

ИЗМЕРЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО НЕЛИНЕЙНОГО ПАРАМЕТРА ЖИДКОГО АЗОТА

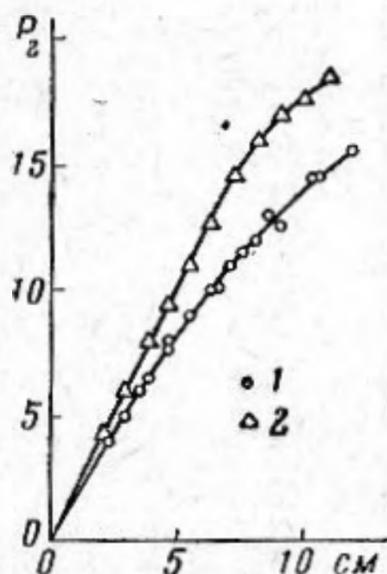
Гун Сю-фэнь, Л. К. Зарембо, В. А. Красильников

Известно, что ряд акустических нелинейных эффектов, связанных со сжимаемостью среды, существенно зависит от нелинейности уравнения адиабаты для жидкостей и газов и нелинейности закона Гука для твердых тел. Для баротропной жидкости $p = p(\rho)$, частным случаем которой является жидкость, подчиняющаяся эмпирическому уравнению Тэта: $p = P_*(\rho/\rho_0)^n$, где P_* — внутреннее давление, нелинейный параметр (безразмерный коэффициент при квадратичном члене адиабаты) имеет вид

где ρ_0 и $c_0 = \left(\frac{dp}{d\rho}\right)_{\rho=\rho_0}^{1/2}$ — плотность и скорость звука в невозмущенной среде, $c = (dp/d\rho)^{1/2}$ — местная скорость звука. Знание нелинейного параметра может быть полезным для предсказания величины различного рода нелинейных эффектов в среде. Кроме того, по величине нелинейного параметра может быть получена некоторая, правда, ограниченная рамками предполагаемого баротропного уравнения, информация о физических свойствах жидкостей (внутреннем давлении, межмолекулярном расстоянии и других). Измерение нелинейных искажений ультразвуковых волн является надежным экспериментальным методом определения нелинейного параметра [1—3] особенно с тех пор, как стало возможным исключение (необходимых, кстати говоря, в большинстве измерений с волнами конечной амплитуды) абсолютных измерений звукового поля [2, 3].

$$\frac{\rho_0}{c_0^2} \frac{dc^2}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0} = n - 1,$$

где ρ_0 и $c_0 = \left(\frac{dp}{d\rho}\right)_{\rho=\rho_0}^{1/2}$ — плотность и скорость звука в невозмущенной среде, $c = (dp/d\rho)^{1/2}$ — местная скорость звука. Знание нелинейного параметра может быть полезным для предсказания величины различного рода нелинейных эффектов в среде. Кроме того, по величине нелинейного параметра может быть получена некоторая, правда, ограниченная рамками предполагаемого баротропного уравнения, информация о физических свойствах жидкостей (внутреннем давлении, межмолекулярном расстоянии и других). Измерение нелинейных искажений ультразвуковых волн является надежным экспериментальным методом определения нелинейного параметра [1—3] особенно с тех пор, как стало возможным исключение (необходимых, кстати говоря, в большинстве измерений с волнами конечной амплитуды) абсолютных измерений звукового поля [2, 3].



