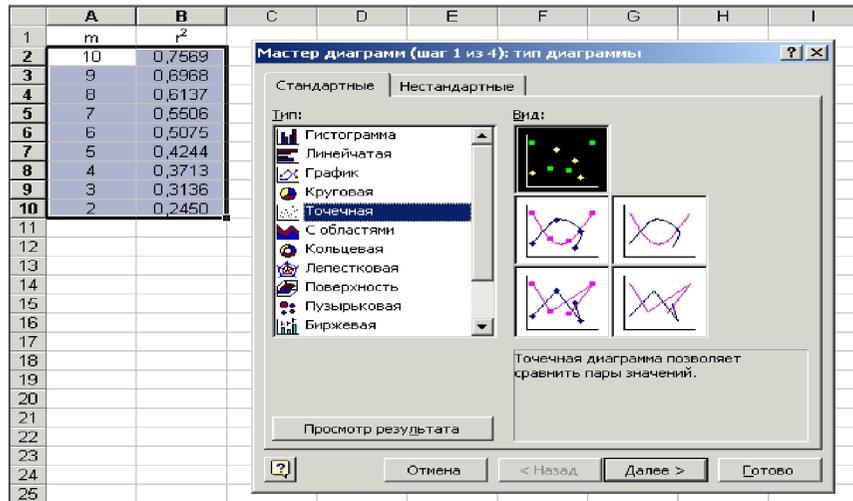
4.6 Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.

4.7 Измерения провести при 5 частотах в интервале от 20 до 200 Гц при пяти различных значениях натяжения струны.

4.8 По результатам измерений построить графики зависимости скорости

распространения поперечных колебаний в струне от натяжения нити, вычисляемой по формуле $c^2 = T/\rho$.

4.9 Получить разрешение преподавателя или дежурного инженера лаборатории на включение компьютера и принтера.



4.10 Открыть электронные таблицы с помощью команды Пуск – Программы – Microsoft Excel. Ввести в столбцы А и В экспериментальные данные для m и r_m^2 . Выделить диапазон ячеек, содержащих данные, с помощью левой кнопки мыши.

4.11 Запустить Мастер диаграмм с помощью команды Вставка – Диа-

грамма. В списке Тип выбрать пункт Точечная, в окне Вид выбираем первую диаграмму. Нажать кнопку Готово.

4.12 Добавить линию линейного тренда, которая является в данном случае графиком искомой прямой, выравнивающей набор экспериментальных данных по методу наименьших квадратов, с помощью команды Диаграмма – Добавить линию тренда. В открывшемся окне на закладке Тип выбрать

"линейный тренд". Перейти к закладке Параметры и установить галочки на флажках "показывать уравнения на диаграмме" и "поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2 ", щелкнуть по кнопке ОК. Для получения линии тренда за границами области данных нужно добавить в описанный выше алгоритм еще одно действие: на вкладке Параметры в области Прогноз в строке "назад на" установить требуемое количество единиц (здесь имеются в виду единицы используемого масштаба по горизонтальной оси).

Пример окончательного вида диаграммы:

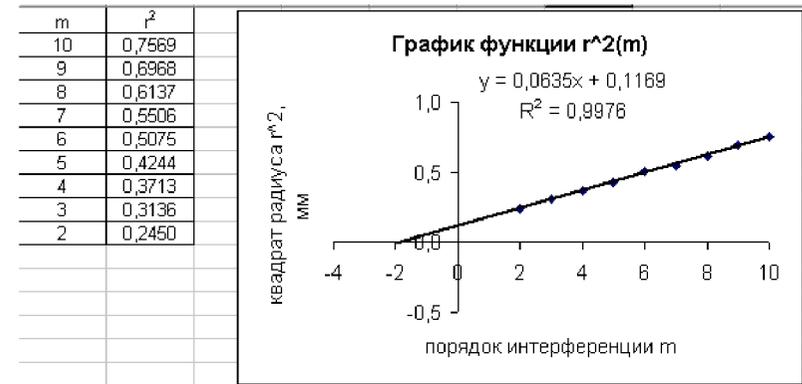


Таблица 2

№ опыта	ν , Гц	m	T , Па	c , м/с
1				
2				

5 Контрольные вопросы

1. Что такое стоячая волна?
2. Продольной или поперечной является волна в струне?
3. Какие деформации испытывает струна?
4. Опишите метод измерения скорости звука, применяемый в работе.
5. Чем объяснить расхождения в скорости звука, полученные в опыте на разных частотах?

Учебное издание

Завершинский Игорь Петрович

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ
ПО КОЛЕБАНИЯМ И ВОЛНАМ ФПВ**

Методические указания

Технический редактор А. Г. Храмов
Редакторская обработка А. А. Нечитайло
Корректорская обработка А. А. Нечитайло
Доверстка А. А. Нечитайло

Подписано в печать 26.09.07. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 1,0

Тираж 120 экз. Заказ . ИП-33/2007

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.