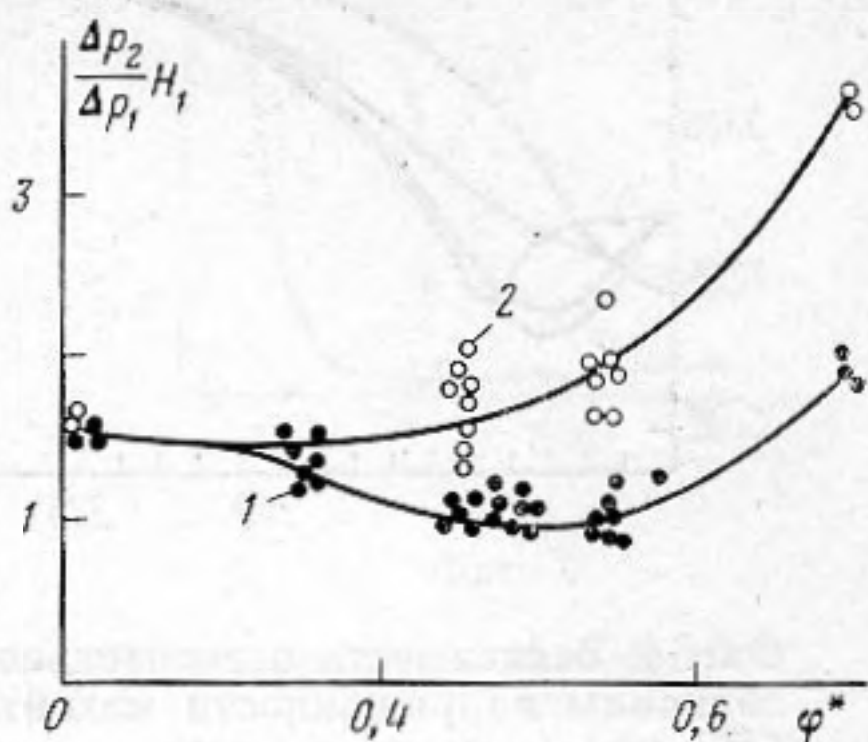


При отсутствии больших пузырьков ( $\varphi^*=0$ ) наблюдаемое в опытах затухание возмущений несколько меньше, чем следует из (1) —  $H_1\Delta p_2/\Delta p_1=0,72$ , что обусловлено взаимодействием соседних уединенных волн из-за их неполного разделения в условиях проведенных опытов [4]. Для жидкости, 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  $\varphi^*$  и при  $R_2/R_1=2$  в диапазоне  $\varphi^*=0,3\div 0,8$  наблюдается область повышенного затухания. Для волновых структур в этом диапазоне  $\varphi^*$  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  $\varphi^*=0,3\div 0,8$  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 В. 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

