

КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей физики

Лабораторная работа № 8

*«Определение скорости распространения
ультразвуковых колебаний и модуля Юнга в твердых телах»*

Лаборатория № 211

Лабораторная работа № 8

«Определение скорости распространения ультразвуковых колебаний и модуля Юнга в твердых телах»

Цель работы: изучение распространения ультразвуковых колебаний в твердых телах.

Приборы и принадлежности: ультразвуковой дефектоскоп, УЗИС, исследуемые образцы.

Т е о р и я

Ультразвуком называется колебание, частота которых превышает 20 кГц. Самым простым типом ультразвуковых волн являются плоские волны. Среди них различают поперечные и продольные волны. У продольных волн смещение частиц происходит в направлении распространения волны, а у поперечных - в перпендикулярном.

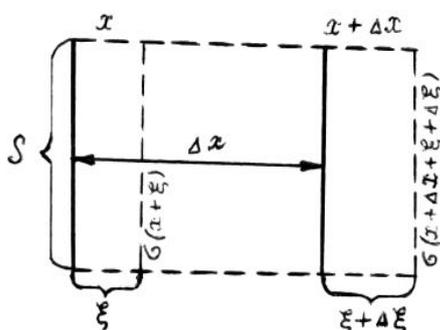


Рис. 1.

Пусть в направлении OX распространяется продольная плоская волна X . Выделим в среде цилиндрический объем высотой Δx с площадью основания S , равной 1. Смещения ξ частиц с разным Δx в каждый момент времени оказываются различными. Вид зависимости $\xi(x)$ изображен на рис.1.

Если основание цилиндра с координатой X имеет смещение ξ , то смещение основания с координатой $x + \Delta x$ будет $\xi + \Delta \xi$. Т.о. рассматриваемый объем деформируется, получает удлинение $\pm \Delta \xi$ или относительное удлинение $\Delta \xi / \Delta x$, которое дает среднюю деформацию цилиндра. Переходя к пределу при $\Delta x \rightarrow 0$ получим деформацию $\varepsilon = \frac{\partial \xi}{\partial x}$. Наличие деформации растяжения свидетельствует о существовании нормального напряжения $\sigma = \varepsilon E$, где E -

модуль Юнга среды. Относительная деформация ε и σ в фиксированный момент времени зависит от x .

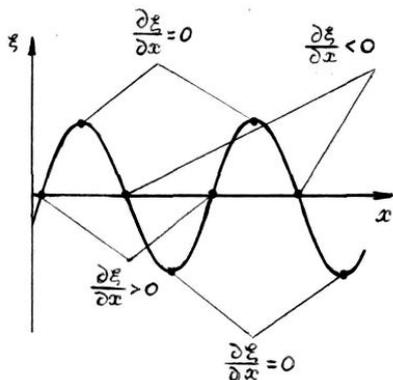


Рис. 2.

Из рис.2 ясно, что $\frac{\partial \xi}{\partial x}$ меняется, в точках ξ_{max} и ξ_{min} равна 0. Имеет максимум и минимум, т.е. положительные и отрицательные деформации чередуются друг с другом. Беря малым расстояние Δx , можно считать ускорение цилиндра $\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$. Масса цилиндра $dm = \rho_0 d_0 x$.

Сила, действующая на цилиндр, равна разности нормальных напряжений в сечении $x+\Delta x$ и x .

$$f = E(\varepsilon_{x+\Delta x} - \varepsilon_x) = E\left[\left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right)_{x+\Delta x} - \left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right)_x\right] = E \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right) \Delta x = E \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \Delta x.$$

Согласно закону Ньютона, имеем:

$$\rho \Delta x \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \Delta x, \quad \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{\rho}{E} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}.$$

А это есть частный случай волнового уравнения, когда, колебания распространяются вдоль одной оси Ox :

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

или в общем виде уравнения Лапласа:

$$\Delta \xi = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}.$$

Таким образом, имеем, что $\frac{1}{v^2} = \frac{\rho}{E} \rightarrow v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, т.е. фазовая скорость предельных упругих волн равна корню квадратному из E/ρ , где ρ - плотность среды.

