10. *Бурлак Г. И., Кошевая С. В.* Волны Рэлея в диэлектриках, помещенных в постоянное электрическое поле // Акуст. журн. 1978. Т. 14. № 2. С. 292–294.

Саратовский филиал института
радиотехники и электроники
Академии наук СССР

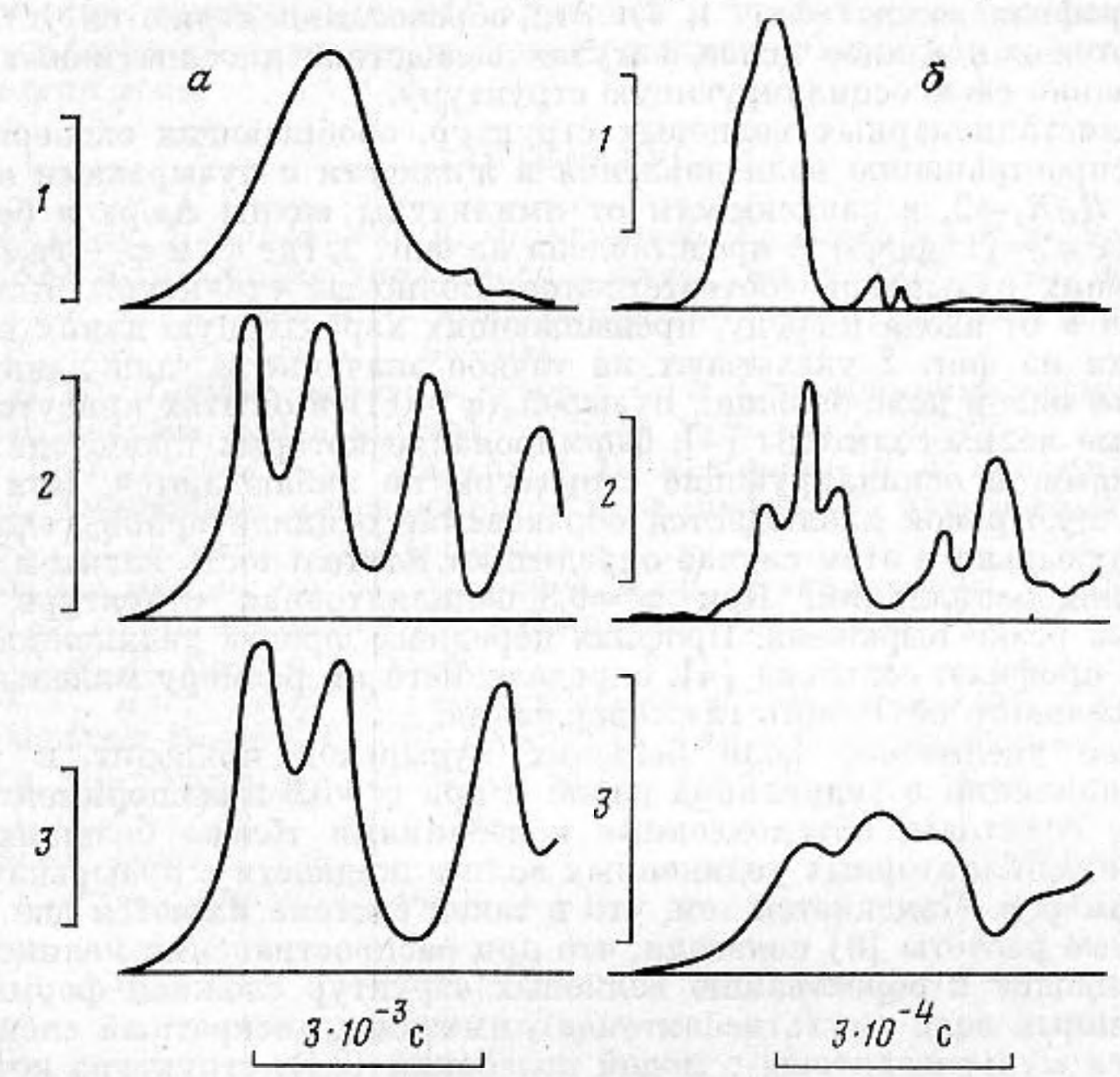
Поступило в редакцию
24.XI.1987

УДК 532.529

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН ДАВЛЕНИЯ В ЖИДКОСТИ С ПУЗЫРЬКАМИ ГАЗА РАЗНЫХ РАЗМЕРОВ

Донцов В. Е., Кузнецов В. В., Марков П. Г., Накоряков В. Е.