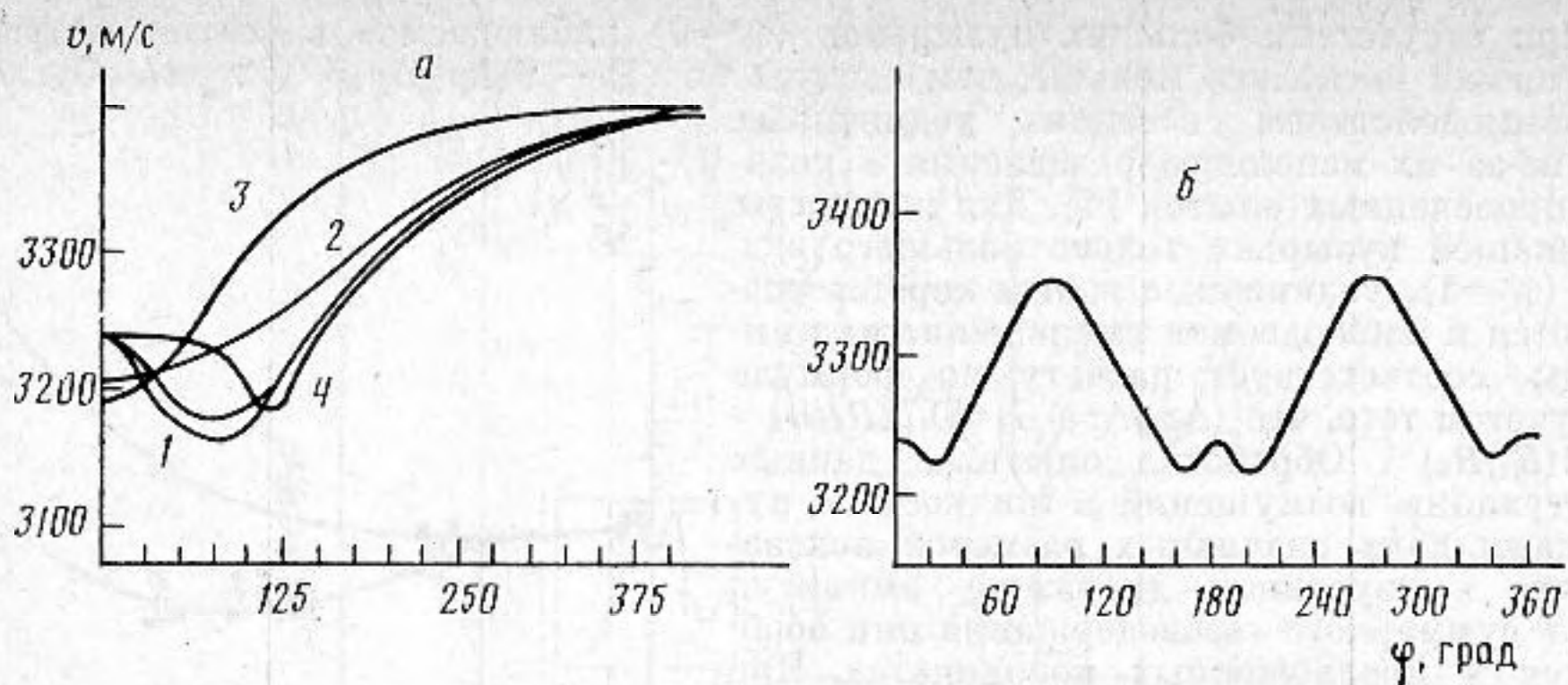
УДК 534.23:537.634

### ПОВЕРХНОСТНЫЕ МАГНИТОУПРУГИЕ ВОЛНЫ В Ni—Co МАГНИСТРИКЦИОННЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРРИТАХ

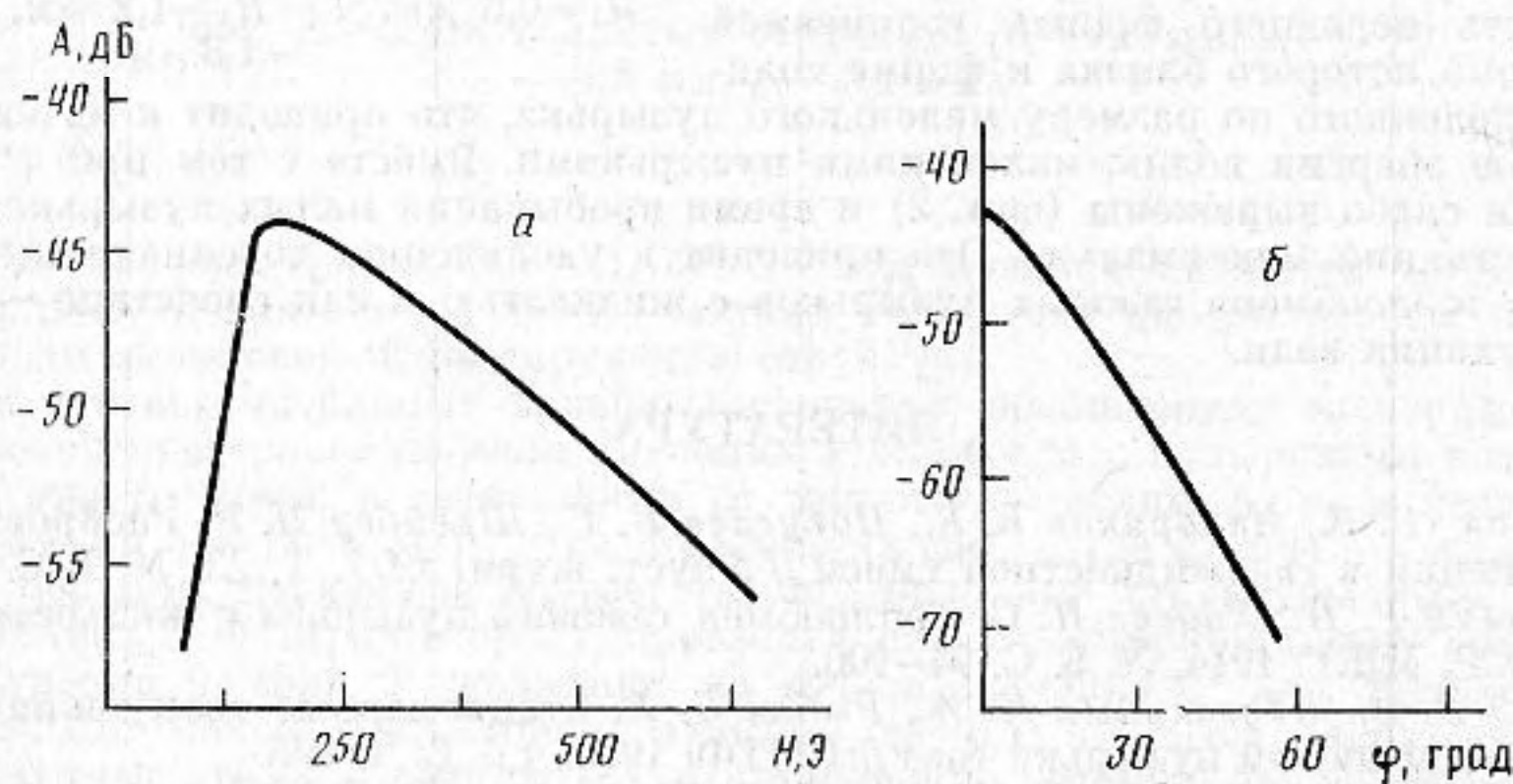
Ермолов В. А.

