

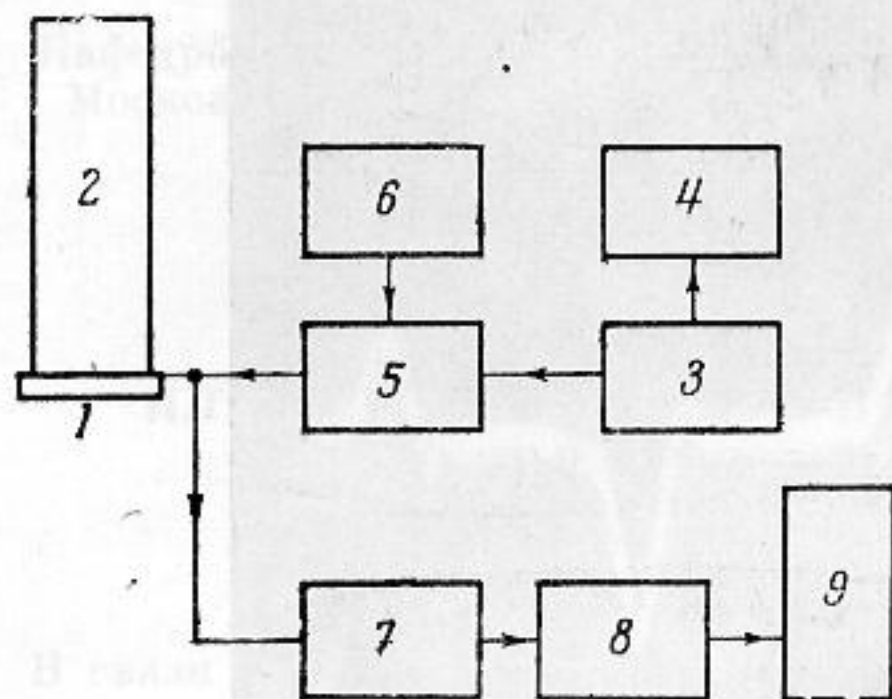
СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ И ЖИДКОСТЯХ

И. И. Первушин, Л. П. Филиппов

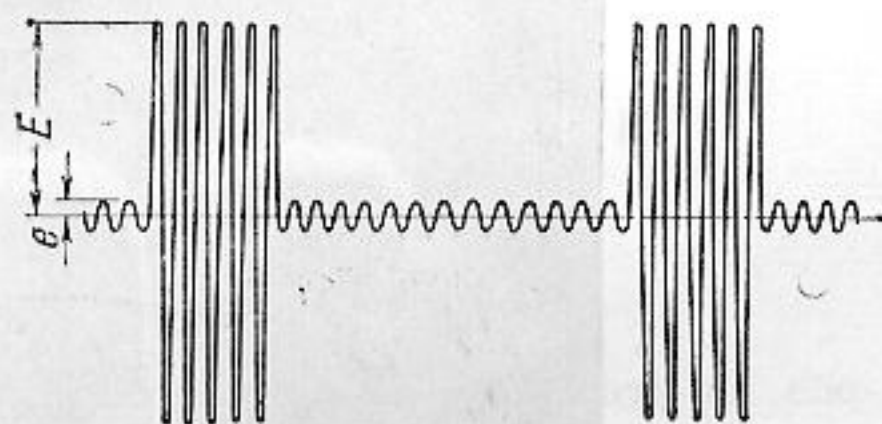
Предлагаемый способ измерения представляет собой некоторую разновидность интерферометрического метода, хотя в то же время имеет общие черты с импульсным методом и позволяет использовать аппаратуру, применяемую для импульсного измерения поглощения.

Рассматриваемый способ близок к методу импульсного интерферометра, предложенному Феофановым [1] и отличается от него так же как интерферометр с постоянным расстоянием от обычного интерферометра.

Сущность способа заключается в следующем. Акустическая часть установки (фиг. 1) представляет собой пьезоэлектрический кристалл 1, приклеенный к блоку 2 исследуемого твердого вещества или помещенный в жидкость параллельно отражающей поверхности на определенном расстоянии от последней. Кристалл 1 возбуждается



Фиг. 1



Фиг. 2

высокочастотным напряжением, модулированным согласно фиг. 2. При этом амплитуды «фона» e и «импульса» E отличаются приблизительно на два порядка. Для формирования такого напряжения синусоидальные колебания несущей частоты, создаваемые генератором 3, поступают в модулятор 5, где модулируются П-образными импульсами, поступающими от импульсного генератора 6.

