## ЛИТЕРАТУРА

1. *Авилова Г. М., Рыбак С. А.* Влияние армировки на поглощение изгибных волн в трехслойной цилиндрической оболочке // Акуст. журн. 1984. Т. 30. № 5.
2. *Гринченко В. Г., Мелешко В. В.* Гармонические колебания и волны в упругих телах. Киев: Наукова думка. 1981.
3. *Гонткевич В. С.* Собственные колебания пластинок и оболочек. Киев: Наукова думка. 1964.
4. *Болотин В. В., Новичков Ю. Н.* Механика многослойных конструкций. М.: Машиностроение. 1980.
5. *Новичков Ю. Н.* О различных моделях описания деформирования многослойных конструкций // Тр. Моск. энерг. ин-та. 1980. № 459.
6. *Панкратова Н. Д.* К исследованию напряженного состояния двухслойных цилиндрических оболочек // Прикл. механика. 1979. Т. 15. № 4.
7. *Байбуртян В. А.* О некоторых особенностях напряженно-деформированного состояния двухслойных пластин и оболочек, вытекающих из анализа трехмерных уравнений теории упругости // Докл. II Всесоюз. конф. по теории упругости. Тбилиси. 1984.
8. *Новичков Ю. Н.* Распространение волн в слоистых цилиндрических оболочках // Изв. АН СССР. МТТ. 1973. № 2.
9. *Вольмир А. С.* Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М.: Наука. 1972.
10. *Али-Заде А. Н.* Об уточнении геометрической гипотезы Кирхгофа – Лява при расчете двухслойных оболочек // Изв. АН АзССР. Сер. физ.-тех. и мат. наук. 1983. Т. 4. № 6.
11. *Мяченков В. И., Григорьев И. В.* Расчет составных оболочечных конструкций на ЭВМ. М.: Машиностроение. 1981.
12. *Майборода В. П., Трояновский И. Е.* Собственные колебания неоднородных вязкоупругих тел // Изв. АН СССР. МТТ. 1983. № 2.



