АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том VII 1961 Вып. 2

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

О «СВЕРХВЯЗКИХ» ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛНАХ В УПРУГОЙ СРЕДЕ

А. Е. Вовк, В. В. Тютекин

Как известно [1], в жидкости, несмотря на отсутствие сдвиговой упругости, благодаря вязким сдвиговым напряжениям, могут возникать поперечные (так называемые «вязкие») волны с волновым числом

$$k = \sqrt{i\frac{\omega}{\nu}} = \frac{i+1}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}, \tag{1}$$

где ω — круговая частота, ν — кинематическая вязкость жидкости.

Как видно из выражения (1), действительная часть волнового числа таких волн равна мнимой, т. е. их амплитуда очень быстро убывает с расстоянием. В плоскости комплексного волнового числа $k = P + iQ$ вязким волнам соответствует прямая $P = Q$ (фиг. 1).

В применении к упругим средам вопрос о вязких волнах, насколько нам известно, до сих пор не рассматривался. Однако представляется возможным создать искусственную акустическую среду, в которой волны, аналогичные вязким волнам в жидкости, будут не поперечными, а продольными. С этой целью нами была исследована среда, представляющая собой резину с цилиндрическими каналами [2]. В такой среде волновое число осесимметричных продольных волн, распространяющихся вдоль осей каналов, записывается в виде

$$\bar{k} = k_0\sqrt{1+s}, \tag{2}$$

где k_0 — волновое число продольных волн в сплошной резине, а $s = s' + is''$ — безразмерная сжимаемость цилиндрических каналов, отнесенная к сжимаемости сплошной резины.

Проведенные эксперименты [3] показали, что благодаря малости модуля сдвига резины по сравнению с модулем объемного сжатия частотная зависимость s имеет резонансный характер. На фиг. 2 в качестве примера приведены типичные экспериментальные значения сжимаемости каналов в зависимости от частоты для одного из образцов указанной среды. Из приведенного графика видно, что при низких частотах $s' > 0$, а при высоких частотах $s' < 0$. На некоторой частоте, определяемой соотношением $|\bar{k}_t a| \approx 1$, где $\bar{k}_t$ — комплексное волновое число сдвиговых волн в резине, a — радиус канала, величина s' обращается в нуль. Величина s'' вблизи этой частоты проходит через максимум. При этом выражение (2) можно записать так:

$$\bar{k}/k_0 = P + iQ = \sqrt{(1+s') + is''}.$$

Отсюда видно, что на частотах, при которых $s' > -1$, действительная часть волнового числа (P) больше мнимой (Q), что соответствует обыкновенным затухающим волнам. В плоскости комплексного волнового числа $\bar{k}$ изображающие точки для этих частот лежат в области между осью абсцисс и «вязкой» прямой $P = Q$ (фиг. 1).

На частоте, при которой $s' = -1$, т. е. действительная часть общей сжимаемости среды равна нулю, величины действительной и мнимой частей волнового числа равны, и в плоскости комплексного волнового числа изображающая точка при этой частоте попадает на «вязкую» прямую $P = Q$.