(«Фон» проходит через модулирующую лампу в промежутках между П-образными импульсами, так как лампа при этом не полностью заперта.)

Частота несущей измеряется волномером 4. Имеющееся на обкладках пьезоэлемента напряжение усиливается усилителем 7 и после детектора 8 наблюдается на экране осциллографа 9 со ждущей разверткой. Типичная картина, получающаяся на экране, показана на фиг. 3. Первый выброс соответствует импульсу, возбуждающему пьезоэлемент, последующие являются результатом кратных отражений акустического импульса. Их амплитуды, наблюдаемые на осциллографе, определяются интерференцией звуковых импульсов, преобразованных в электрический сигнал, с «фоном» напряжения, подаваемого на кварц. (Амплитуда этих импульсов, ослабленная при преобразовании и за счет поглощения в среде, сравнима с амплитудой «фона», а амплитуда отраженного «фона» по этой же причине пренебрежимо мала.) При совпадении фаз «фона» высокочастотного заполнения импульса, соответственные амплитуды складываются, в случае противоположности фаз — вычитаются. Разность фаз между фоном и заполнением импульса определяется временем прохождения акустического импульса в среде и равна, таким образом,

$$\Delta\varphi = \omega t_0 = \frac{2kl\omega}{c}, \quad (1)$$

где ω — круговая частота, l — длина образца (или расстояние до отражателя), c — скорость ультразвука, k — число отражений импульса от границы. Условия интерференции для определенного импульса при фиксированном расстоянии l зависят только от частоты подаваемого напряжения ω . При плавном изменении частоты разность фаз $\Delta\varphi$ будет изменяться, несколько раз проходя через значения, кратные 2π . При этом амплитуда импульса, наблюдаемая на осциллографе, будет также изменяться, несколько раз переходя через максимальные и минимальные значения. Пусть некоторый нулевой по счету максимум амплитуды имел место при частоте ν_1 , а другой, n -й — при частоте ν_2 .