Эволюция волн давления в жидкости с пузырьками газа одного размера хорошо изучена как теоретически, так и экспериментально (см., например, статьи [1–4]). В этих работах показано, что начальное возмущение в такой среде может распадаться на уединенные волны – солитоны, и изучены их свойства. Для жидкости с пузырьками газа двух различных размеров в статье [5] обнаружено существование осциллирующей уединенной волны. В работе [6] численно изучены свойства таких

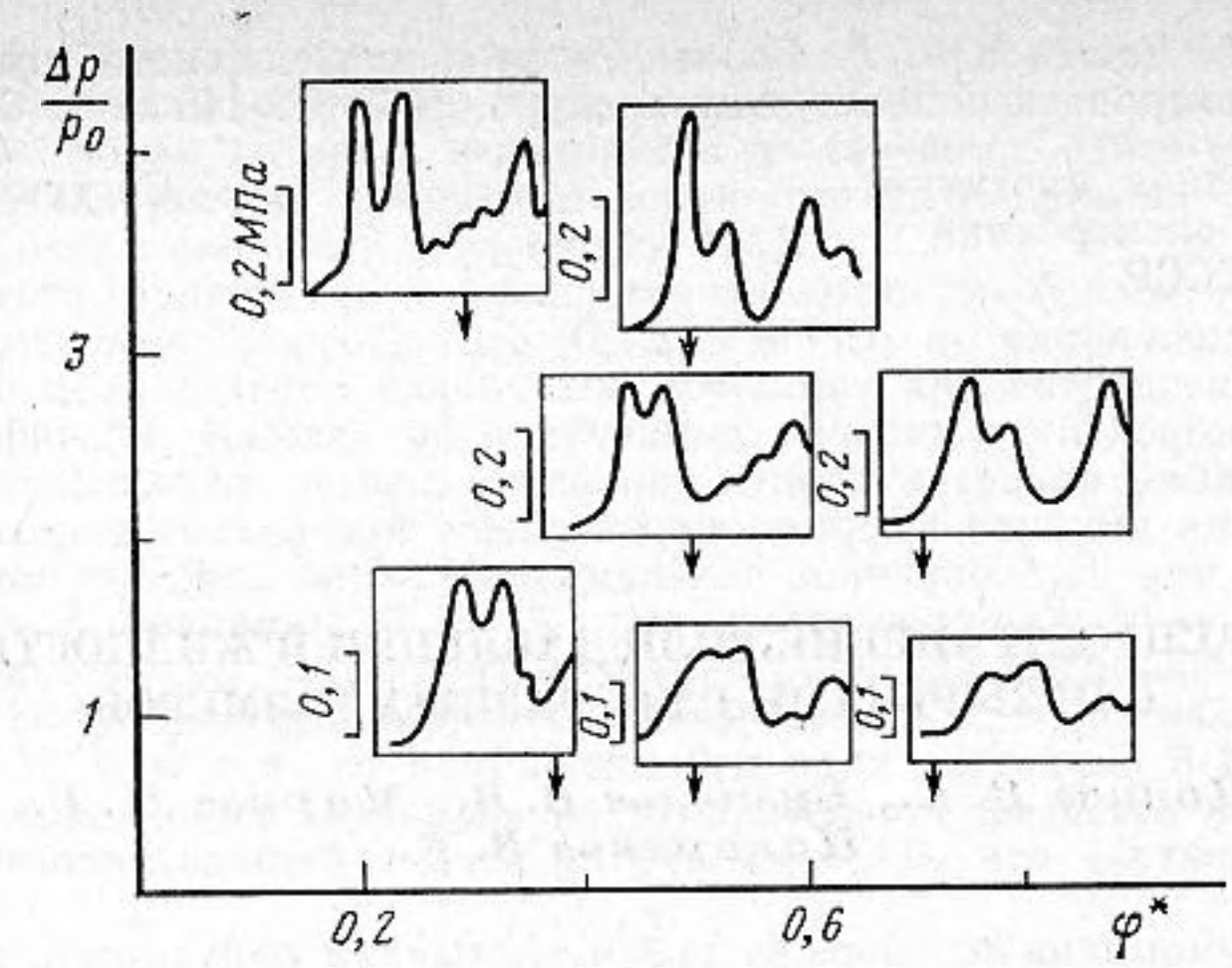


Фиг. 1. Эволюция волн давления в жидкости с пузырьками воздуха двух разных размеров, p_0=0,1 мПа: *а* – R_2=1,2 мм, R_1=0,6 мм, $\varphi_0=6\times10^{-3}$, φ_2/φ_0=0,25; *1* – x=0,07 м, масштаб давления 0,5 мПа, *2* – x=0,24 м, 0,3 мПа, *3* – x=0,34 м, 0,1 мПа; *б* – R_2=1,8 мм, R_1=0,6 мм, φ_0=0,01, φ_2/φ_0=0,6, *1* – x=0, масштаб давления 2 мПа, *2* – x=0,07 м, 0,5 мПа, *3* – x=0,41 м, 0,2 мПа

уединенных волн. Цель данной работы – получение экспериментальных данных по структуре и динамике волн давления в жидкости с пузырьками газа двух разных размеров.

Опыты проводились на установке типа «ударная труба». Схема установки и методика измерений представлены в работе [4]. Для создания пузырьков двух различных калиброванных размеров в данной работе использованы два независимых генератора пузырьков.

На фиг. 1 приведен характер эволюции возмущения давления по длине x рабочего участка при отношении радиусов пузырьков $R_2/R_1=2$ и $R_2/R_1=3$. Видно, что из начального входного сигнала колоколообразной формы образуется уединенная волна с характерным осциллирующим профилем. В случае, когда $R_2/R_1=2$, формируется уединенная волна с двумя осцилляциями (фиг. 1, *а*), а при $R_2/R_1=3$ – с тремя осцил-