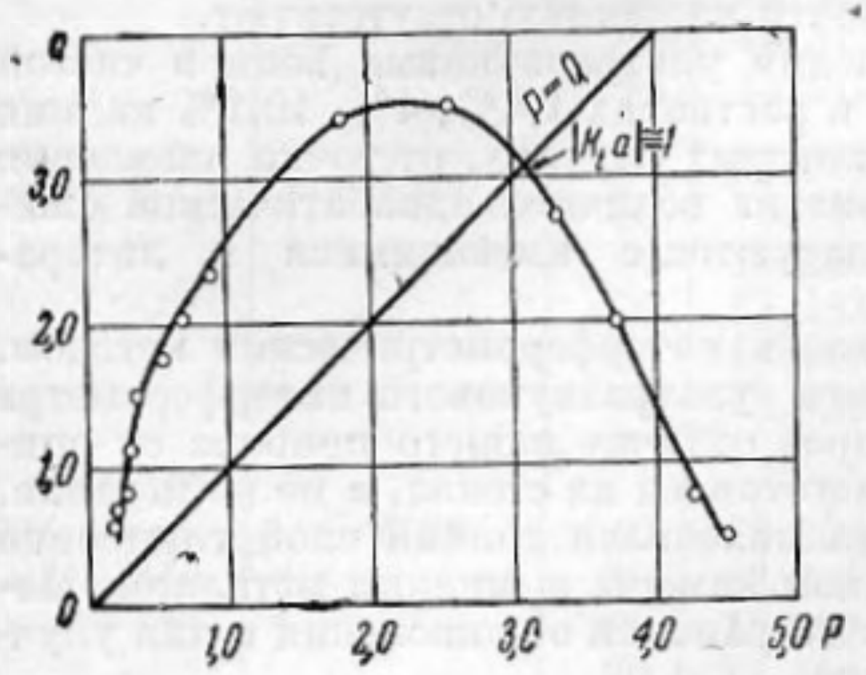
На частотах $|\bar{k}_t a| \geqslant 1$ в некотором диапазоне частот величина $s' < -1$, т. е. действительная часть общей сжимаемости среды, отрицательна, что соответствует инерционной реакции последней. Соответствующие этим частотам изображающие точки попадают в область $Q > P$, лежащую выше «вязкой» прямой и соответствуют волнам, которые затухают с расстоянием сильнее, чем вязкие. Поэтому такие волны целесообразно назвать «сверхвязкими» волнами. Степень «сверхвязкости», т. е. соотношение между величинами P и Q, можно варьировать, изменяя коэффициент перфорации ε^2, а также используя резины с различными сдвиговыми параметрами [3].

Очевидно, что возникновение «сверхвязких» и вязких волн обусловлено одной и той же причиной — наличием потерь в среде.