Ростовский государственный университет



Поступило в редакцию 26.III.1986


---


УДК 534.29:681.723:621.318


# ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДОЙ

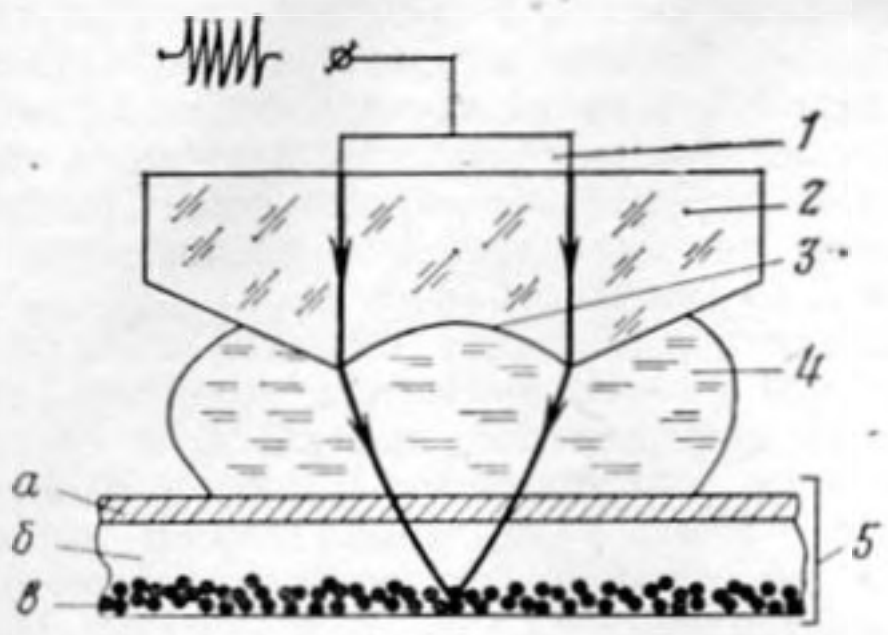

***Коледов В. В., Кулаков М. А., Левин М. Н., Моносов Я. А., Морозов А. И., Шахунов В. А.***


В работе [1] для записи изображения предложена магнитореологическая гетерогенная среда (ГС). Она представляет собой композицию двух веществ: оптически прозрачного связующего и непрозрачных частиц наполнителя. Связующее обладает способностью к агрегатному переходу, а частицы наполнителя – к взаимодействию с внешним магнитным полем. Частицы наполнителя располагаются хаотически в приповерхностном слое связующего и определяют его оптическую плотность. В [2] была показана возможность записи на носитель на основе ГС полутоновых изображений электромагнитного излучения в оптическом и ИК-диапазоне длин волн. Запись происходит следующим образом. Магнитные частицы поглощают информационный поток излучения, нагреваются сами и нагревают связующее до температуры агрегатного перехода. Получая возможность свободно двигаться в жидкой фазе, они под действием магнитного поля выстраиваются в цепочки, что уменьшает результирующую площадь их проекции на плоскость подложки и приводит к увеличению оптической прозрачности слоя ГС. После застывания связующего полученное изменение прозрачности ГС может сохраняться неограниченное время.

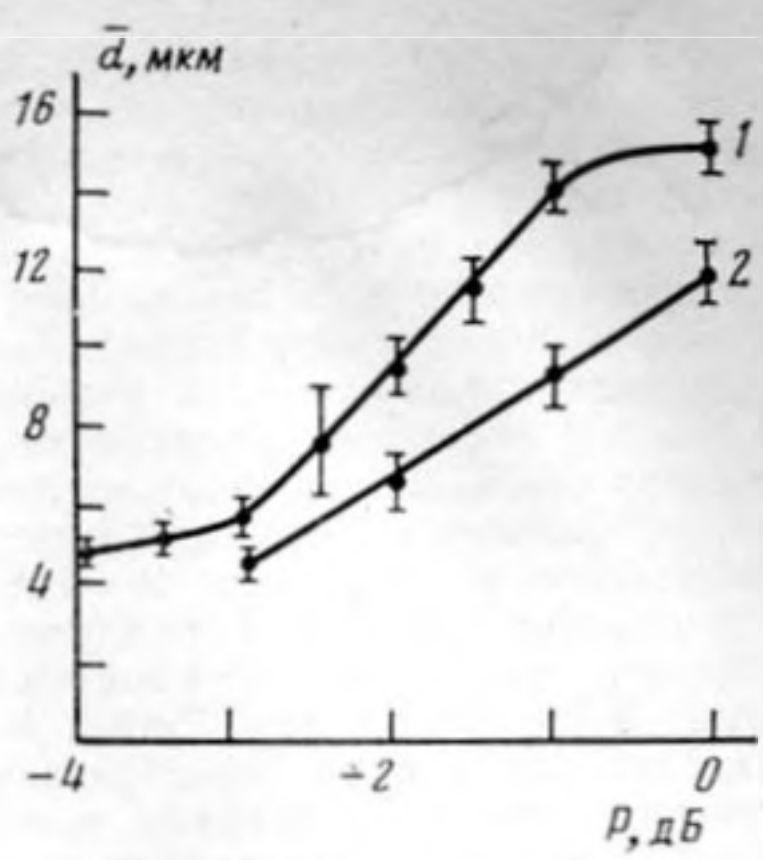
Работа посвящена исследованию возможности визуализации акустического излучения с помощью носителя на основе ГС. В качестве источника излучения был использован сканирующий акустический микроскоп (САМ) [3] с линзовым акустическим элементом (ЛАЭ) из кремния [4]. Для экспериментов изготовлялись носители, в которых в качестве связующего использовался слой воска толщиной 10–20 мкм с температурой агрегатного перехода 45° С, а наполнителя – порошок магнетита со средним размером частиц ~1 мкм. Подложки из лавсана имели толщину 5 мкм. Исходная оптическая прозрачность носителей составляла 0,01–0,1.