Фиг. 2. Карта волновых структур: $R_1=0{,}6$ мм, $R_2=$ $=1{,}8$ мм, $p_0=0{,}1$ мПа

ляциями на профиле волны (фиг. 1, *б*). Эти образования являются устойчивыми и распространяются как единое целое, затухая вследствие диссипативных потерь, качественно сохраняя свою осциллирующую структуру.

Карта квазистационарных волновых структур, обобщающая экспериментальные данные по распространению волн давления в жидкости с пузырьками воздуха двух размеров при $R_2/R_1=2$, в зависимости от амплитуды волны $\Delta p/p_0$ и безразмерного газосодержания $\varphi^*=(1+\varphi_1/\varphi_2)^{-1}$ представлена на фиг. 2, где φ_1 и φ_2 – газосодержания малых и больших пузырьков соответственно. Волновые структуры были получены на расстояниях x от входа в среду, превышающих характерную длину волны возмущения. Стрелки на фиг. 2 указывают на точное значение φ^* для данной волновой структуры. При малой доле больших пузырей ($\varphi^*\simeq 0{,}1$) в опытах присутствуют обычные уединенные волны-солитоны [4], формирование которых происходит только малыми пузырьками, и осциллирующие структуры не наблюдаются. При увеличении доли больших пузырьков наблюдается образование осцилляторной уединенной волны. Большие пузырьки в этом случае определяют длительность волны в целом, а маленькие – период осцилляций. При $\varphi^*=0{,}3$ осцилляторная структура уединенной волны наиболее резко выражена. Профиль переднего фронта уединенной волны при этом близок к профилю солитона [4], определенного по размеру маленького пузырька, но для суммарного объемного газосодержания.