В данной работе скорость распространения ультразвуковых волн в образцах твердых тел производится прибором УЗИС-76. Измерение основано на сравнении времени распространения ультразвука в образце и в эталонной

жидкости, для которой известна скорость распространения ультразвука.

Принцип работы прибора

На рис. 3 представлены блок-схема прибора и временные диаграммы электрических сигналов. Задающий блокинг-генератор вырабатывает прямоугольные импульсы длительностью около 6 мксек с частотой повторения порядка 800 гц. Эти сигналы запускают генератор высокочастотных импульсов и задающий мультивибратор. Вырабатываемый генератором высокочастотный (частотой 1,6 МГц) прямоугольный импульс одновременно возбуждает пьезопластины жидкостной (ЭЛ) и измерительной (ИЛ) линий. Задний фронт импульса, генерируемого задающим мультивибратором, вызывает срабатывание ждущего мультивибратора. Последний формирует прямоугольный импульс, сдвинутый относительно исходного на некоторое время. Импульсы ждущего мультивибратора используются для запуска генератора развертки, пилообразные сигналы которого подаются на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки, создавая при этом временную развертку.

Импульсы ультразвуковых колебаний, преобразованные приемными пьезопластинами в электрические сигналы, подаются после соответствующего усиления на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. На экране можно наблюдать импульс, прошедший через жидкостную линию и импульс, прошедший через измерительное устройство. Благодаря тому, что длительность импульсов задающего мультивибратора можно регулировать, имеется возможность изменения момента запуска генератора развертки, а, следовательно, и положения изображений на экране трубки. Для удобства наблюдений, в приборе наряду с медленной разверткой, предусмотрена быстрая, позволяющая рассматривать импульсы высокочастотных колебаний в крупном масштабе.

Вращая микрометрический винт, оператор может изменять расстояние

между пьезопластинами жидкостной линии, при этом изменяется возможность совместить оба высокочастотных сигнала на экране прибора. В момент совмещения берется отсчет по шкале микрометра. Таких отсчетов делается два: первый - без образца в измерительной устройстве (n_1), второй - с образцом (n_2). Время распространения ультразвука в образце равно:

$$\frac{n_1 - n_2}{V_{жс}} = \frac{L}{V}.$$

Здесь $V_{жс}$ - скорость звука в эталонной жидкости. Отсюда искомая скорость:

$$V = V_{жс} \frac{L}{n_2 - n_1}.$$

Работа с прибором

Во время работы прибор должен быть заземлен.

а) подготовка к включению

1. В станину измерительного устройства вставить линии задержки для продольных или поперечных волн.

2. Соединительные кабели присоединить в соответствии с рис. 3.

3. Ручки управления на передней панели прибора установить в следующие положения:

«Сеть» - выключено - вниз

«Яркость» - среднее

«Фокус» - среднее

«Развертка» -

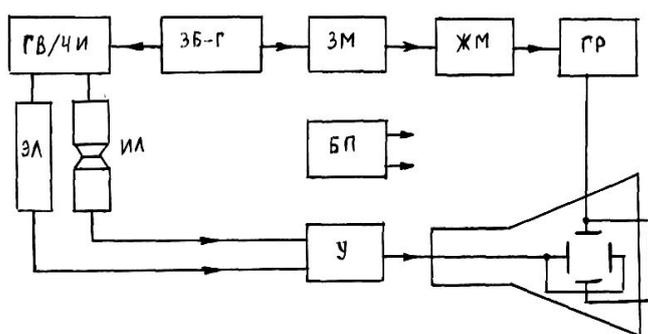
«Длинная - короткая» - «длинная» - вниз

«Усиление ИЛ» - крайние левые

«Эталонная линия» - выключено - вниз

«Усиление ЭЛ» - среднее

4. Шланг питания прибора включить в сеть переменного тока 50 Гц с напряжением 220 В.