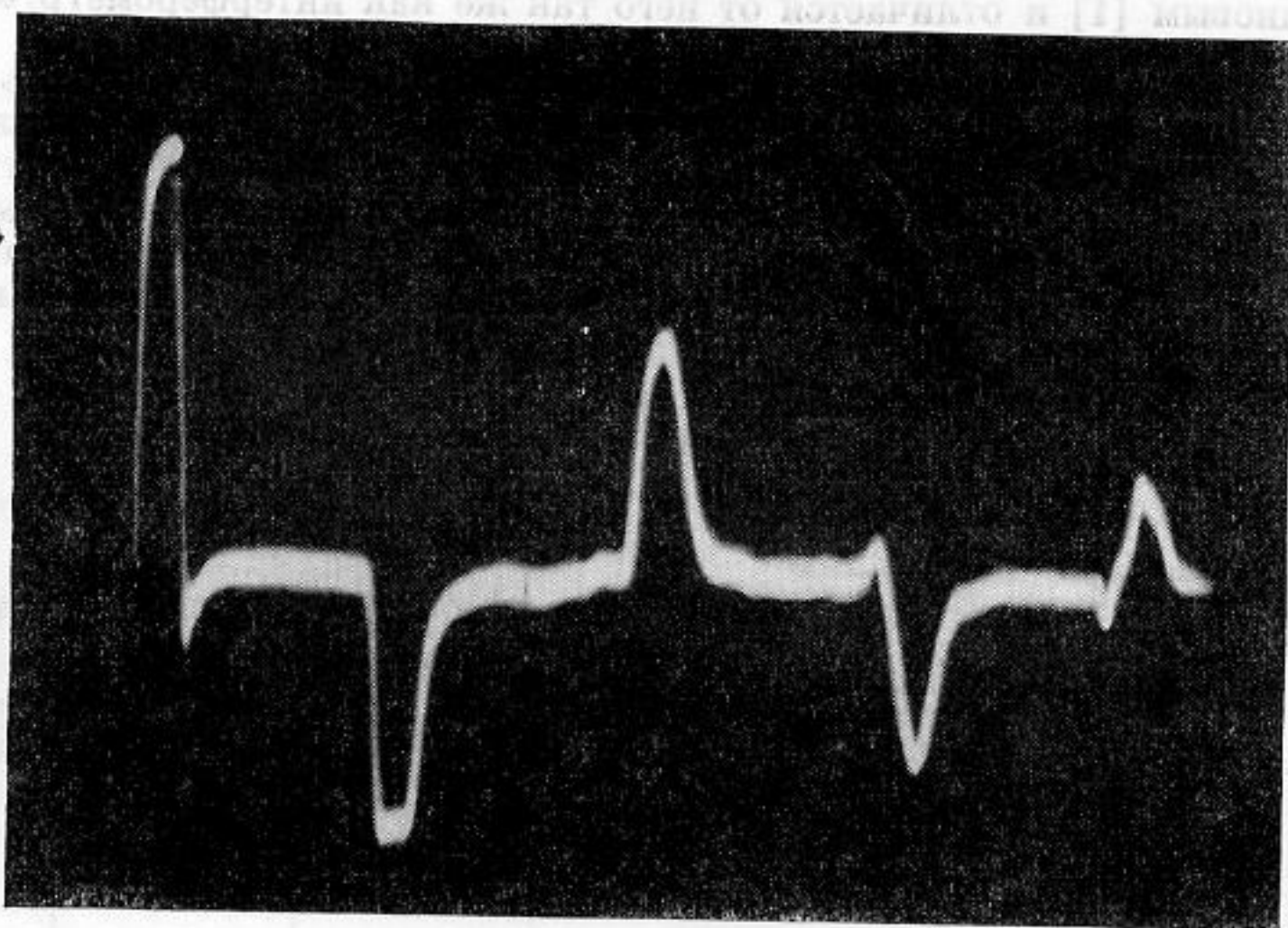
Тогда из условий

$$\Delta\varphi_1 = 2\pi\nu_1 \frac{2kl}{c} = 2\pi m \quad \text{и} \quad \Delta\varphi_2 = 2\pi\nu_2 \frac{2kl}{c} = 2\pi(n + m)$$

мы получим формулу для определения скорости ультразвука

$$c = \frac{2kl(v_1 - v_2)}{n} \quad (2)$$

Измерение скорости сводится, таким образом, к измерению только разности частот. В опытах с твердыми и жидкими средами кварц можно возбудить в достаточно широком диапазоне частот и число наблюдаемых осцилляций n может быть достаточно



Фиг. 3

велико (десятки и сотни). Соответственно с этим разность частот v_1 и v_2 также может быть взята достаточно большой и измерения могут быть выполнены с большой точностью. Так например, при частоте 3 мГц в опытах с поперечными колебаниями в твердых телах n можно было выбрать равным ~ 200 и воспроизводимость значений разности частот в эквивалентных условиях характеризовалась максимальным разбросом в 0,03%.

Применение описанного метода было подвергнуто детальному изучению Первухиным [2]. Ниже приводятся некоторые из полученных им результатов. В таблице представлены результаты измерения скорости распространения поперечных ультразвуковых волн в плавленном кварце, выполненные при использовании 1-го, 2-го, 3-го и 4-го отраженных импульсов ($t \sim 20^\circ$).

Порядок отраженного импульса	Скорость звука м/сек
1	3721
2	3717
3	3735
4	3724
Среднее значение	3724

Легко видеть, что имеет место вполне удовлетворительное соответствие между измеренными значениями. Для сравнения укажем, что по данным Мэсона [3], скорость распространения поперечных колебаний в плавленом кварце равна 3760 м/сек. Воспроизводимость результатов при измерениях на образцах разной длины иллюстрируется следующими цифрами. Для короткого блока (8 см) из стали скорость получилась равной 3201 м/сек, для длинного (14 см) — 3210 м/сек.