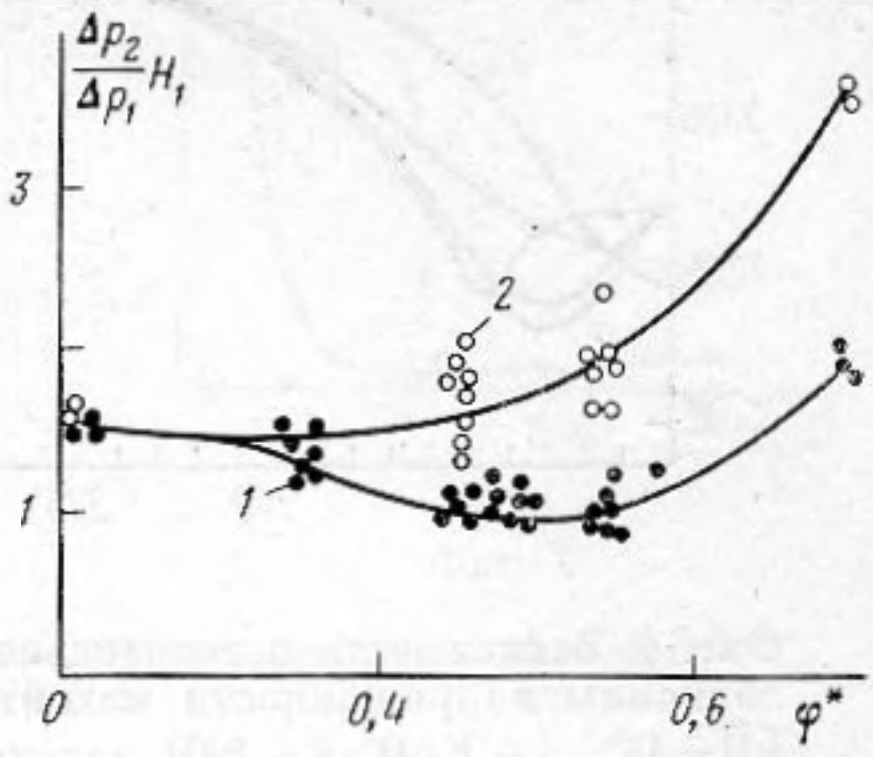
Дальнейшее увеличение доли больших пузырьков приводит к уменьшению амплитуды осцилляций в уединенной волне и при $\varphi^*\approx 0{,}9$ в экспериментах наблюдаются обычные солитоны, обусловленные колебаниями только больших пузырьков. Существование осцилляторных уединенных волн в жидкости с пузырьками газа двух различных размеров объясняется тем, что в такой системе имеются две степени свободы. Численные расчеты [6] показали, что при распространении нелинейных возмущений это приводит к образованию волновых структур сложной формы – осцилляторных уединенных волн (мультисолитонов), имеющих дискретный спектр. Простейшими являются мультисолитоны с модой колебаний (2,1), структура которых аналогична наблюдаемой в опытах (фиг. 1). Под модой колебаний (m, n) понимается число осцилляций малых (m) и больших (n) пузырьков в осциллирующей уединенной волне. Волновые структуры, качественно подобные мультисолитонам с высокими модами [6], наблюдались в опытах на малых расстояниях от входа в среду, но по мере распространения они трансформировались в мультисолитоны с модой (2,1). По-видимому, мультисолитоны с модой (2,1) в отличие от данных численных расчетов [6] имеют широкую область существования по амплитудам волн.

В работе [4] показано, что затухание уединенных волн умеренной интенсивности в жидкости с пузырьками газа одного размера обусловлено в основном тепловыми потерями осциллирующих пузырьков. Опытные данные по затуханию уединенных волн в этом случае обобщаются соотношением

$$\Delta p_2/\Delta p_1=0{,}72/H,$$
$$H=(\Delta p_1/p_0)^{0{,}67}\Delta x/R_0\sqrt{\varphi_0}\sqrt{a/(\omega_0 R_0^2)}, \qquad (1)$$

где Δp_1 и Δp_2 – амплитуды уединенных волн на расстояниях x_1 и x_2 от входа в среду, $\Delta x=x_2-x_1$, a – коэффициент температуропроводности газа в пузырьках, ω_0 – резонансная частота газового пузырька. На фиг. 3 представлены опытные данные по затуханию уединенных волн в жидкости с пузырьками газа двух разных размеров в координатах $H_1\Delta p_2/\Delta p_1$, φ^*, где $H_1=H(R_1)$. Величина H_1 определена с учетом того, что суммарное газосодержание $\varphi_0=\varphi_1+\varphi_2$.