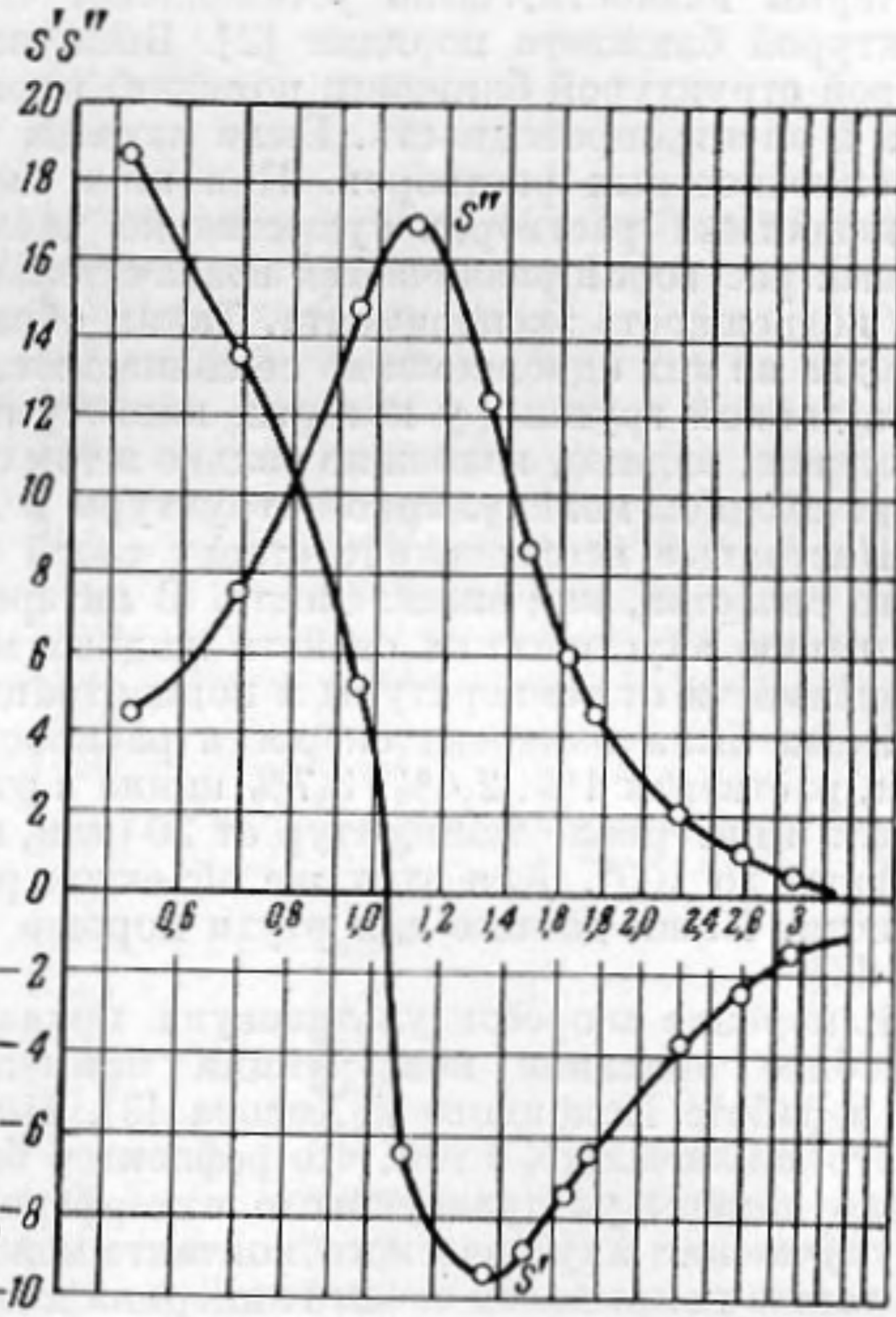
Действительно, в случае отсутствия упругих потерь ($s'' = 0$) в рассмотренной среде с отрицательной сжимаемостью ($s' < -1$) никакого волнового процесса нет, поскольку волновое число мнимо ($\bar{k}/k_0 = iQ$), и только благодаря потерям ($s'' \neq 0$) в среде могут возникать продольные волны «сверхвязкие».

Очевидно, что «сверхвязкие» продольные волны могут существовать также, например, в воде, содержащей большое количество воздушных пузырьков; в этом случае при частотах выше резонансной частоты пузырьков сжимаемость последних отрицательна и, следовательно, при достаточной их концентрации общая сжимаемость такой среды также будет отрицательна, что, при наличии затухания, является условием существования «сверхвязких» волн.

Следует заметить, что «сверхвязкие» волны должны также наблюдаться в средах, в которых может происходить «вырождение» не сжимаемости, как в рассмотренном случае, а плотности среды. В качестве примера такой среды можно привести тонкую металлическую пластинку с наклеенным на нее слоем резиноподобного материала [4]. На частотах несколько выше частоты, при которой в слое резины укладывается $^1/_4$ длины сдвиговой волны, подбором соответствующих параметров системы можно инерционное сопротивление пластинки скомпенсировать упругим сопротивлением слоя резины, т. е. получить отрицательное значение действительной части эффективной плотности и, таким образом, осуществить в этой системе «сверхвязкую» продольную волну.



Фиг. 1



Фиг. 2

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Механика сплошных сред. М., ГТТИ, 1954.
2. В. В. Тютекин. Распространение упругих волн в среде с цилиндрическими каналами. Акуст. ж., 1956, 2, 3, 291—301.
3. А. Е. Вовк, Р. Н. Пастернак, В. В. Тютекин. Экспериментальное исследование волновых свойств среды с цилиндрическими каналами. Акуст. ж., 1958, 4, 1, 24—32.
4. В. В. Тютекин. Метод измерения механических параметров резины на звуковых и ультразвуковых частотах. Акуст. ж., 1955, 1, 4, 356—359.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
30 декабря 1960 г.