Носитель помещали в держатель САМ параллельно фокальной плоскости ЛАЭ (фиг. 1). Настройку на фокус производили в режиме отражения по максимальному выходному сигналу. Носитель экспонировали одиночными акустическими импульсами на частоте 240 МГц со стороны подложки. Экспозицию варьировали изменением длительности импульса $\tau_и$ от 0,2 до 5 мс при подводимой к преобразователю электрической мощности $P=400$ мВт либо изменением мощности при фиксированной длительности импульса 5 мс.

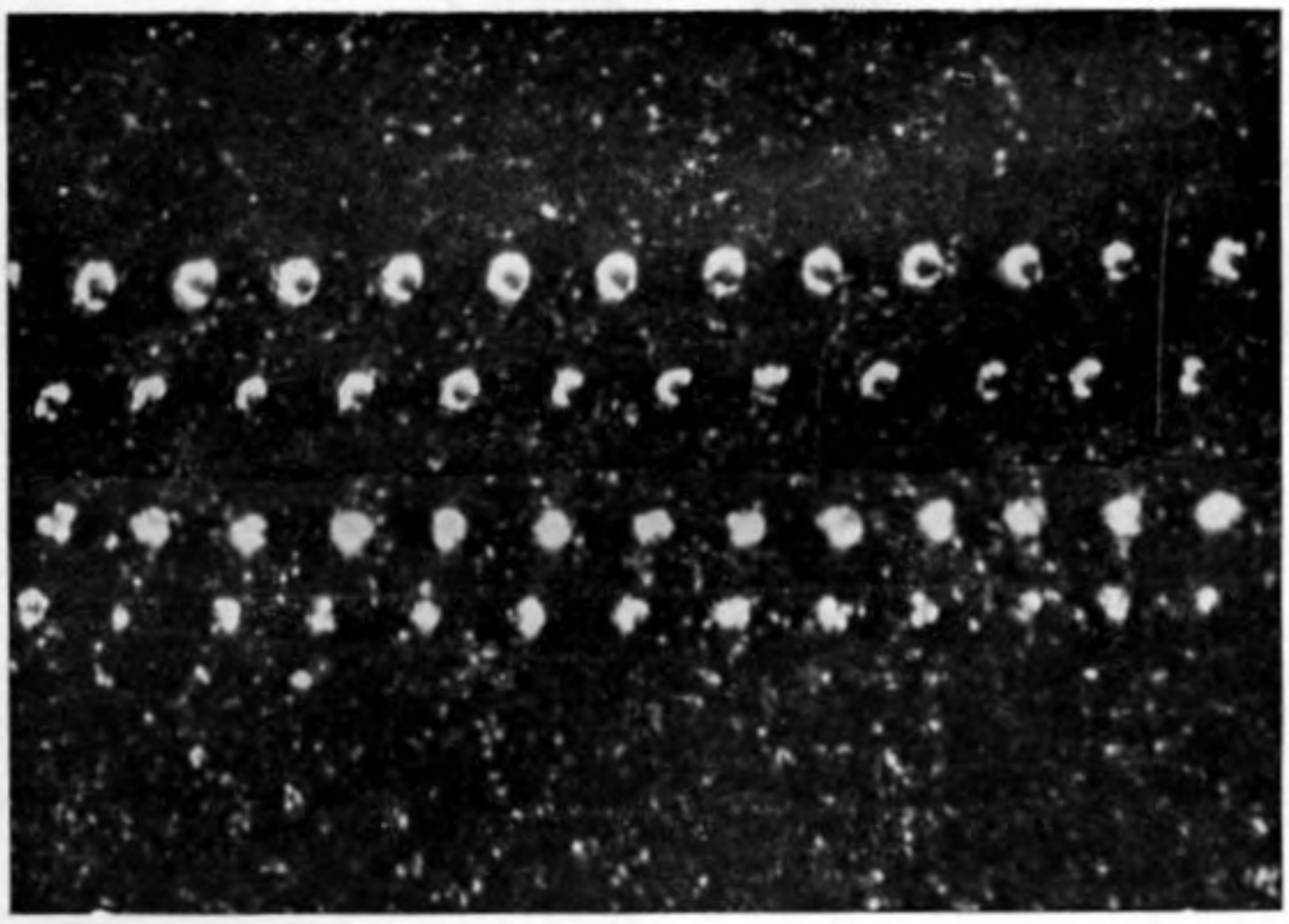
На фиг. 2 приведены типичные серии изображений, полученные на носителе, помещенном в фокальную плоскость акустической линзы при различной экспозиции со стороны подложки. Каждая строка соответствует одному значению экспозиции. Из фигуры видно, что при малых экспозициях элементы записи представляют собой светлые пятна округлой формы. С увеличением экспозиции их размер увеличивается и, начиная с ее некоторого значения, видимая структура пятен изменяется.