ГВ/ЧИ - генератор в/ч импульсов
ЗБ-Г - задающий блокинг-генератор
ЗМ - задающий мультивибратор
ЖМ - ждущий мультивибратор
БП - блок питания
ГР - генератор развертки
У - усилитель
ИЛ - измерительная линия

Временные диаграммы

Импульс задающего блокинг-генератор

Импульс задающего мультивибратора

Импульс генератора высокой частоты

Импульс ждущего мультивибратора при медленной развертке

Импульс ждущего мультивибратора при быстрой развертке

Пилообразный импульс при медленной развертке

Пилообразный импульс при быстрой развертке

Импульсы (А) от измерительной линии и (В) от эталонной линии

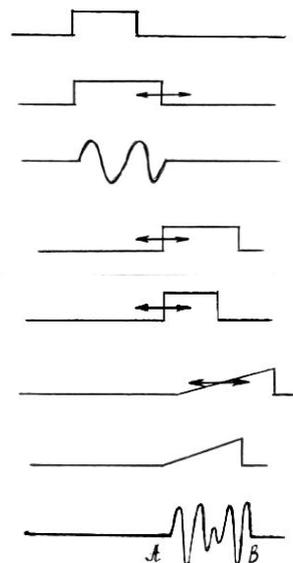


Рис. 3.

б) включение прибора

1. Выключатель «сеть» ставится в положение «вкл». При этом должна загореться сигнальная лампочка и через некоторое время на экране прибора появится развертка.

2. Через 2 минуты, вращая ручку «яркость», установить желаемую яркость изображения на экране.

3. Вращая ручку «фокус», добиться наиболее четкого изображения на экране. При необходимости, положение развертки на экране может быть скорректировано с помощью горизонтальной и вертикальной центров, расположенных с задней стороны прибора.

4. Осторожно ввести в соприкосновение стержни измерительного устройства, нанеся предварительно контактную смазку на их торцевые поверхности в соответствии с разделом в).

5. Включить эталонную линию, поставив ее выключатель в положение «вкл». При этом на экране должен появиться высокочастотный импульс, прошедший через жидкостную линию. Вращая ручку «усиление ЭЛ», установить амплитуду импульса величиной $25 \div 40$ мм.

6. Оперирова ручками усиления измерительного устройства (ИЛ) «грубо» и «плавно», установить амплитуду импульса, прошедшего через измерительные линии, примерно равной величине импульса жидкостной линии.

в) измерения

1. Вращая верхний стержень измерительной линии относительно нижнего, добиться по максимуму амплитуды наилучшего акустического контакта. Для того чтобы контактный слой был минимальным, верхний стержень желательно прижимать к нижнему с силой $3 \div 5$ кг.

2. Вращая ручку «Задержка грубо» сместить импульс измерительного устройства к левому краю развертки.

3. Включить быструю (короткую) развертку и отрегулировать положение импульса так, чтобы заранее выбранное колебание совпало с вертикальной линией на шкале прибора (см. рис. 4).

4. Установить ручки «Усиление грубо» и «Усиление «плавно» в крайние левые положения (при этом амплитуда импульса измерительного устройства уменьшается до нуля).

5. Вращая микрометрический винт, установить колебание импульса жидкостной линии в положение, соответствующее рис. 4.

6. Одновременно оперирова ручками «Усиление ИЛ» и микрометром, добиться компенсации импульсов измерительной и жидкостной линий. Поскольку пьезопластины жидкостной и измерительной линий нагружены на среды с резко отличными акустическими сопротивлениями, компенсация оказывается неполной (см. рис 4.).

7. Взять отчет по шкале микрометра (n_1).

8. Вставить между стержнями измерительного устройства образец,

предварительно нанеся его на контактную смазку.

9. Повторить операции по пунктам 1-6.
10. Взять отчет по шкале микрометра (n_2).
11. Рассчитать искомую скорость.