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 магнестрикционных 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



Фиг. 1. Зависимость относительного изменения скорости ПМУВ в МПФ от величины напряженности магнитного поля (а): 1 —  $k \parallel H$  эксперимент, 2 —  $k \parallel H$  теория; направление магнитного поля (б):  $\varphi = \widehat{kH}$ ,  $H = 150 \text{ Э}$



Фиг. 2. Зависимость потерь в УЛЗ с меандровыми преобразователями от величины напряженности магнитного поля  $k \parallel H$ , (а) и направления магнитного поля,  $\varphi = \widehat{kH}$ ,  $H = 150 \text{ Э}$  (б)

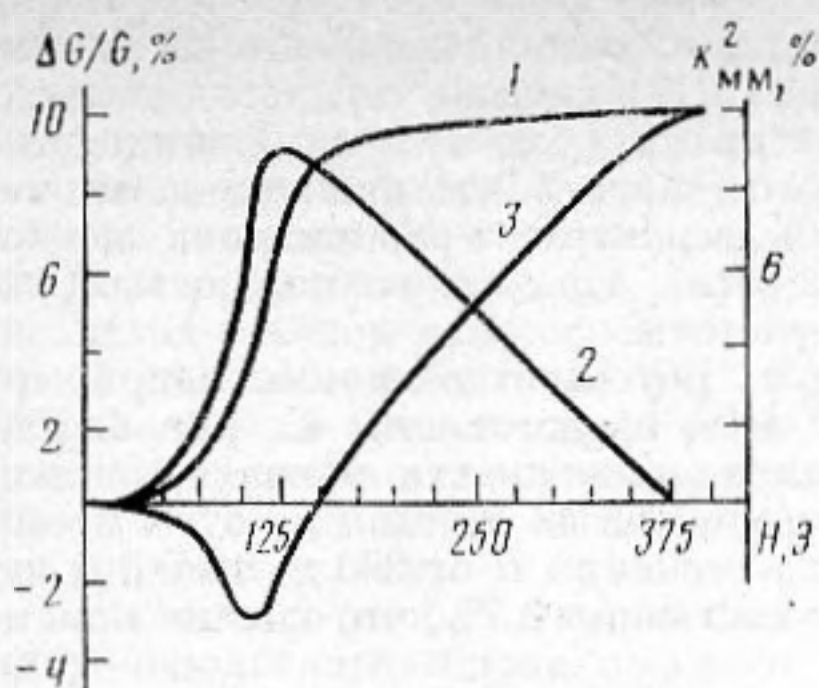
применения данного материала для создания управляемых устройств обработки аналоговых сигналов на ПМУВ. С этой целью исследовались зависимости скорости и затухания ПМУВ от величины и направления внешнего магнитного поля. Экспериментально изучался МПФ состава  $\text{NiO} - \text{CoO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , содержащий 50 мол. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и 1,2 мол. %  $\text{CoO}$ , для которого были получены наилучшие результаты на ОМУВ [3].

