

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

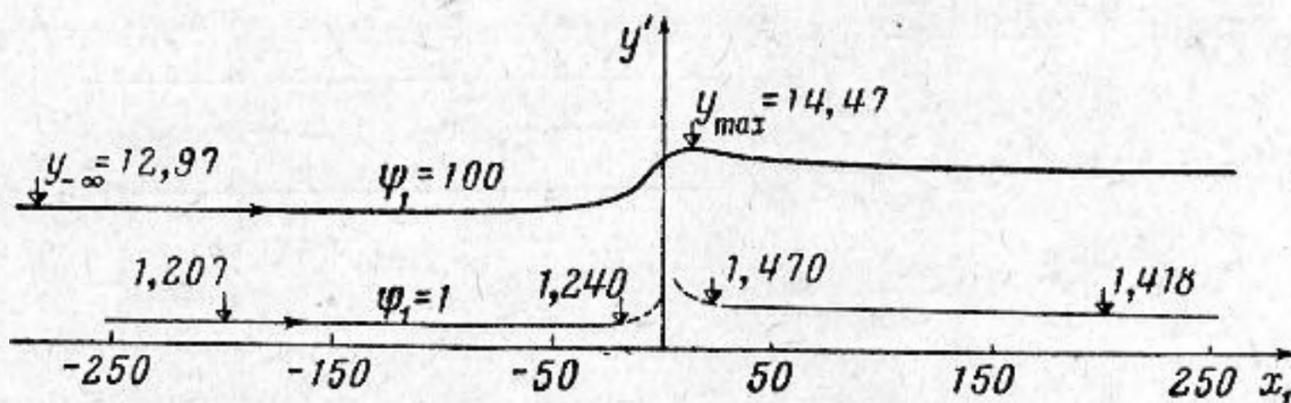
Поступило в редакцию
5 марта 1963 г.

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

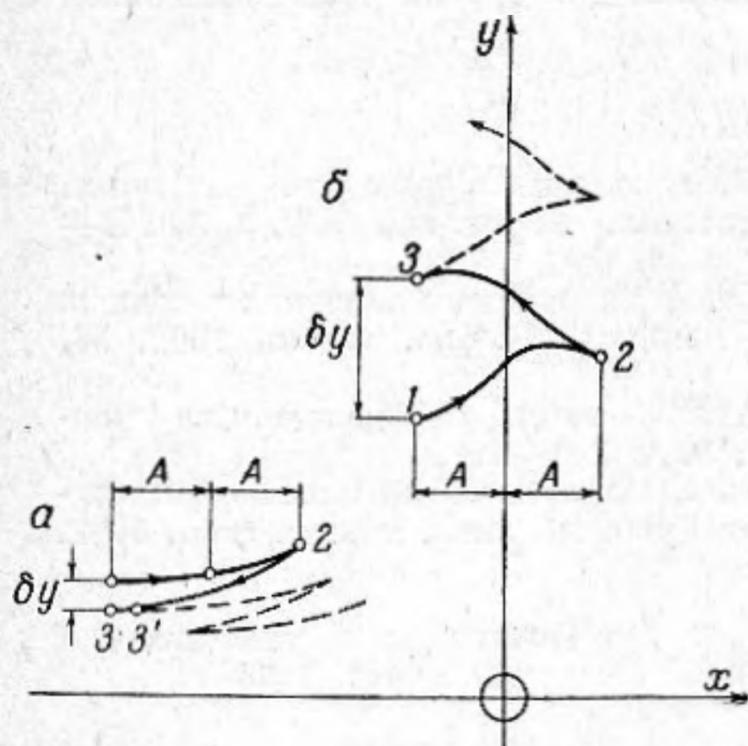
рассмотрение линий стационарного тока, которые, как нетрудно убедиться, имеют более или менее ясно выраженный асимметричный характер. Так, для сферы радиуса r , обтекаемой вязкой средой, приведенная функция тока, $\Psi_1 = \Psi/r^2u$, в осевом приближении [1] имеет вид [2]:

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

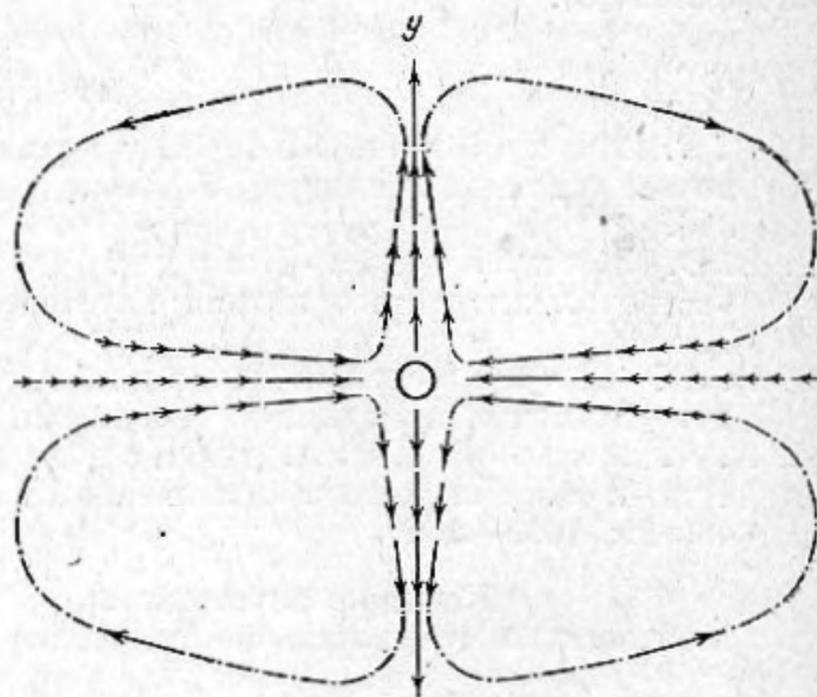
где ρ_1 — приведенная полярная координата, ρ/r , а θ — угол, образуемый ею с положительной осью x , совпадающей с направлением скорости u ; $\text{Re} = 2ru/\nu$ (ν — кинематическая вязкость среды). Асимметрия построенных по этой формуле, для $\text{Re} = 1$, линий тока (фиг. 1) заключается в том, что 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].

В результате описанного гистерезиса обтекания частицы среды зигзагообразно приближаются к сфере (фиг. 2, а) или удаляются от нее (фиг. 2, б). Вокруг сферы, таким образом, устанавливается своеобразное акустическое течение, имеющее вблизи координатных осей направление, показанное стрелками на фиг. 3 (закрывающие линии намечены условно, поскольку фактически они размываются турбулентными пуль-



Фиг. 2



Фиг. 3

сациями озвученной среды). Направленность вихрей диаметрально противоположна обнаруженной экспериментально Андраде [4] при $A \ll r$ и $Re > 5$, но совпадает с направлением так называемых «внутренних» вихрей, исследованных в работах [5 и 6]. Однако в нашем случае ($A \gg r$, $Re < 1$) конфигурация и размеры вихрей зависят непосредственно не от частоты, а от амплитуды колебаний.

При прямоугольной форме волны, когда $|\mathbf{u}| = |\mathbf{u}| = \text{const}$, горизонтальная составляющая скорости акустического потока к сфере близ оси x приближенно равна [1]

$$V_{xx} = \left(\frac{3}{2x_{11}} - \frac{3}{Re \cdot x_{11}^2} \right) u. \quad (2)$$

Вертикальная составляющая скорости в соответствии с (1) приближенно равна

$$V_{xy} \approx f \cdot \delta y \approx f \cdot y_{-\infty} \left[1 - \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{16} Re \right) \left(1 - \frac{3}{2} x_{12}^{-1} \right)}{\frac{1}{2} - \frac{3}{4} x_{12}^{-1} + \frac{3}{16} Re}} \right], \quad (3)$$

где x_{11} и x_{12} — приведенные абсциссы в точках 1 и 2, f — частота.

Для частицы воздушной среды, находящейся от сферы $r = 5 \mu$ на расстоянии $x = 30 r$ при $u = 150$ см/сек ($Re = 1$) и $f = 5000$ гц ($A \approx 50 \mu$) на уровне $y_{-\infty} = (0,4 \div 12) r$, имеем $V_{xx} \approx 7,75$ см/сек; $V_{xy} \approx 0,07 \div 0,22$ см/сек. Скорость потока, уходящего от сферы, согласно графическим измерениям в районе $y = (15 \div 40) r$, вблизи оси y равна $V_y \approx 4 \div 5$ см/сек.

При синусоидальной форме волны, когда Re переменна, скорости потоков будут соответственно ниже; вычисление их довольно громоздко и поэтому здесь не приводится. Экспериментальное изучение потоков также затруднено, поскольку амплитуда колебаний сопоставима с масштабом вихрей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Слезкин. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М., ГТТИ, 1955.
2. S. Tomotika, A. Aoi. The steady flow of viscous fluid past a sphere and circular cylinder at small Reynolds numbers. Quart. J. Mech. Appl. Math. 1950, 3, 2, 140—161.
3. T. Pearcey, B. McHugh. Calculation of viscous flow around spheres at low Reynolds numbers. Phil. Mag., 1955, 46, s.6, 378, 783—794.
4. E. N. da C. Andrade. On the circulation caused by the vibration of air in a tube. Proc. Roy. Soc., 1931, 134, A824, 445—470.
5. J. Holtzmark, J. Johnsen, T. Sikkeland, S. Skavlem. Boundary layer flow near a cylindrical obstacle in an oscillating, incompressible fluid. J. Acoust. Soc. America, 1954, 26, 1, 26—39.
6. G. D. West. Circulation occurring in acoustic phenomena. Proc. Phys. Soc., 1951, 64, 378B., 483—487.

Институт горючих ископаемых
Москва

Поступило в редакцию
10 февраля 1963 г.