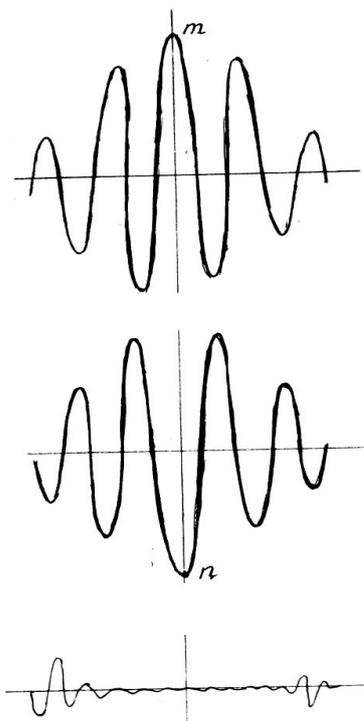


Рис. 4.

Контрольные вопросы

1. Какие колебания называются поперечными и продольными?
2. Каков физический смысл модуля Юнга и модуля сдвига?
3. Какую минимальную и максимальную длину волны могут иметь упругие колебания?

ВЫЧИСЛЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ИСПЫТУЕМОМ ОБРАЗЦЕ

1. Вычисление скорости распространения в образце производится по формуле:

$$V = \frac{l}{n_2 - n_1} v_{эм},$$

где l - толщина исследуемого образца в мм, n_1 - первый отсчет по шкале микрометрического винта (без образца), n_2 - отсчет по шкале микрометрического винта в с образцом в мм, $v_{эм}$ - скорость распространения ультразвуковых колебаний в эталонной жидкости, определяемая по прилагаемому графику (рис. 5) в зависимости от температуры в помещении.

2. Для продольных и поперечных волн справедливы выражения

$$v_{II} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad v_I = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

где E - модуль Юнга, G - модуль сдвига.

Из этих выражений определите значение E и G и оцените погрешности измерений.

3. Определите длину ультразвуковых волн в образце.

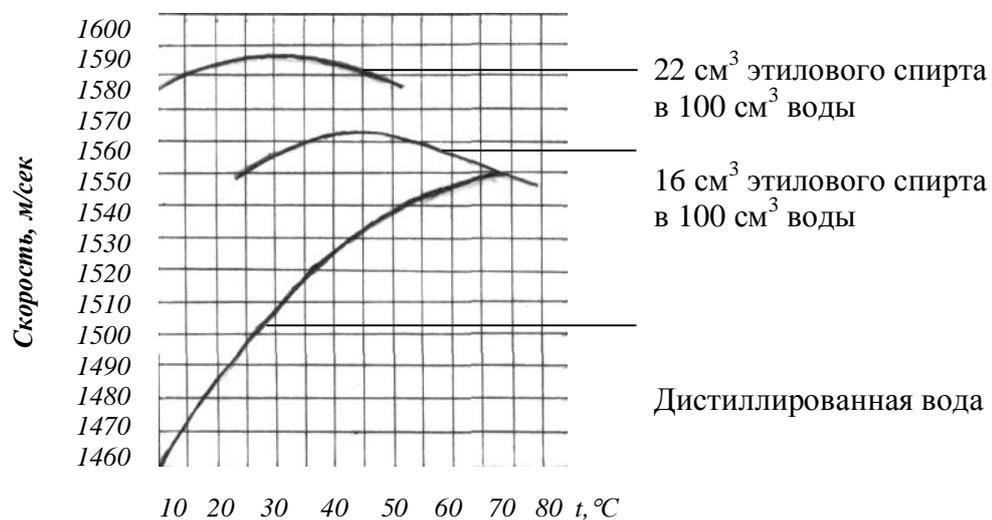


Рис. 5.

$$\rho_1 = 11 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3 (\approx 1,1 \text{ г/см}^3)$$

$$\rho_2 = 1348,7 \text{ кг/м}^3 (\approx 1,4 \text{ г/см}^3) - \text{черный образец}$$