Возбуждение и детектирование ПМУВ в звукопроводе осуществлялось с помощью клиновых преобразователей. Звукопровод с укрепленными на нем клиновыми преобразователями помещался в зазор электромагнита, где с помощью поворотного столика обеспечивалась возможность изменения его ориентации относительно внешнего магнитного поля. Измерение скорости ПМУВ проводилось по стандартной радиопульсной методике, а измерение вносимого затухания проводилось при сравнении амплитуд сигналов, прошедших через измерительный аттенюатор и исследуемый макет. Для устранения размагничивающего фактора звукопровод из исследуемого материала был изготовлен в форме тонкой пластины круглой формы (толщина 1,5 мм, диаметр 30 мм).

Полученная экспериментальная зависимость скорости ПМУВ от величины напряженности внешнего магнитного поля для различных взаимных ориентаций волнового вектора  $k$  и направления внешнего магнитного поля  $H$  представлена на фиг. 1. Максимальное изменение скорости ПМУВ имеет место для случая  $k \parallel H$  и достигает 7,5%. При  $\widehat{kH} = 45$  и  $90^\circ$  диапазон изменения скорости приблизительно одинаковый  $\sim 5,5\%$ . Отметим, что для случая  $k \parallel H$  скорость изменяется в зависимости от напряженности внешнего магнитного поля по гистерезисной петле и наблюдается минимум скорости, отсутствующий в случае углов  $\widehat{kH}$  45 и  $90^\circ$ . Однако следует отметить, что величина гистерезиса незначительна, а для полей выше 125 Э он вообще отсутствует. Феноменологическое объяснение наблюдаемого «отрицательного»  $\Delta C$ -эффекта можно дать на основании хорошо известного соотношения [4]:

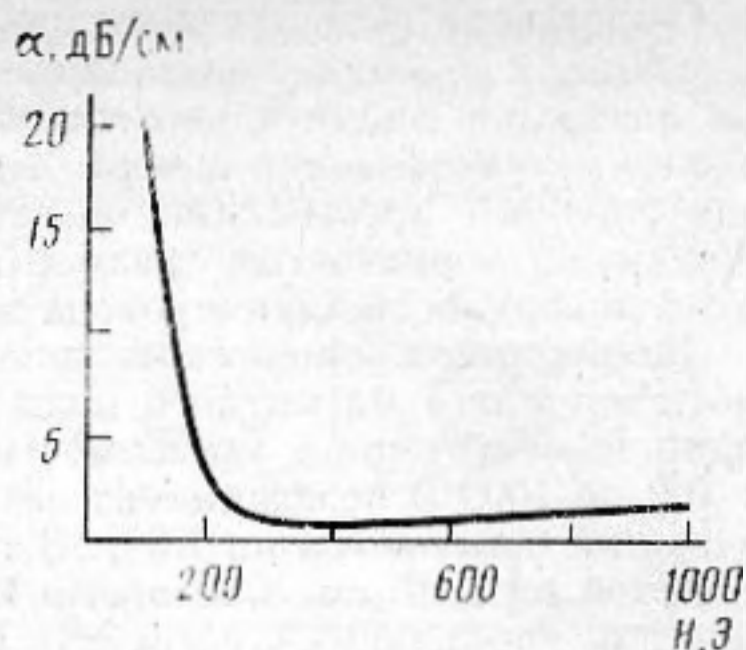
$$\Delta C^H / C_0^H = \Delta C^B / C_0^B - k_{\text{MM}}^2, \quad (1)$$

где  $\Delta C^H / C_0^H$  и  $\Delta C^B / C_0^B$  — относительные приращения упругих модулей соответственно при постоянных поля и индукции,  $k_{\text{MM}}$  — коэффициент магнитомеханической связи.