Для скорости звука в толуоле при 20° было получено значение 1327 м/сек, что хорошо согласуется с табличной величиной 1328 м/сек [4]. Подробности относительно практического осуществления методики и ее анализ имеются в работе [2]. Здесь следует лишь отметить, что приведенные цифры получены в опытах без термостатирования. При использовании термостата можно надеяться на повышение точности.

При выводе формулы (2) предполагалось, что скорость c не зависит от частоты, т. е. дисперсия отсутствует. В принципе возможно применение описанного способа и в случае диспергирующих сред. При этом формулу (2) следует применить для меньших разностей $v_1 - v_2$ (т. е. меньших n), производить измерения при различных средних $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$ в пределах полосы частот вблизи резонанса пьезоэлемента и исходя из полученной зависимости $c = c(\omega)$ вносить поправки в формулу (2).

Нам представляется, что предлагаемый способ выгодно сочетает простоту с точностью получаемых экспериментальных результатов. Практика использования данного способа позволяет нам рекомендовать ее для применения в работах научно-исследовательского и прикладного характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Н. Ф е о ф а н о в. Труды семинара по физике и применению ультразвука, посвященного памяти проф. М. Я. Соколова, Л., 1958, стр. 173.
2. И. И. П е р в у ш и н. Методика измерения скорости ультразвука (дипл. работа). МГУ, 1959.
3. У. Р. М э з о н. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке. М., ИЛ, 1952.
4. Л. Б е р г м а н. Ультразвук и его применение в науке и технике, М., ИЛ., 1957.

Кафедра молекулярной физики
Московского государственного
университета

Поступило в редакцию
13 мая 1960 года

К ВОПРОСУ О ГРАНИЦАХ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ПЛАВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ЗАДАЧЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ СРЕДУ С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

В. В. Писарева

В связи с работой [1] и статьей Широковой [2] целесообразно указать на следующее.

В работе [2] границы применимости метода плавных возмущений находятся из условий малости модуля среднего значения 2-го приближения по сравнению с нулевым. Однако из простых соображений ясно, что область применимости приближенного решения $\psi = \psi_0 + \alpha\psi_1$ можно определить, сравнивая среднеквадратичные значения 2-го и 1-го приближений, $\alpha^2\sqrt{\overline{\psi_2^2}}$ и $\alpha\sqrt{\overline{\psi_1^2}}$. Здесь ψ_0 , $\alpha\psi_1$, $\alpha^2\psi_2$ — нулевое, 1-е и 2-е приближения в методе плавных возмущений (см. [2]). Требуя выполнения неравенства $\alpha^2|\overline{\psi_2}| \ll \alpha\sqrt{\overline{\psi_1^2}}$, мы получим, по крайней мере, необходимые условия справедливости приближенного решения, поскольку всегда имеет место соотношение $|\overline{\psi_2}| \leq \sqrt{\overline{\psi_2^2}}$. Используя для $\overline{\psi_2}$ выражение (29) работы [2], получаем, что для того, чтобы неравенство $\alpha^2|\overline{\psi_2}| \ll \alpha\sqrt{\overline{\psi_1^2}}$ имело место, необходимо выполнение тех же условий, что и полученные в работе [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. П и с а р е в а. О границах применимости метода плавных возмущений в задаче о распространении излучения через среду с неоднородностями. Акуст. ж., 1960, 6, 1, 87—91.
2. Т. А. Ш и р о к о в а. Второе приближение в методе плавных возмущений. Акуст. ж., 1959, 5, 4, 485—489.

Н.-и. Радиофизический институт
при Горьковском государственном
университете

Поступило в редакцию
20 декабря 1960 г.

КРУТИЛЬНЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ КОНЦЕНТРАТОРЫ

А. В. Харитонов

Для получения больших амплитуд смещения и деформации в твердых телах широко используются резонансные стержни переменного сечения, получившие в литературе название концентраторов. Первоначально для указанных целей применялись концентраторы, работающие на продольных колебаниях; теория и методы расчета таких концентраторов достаточно полно изложены в работах [1—3]. В последние годы в связи с развитием техники ультразвуковой сварки возник интерес к концентраторам, в которых используются крутильные колебания [4—6]. Данное сообщение имеет целью показать, что для их расчета можно использовать результаты анализа концентраторов, работающих на продольных колебаниях.