В данной заметке сообщаются результаты определения нелинейного параметра n жидкого технического азота относительным ультразвуковым методом, примененным ранее в работах [2, 3]. Измерение проводилось в импульсном режиме на установке, использованной для аналогичных измерений в твердых телах [4]. Неподвижный кварцевый излучатель на частоту 5 мГц и имеющий возможность перемещаться кварцевый же приемник на частоту 10 мГц помещались в сосуде Дьюара. Диаметры излучающей пластины 17 или 24 мм; диаметр приемной — 17 мм. Опора излучателя, размещенного в нижней части сосуда Дьюара, с помощью трубок из нержавеющей стали крепилась к пенопластовой крышке, через которую также проходил шток — держатель оправы приемника. С внешней стороны на пенопластовой крышке сосуда Дьюара помещалась направляющая для штока — держателя приемника, положение которой юстировалось тремя винтами, позволявшими установить приемник строго параллельно излучателю, что контролировалось по амплитудам серии отраженных импульсов второй гармоники. Измерение амплитуды второй гармоники производилось по амплитуде первого импульса серии на экране осциллографа при различных расстояниях между излучателем и приемником. Сущность сравнительного метода заключается [3] в определении амплитуды второй гармоники в жидкости, где n известно (жидкость сравнения) и в жидкости, где этот нелинейный параметр неизвестен, на расстояниях, меньших расстояния стабилизации второй гармоники. Если амплитуды второй гармоники p_2 определяются при одинаковом напряжении на излучающей пьезопластине и одинаковом расстоянии излучатель — приемник, то

$$n_x = \frac{P_{2x}}{P_{20}} \frac{(\rho_0 c_0^3)_x}{(\rho_0 c_0^3)_0} (n_0 + 1) - 1, \quad (1)$$

где индексы 0 и x относятся соответственно к жидкости сравнения и жидкости, где n определяется. В качестве жидкости сравнения применялся ацетон, поскольку его акустические параметры ($\rho_0 = 0,79$, $c_0 = 1,17 \cdot 10^5$) близки к соответствующим параметрам жидкого азота ($\rho_0 = 0,808$, $c_0 = 0,96 \cdot 10^5$).

Измерения в ацетоне и жидком азоте производились при одинаковом напряжении на излучающем кварце 25 или 50 в. Следует сказать, что при измерении в жидком азоте из-за выделяющихся в среде и оседающих на приемнике пузырьков газообразного азота амплитуда импульсов второй гармоники пульсировала. Эти пульсации практически устранялись тем, что в процессе измерения сосуд Дьюара был несколько наклонен.

Результаты измерения приведены на фигуре, где по оси абсцисс отложено расстояние излучатель — приемник, а по оси ординат — в условных единицах амплитуда

второй гармоники. Если принять для ацетона (на фигуре кривая 1) $n = 10$ [3], то из полученных экспериментальных данных на участке линейного роста гармоник мы получаем для жидкого азота (на фигуре кривая 2) на основании формулы (1) $n = 6,6$. По этим данным величина внутреннего давления в жидком азоте $P_* = \rho c_0^2/n = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$, что близко к внутреннему давлению для других исследованных жидкостей [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Г. Михайлов, В. А. Шутлов. Об искажении формы ультразвуковой волны конечной амплитуды в различных жидкостях. Акуст. ж., 1960, 6, 3, 340—346.
2. В. В. Шкловская - Корди. Об измерении внутреннего давления в водных растворах хлористого натрия акустическим методом. Ж. физ. химии, 1962, 36, 5, 1114.
3. В. В. Шкловская - Корди. Акустический метод определения внутреннего давления в жидкости. Акуст. ж., 1963, 9, 1, 107—111.
4. А. А. Гедройц, В. А. Красильников. Упругие волны конечной амплитуды в твердых телах и отклонение от закона Гука. Ж. эксп. и теор. физ., 1962, 43, 11, 1592—1599.