Фиг. 3

Фиг. 3. Зависимость от напряженности магнитного поля: 1 —  $\Delta G^B/\Delta G_0^B$ ; 2 —  $k_{MM}^2$ ; 3 —  $\Delta G^H/G_0^H$



Фиг. 4

Фиг. 4. Зависимость коэффициента затухания ПМУВ в МПФ от величины напряженности магнитного поля,  $f=30$  МГц,  $\mathbf{k}\parallel\mathbf{H}$

Как показывает эксперимент, зависимость  $\Delta C^B/C_0^B$  от  $\mathbf{H}$  носит монотонный характер [4]. Качественные зависимости коэффициента магнитомеханической связи  $k_{MM}^2$  для исследуемого материала от величины и направления напряженности внешнего магнитного поля определялись с помощью меандрового преобразователя, поскольку выходной сигнал в таком преобразователе пропорционален  $k_{MM}^2$ . Экспериментально полученные зависимости потерь в линии задержки на ПМУВ с меандровыми преобразователями представлены на фиг. 2.

Как следует из выражения (1), отрицательный  $\Delta C$ -эффект может возникнуть, если для данного материала имеет место область значений  $\mathbf{H}$ , где  $\Delta C^B/C_0^B < k_{MM}^2$ . Если  $k_{MM}^2$  материала велик, а  $C^B$  сравнительно медленно меняется с ростом  $\mathbf{H}$ , то превалирует эффект изменения  $k_{MM}^2$ . Подобный случай наблюдается при  $\mathbf{k}\parallel\mathbf{H}$ . При увеличении угла между  $\mathbf{k}$  и  $\mathbf{H}$  коэффициент магнитомеханической связи быстро падает и неравенство вида  $\Delta C^B/C_0^B < k_{MM}^2$  уже не выполняется. Поэтому для случаев  $\widehat{\mathbf{kH}}=45$  и  $90^\circ$  явление отрицательного  $\Delta C$ -эффекта не наблюдается.

Совершенно аналогично может быть объяснено появление отрицательного  $\Delta C$ -эффекта на зависимости скорости ПМУВ от угла между направлением внешнего магнитного поля и направлением волнового вектора при  $\widehat{\mathbf{kH}}=0$  и  $180^\circ$  (фиг. 1, б) и его отсутствие при  $\widehat{\mathbf{kH}}=90$  и  $270^\circ$ .

Проведем количественную оценку описанного механизма возникновения отрицательного  $\Delta C$ -эффекта. Изменение упругих и магнитоупругих свойств феррита в зависимости от напряженности магнитного поля можно получить из соответствующих зависимостей скорости ОМУВ. Известно, что в намагниченной магнитоотрицательной керамике (симметрия  $\infty/m$ ) величины модуля сдвига  $G^B$  и квадрата коэффициента магнитомеханической связи для сдвиговой волны  $k_{MMS}^2$  определяются соотношениями [5]:

$$G^B = \rho v_s^2(\mathbf{k}\perp\mathbf{H}; \mathbf{S}\parallel\mathbf{H}), \quad (2)$$

$$k_{MMS}^2 = \frac{v_s^2(\mathbf{k}\perp\mathbf{H}; \mathbf{S}\parallel\mathbf{H}) - v_s^2(\mathbf{k}\parallel\mathbf{H}; \mathbf{S}\perp\mathbf{H})}{v_s^2(\mathbf{k}\perp\mathbf{H}; \mathbf{S}\parallel\mathbf{H})},$$

где  $\rho$  — плотность феррита,  $\mathbf{k}$  — волновой вектор;  $\mathbf{S}$  — вектор поляризации,  $v_s$  — скорость ОМУВ.

Для определения зависимости  $\Delta G^H/G_0^H$ ;  $\Delta G^B/G_0^B$  и  $k_{MMS}^2$  от внешнего магнитного поля были использованы экспериментальные кривые скорости сдвиговых ОМУВ в функции внешнего магнитного поля, представленные на фиг. 5, а работы [3] (аналогичные зависимости были получены и автором настоящей работы). Рассчитанные на основании этих данных и соотношений (2) графики зависимостей  $\Delta G^H/G_0^H(H)$ ;  $\Delta G^B/G_0^B(H)$  и  $k_{MMS}^2(H)$  представлены на фиг. 3. Полученные результаты подтверждают справедливость описанного выше механизма возникновения отрицательного  $\Delta C$ -эффекта.