При отсутствии больших пузырьков ($\varphi^*=0$) наблюдаемое в опытах затухание возмущений несколько меньше, чем следует из (1) – $H_1\Delta p_2/\Delta p_1=0{,}72$, что обусловлено взаимодействием соседних уединенных волн из-за их неполного разделения в условиях проведенных опытов [4]. Для жидкости, содержащей пузырьки только большого размера ($\varphi^*=1$), уединенные волны хорошо разделяются и наблюдаемое уменьшение их амплитуды соответствует расчету по формуле (1) с учетом того, что $(\Delta p_2/\Delta p_1)H_1=0{,}72H_1/H_2=0{,}72(R_1/R_2)^{3/2}$. Обработка опытных данных по затуханию возмущений в жидкости с пузырьками двух различных размеров показала, что в изученном диапазоне амплитуд волн и суммарного газосодержания они обобщаются в предложенных координатах. При этом затухание уединенных волн немонотонно зависит от величины φ^* и при $R_2/R_1=2$ в диапазоне $\varphi^*=0{,}3\div0{,}8$ наблюдается область повышенного затухания. Для волновых структур в этом диапазоне φ^* характерна малая длительность переднего фронта уединенной волны, форма которого близка к форме солитона, определенного по размеру маленького пузырька, что приводит к интенсивному поглощению энергии волны маленькими пузырьками. Вместе с тем при $\varphi^*=0{,}3\div0{,}8$ осцилляции слабо выражены (фиг. 2) и время пребывания малых пузырьков в пережатом состоянии максимально. Это приводит к увеличению диссипативных потерь вследствие теплообмена газовых пузырьков с жидкостью и как следствие – к увеличению затухания волн.



Фиг. 3. Затухание уединенных волн: $R_1=0{,}6$ мм, *1* – $R_2=1{,}2$ мм, *2* – $R_2=1{,}8$ мм

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузнецов В. В., Накоряков В. Е., Покусаев Б. Г., Шрейбер И. Р.* Распространение возмущений в газожидкостной смеси // Акуст. журн. 1977. Т. 23. № 2. С. 273–278.
2. *Нигматулин Р. И., Хабеев Н. С.* Теплообмен газового пузырька с жидкостью // Изв. АН СССР. МЖГ. 1974. № 5. С. 94–100.
3. *Гончаров В. В., Наугольных К. А., Рыбак С. А.* Стационарные возмущения в жидкости, содержащей пузырьки газа // ПМТФ. 1976. ч 6. С. 90–96.
4. *Донцов В. Е., Кузнецов В. В., Марков П. Г., Накоряков В. Е.* Эволюция возмущений давления умеренной интенсивности в жидкости с пузырьками газа // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 6. С. 1041–1045.
5. *Гасенко В. Г., Донцов В. Е., Кузнецов В. В., Накоряков В. Е.* Осциллирующие уединенные волны в жидкости с пузырьками газа // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1987. № 21. Вып. 6. С. 43–45.
6. *Гасенко В. Г., Изергин В. Л.* Стохастизация нелинейных волн в полидисперсной газожидкостной среде // Тр. XI междунар. симпоз. по нелинейной акустике. Новосибирск: Ин-т гидродинам. СО АН СССР. 1987. Ч. 2. С. 23–26.

Институт теплофизики
Сибирское отделение Академии наук СССР

Поступило в редакцию
7.XII.1987

УДК 534.23:537.634

ПОВЕРХНОСТНЫЕ МАГНИТОУПРУГИЕ ВОЛНЫ В Ni—Co МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРРИТАХ

Ермолов В. А.

Интерес, проявляемый к поверхностным магнитоупругим волнам (ПМУВ), вызван перспективностью этого типа волн для использования в управляемых устройствах обработки аналоговых сигналов [1]. Несомненный практический интерес представляет использование в качестве звукопроводов устройств на ПМУВ поликристаллических материалов. Однако все применения поликристаллических ферритов, как правило, ограничены диапазоном частот в сотни килогерц [2]. Главной причиной, затрудняющей их использование на более высоких частотах, является резкое увеличение затухания звука с ростом частоты.

В [3] сообщается об исследовании объемных магнитоупругих волн (ОМУВ) в Ni – Co магнитострикционных поликристаллических ферритах (МПФ), изготовленных способом горячего прессования. Использование указанного способа позволило существенно уменьшить величину затухания объемного звука, которая на частоте 70 МГц составила 2 дБ/см (при поле насыщения). Ниже рассмотрена возможность