Кафедра акустики
Московского государственного университета

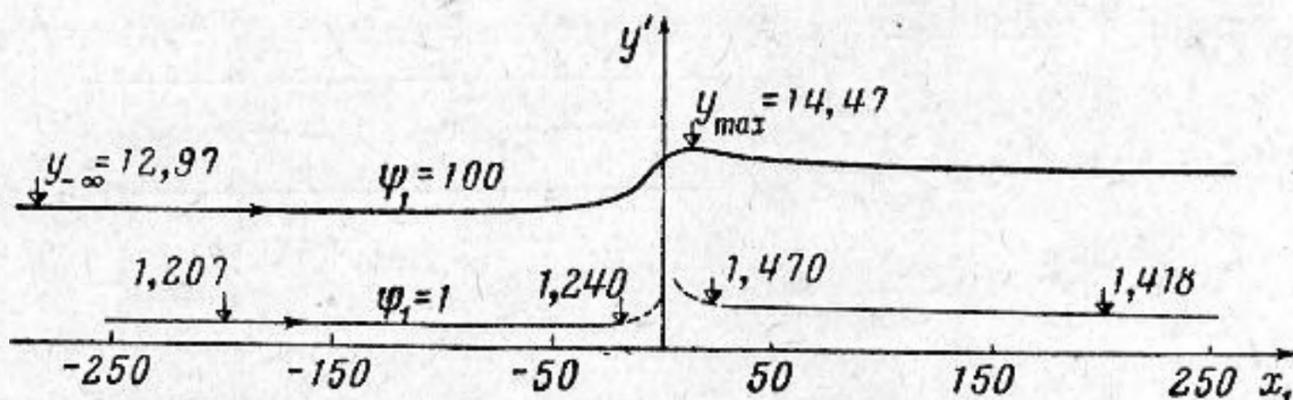
Поступило в редакцию
5 марта 1963 г.

УДК 534.138

О ГИСТЕРЕЗИСЕ ОБТЕКАНИЯ МАЛЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ В ЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Е. П. Медников

При интенсивном озвучивании газообразных, реже — жидких сред, содержащих взвешенные частицы или фиксированные волокна, амплитуда колебаний среды (A) нередко намного превышает размер препятствий (r), что затрудняет аналитическое решение задачи их обтекания. Прояснить эту проблему позволяет геометрическое



Фиг. 1

рассмотрение линий стационарного тока, которые, как нетрудно убедиться, имеют более или менее ясно выраженный асимметричный характер. Так, для сферы радиуса r , обтекаемой вязкой средой, приведенная функция тока, $\Psi_1 = \Psi/r^2u$, в осевом приближении [1] имеет вид [2]:

$$\Psi_1 = - \left\{ \frac{3}{4} \left(\rho_1 - \frac{1}{\rho_1} \right) - \frac{16 + 3\text{Re}}{32} \left(\rho_1^2 - \frac{1}{\rho_1} \right) + \frac{3\text{Re}}{32} \left(\rho_1^2 - \frac{1}{\rho_1^2} \right) \cos \theta \right\} \sin^2 \theta, \quad (1)$$

где ρ_1 — приведенная полярная координата, ρ/r , а θ — угол, образуемый ею с положительной осью x , совпадающей с направлением скорости u ; $\text{Re} = 2ru/\nu$ (ν — кинематическая вязкость среды). Асимметрия построенных по этой формуле, для $\text{Re} = 1$, линий тока (фиг. 1) заключается в том, что передняя (левая) ветвь при малых Ψ_1 имеет несколько меньшую крутизну подъема, а при больших Ψ_1 , наоборот, гораздо большую крутизну подъема, чем задняя ветвь (исключая ближнее поле обтекания сферы).

В звуковом поле с амплитудой $A \gg r$, в котором обтекание сферы носит возвратно-поступательный квазистационарный характер, это приводит к тому, что при обратном движении каждая частица среды возвращается по новой линии тока, представляющей зеркальное отображение прямой линии относительно оси y . Вследствие этого, из крайней точки 2 частица устремляется в точку 3, смещенную относительно исходной точки 1 несколько ниже (фиг. 2, а) либо, наоборот, выше (фиг. 2, б). В первом случае частица не достигает точки 3 и оказывается смещенной ближе к сфере (3'), поскольку скорость позади обтекаемого препятствия ниже, чем впереди [1, 3].