Учитывая, что ПМУВ имеет сдвиговую и продольную компоненты смещения, а, как следует из результатов работы [3], скорость продольных ОМУВ значительно слабее, чем сдвигающих зависит от магнитного поля, можно показать, что зависимость  $\Delta G^H/G_0^H(H)$  определяет соответствующую зависимость скорости ПМУВ. Полученная с использованием формулы, аналогичной формуле Викторова [6], кривая зависимости скорости ПМУВ от магнитного поля представлена на фиг. 1, а (точка приведения  $v=3240$  м/с в отсутствие магнитного поля). Можно отметить хорошее совпадение экспериментальных и теоретических кривых.

Существенный вклад в акустические потери в поликристаллах вносит рассеяние на границах зерен. Использование при изготовлении МПФ способа горячего прессования позволило значительно снизить размеры кристаллитов (до 5–9 мкм), а следовательно, и акустические потери. Кроме того, следует отметить, что использование метода горячего прессования обеспечило получение ферритов с равномерной мелкодисперсной пористостью (размер пор не более 0,5 мкм), что дало возможность обработки поверхности звукопровода по 12-му классу чистоты.

Экспериментальная зависимость магнитоупругих потерь от величины напряженности внешнего магнитного поля для частоты 30 МГц представлены на фиг. 4. Как видно из полученной зависимости, при изменении напряженности магнитного поля от 100 до 1000 Э коэффициент затухания  $\alpha$  изменяется на 18 дБ/см, при этом время задержки изменяется на 7,5%. В то же время при изменении  $H$  от 200 до 1000 Э  $\alpha$  изменяется на 2 дБ/см, в то время как изменение  $\nu$  составило 2,5%, что вполне приемлемо для управляемых устройств на ПМУВ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. Н., Злоказов М. В. Управляемые устройства обработки сигналов на ПАВ // Зарубеж. электрон. техника. 1980. № 10. С. 3–64.
2. Сыркин Л. Н. Пьезомагнитная керамика Л.: Энергия, 1972.
3. Поваренко А. Д., Бондаренко В. С., Закгейм Е. Л. и др. Магнитострикционный феррит как материал для акустоэлектронных устройств // Электрон. техника. Сер. 6. Материалы. 1983. № 6. С. 7–11.
4. Голямина И. П., Чулкова В. К. Зависимость модуля Юнга и механической добротности магнитострикционных ферритов от подмагничивания // Акуст. журн. 1966. Т. 12. № 4. С. 428–434.
5. Берлинкур Д., Керран Д., Жаффе Г. Пьезоэлектрические и пьезомагнитные материалы и их применение в преобразователях // Физическая акустика. Т. 1. М.: Мир, 1966.
6. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. М.: Наука, 1982.

Московский инженерно-физический институт

Поступило в редакцию  
9.II.1988

УДК 534.26

#### ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

*Заган В. И., Мальцев С. В., Серых И. И.*

Для решения ряда задач гидроакустики необходимо применение широкополосного низкочастотного излучателя, у которого коэффициент частотного диапазона  $k_d$ , определяемый отношением верхней частоты диапазона  $f_v$  к нижней  $f_n$ , составляет несколько единиц.

Таким требованиям может успешно удовлетворять гидравлический нерезонансный излучатель, в котором излучающая система (в данном случае круглый поршень в бесконечном экране) не содержит упругих элементов. Гидравлический исполнительный механизм жестко связан с излучающим поршнем и перемещает его по заданному закону, преодолевая собственное внутреннее сопротивление и импедансную нагрузку среды, в которую идет излучение. Нерезонансным такой излучатель можно называть при условии, когда в его рабочий диапазон частот не попадают частоты частных резонансов излучателя либо эти резонансы не влияют на характер частотной характеристики.

Схема конструкции широкополосного гидравлического излучателя серии ИГДИ [1] показана на фиг. 1. Излучающая система излучателя состоит из двух синфазных симметрично расположенных круглых излучающих поршней 1, установленных с уплотнением в корпусе 2, заполненном воздухом от системы компенсации гидростатического давления. Колебания излучающих поршней создаются исполнительными гидравлическими механизмами 3. Движение исполнительных поршней механизмов 3 задается потоками рабочей жидкости, поступающими от гидроусилителей 4 типа «сопло — заслонка — золотник». В нагнетающей магистрали непосредственно перед гидроусилителями установлены газогидравлические аккумуляторы 5, выполняющие роль сглаживающего фильтра. Закон изменения параметров потоков рабочей жидко-