Фиг. 1




Фиг. 3



Фиг. 2

Фиг. 1. Схема эксперимента: *1* – преобразователь, *2* – звукопровод, *3* – акустическая линза, *4* – иммерсионная жидкость, *5* – носитель; *а* – подложка, *б* – слой связующего, *в* – слой частиц

Фиг. 2. Микрофотография изображений на носителе: $\tau_и$=5 мс, *P* (0 дБ)=400 мВт. Сверху вниз: 0 – дБ, –1, –2, –3 дБ

Фиг. 3. Зависимость размера изображения на носителе от экспозиции: $\tau_и$=5 мс, *P* (0 дБ)=400 мВт. *1* – на носителе по фиг. 1, *2* – на симметричном носителе

Элементы записи приобретают вид светлых кругов с темной областью в центре или несколько смещенной от него. Минимальный размер полученных изображений составлял ~5 мкм, максимальный – ~20 мкм. При расфокусировке ЛАЭ размер изображения на носителе увеличивался.

Механизм записи состоял в том, что воздействие акустического излучения в фокальной области линзы на носитель приводило к локальному нагреву и расплавлению связующего и перегруппировке частиц в нем. Действительно, значение коэффициента поглощения в воске на частоте 240 МГц, измеренное с помощью САМ на прохождение с акустоэлектрическим детектором [4], было велико и составило 0,5 дБ/мкм.

Для выяснения характера поведения частиц при воздействии акустического излучения ЛАЭ были использованы два типа носителей, в которых частицы располагались не на поверхности, а внутри слоя связующего. В первом случае носитель представлял собой симметричную структуру: имел две подложки, между ними слой связующего, в середине которого располагался слой частиц. Во втором случае частицы распределялись равномерно по объему связующего. Исследования изображений на таких носителях показали, что в обоих случаях частицы в области расплавления мигрировали в направлении распространения акустических волн и собирались в плотный комок на границе связующего с подложкой. Его поперечный размер был меньше диаметра просветленной области. При уменьшении экспозиции размер комка уменьшался, а начиная с некоторого ее значения, его обнаружить не удавалось.

Перегруппировка частиц происходила в результате воздействия радиационного давления и, возможно, акустического течения (см., например, [5]). Очевидно, в проведенных экспериментах действие этих факторов значительно превышало влияние магнитных сил, в результате чего выстраивание частиц в цепочки, как при записи электромагнитного излучения, не происходило. Можно ожидать, что при увеличении магнитного поля силы магнитного взаимодействия между частицами будут преобладать и обеспечат возможность получения полутонового изображения. Кроме того, для записи полутонового изображения может быть использован растровый способ. На это указывает наличие линейного участка на кривой зависимости среднего размера изображения от подводимой к ЛАЭ мощности (фиг. 3).

Оценка плотности энергии записи проводилась по пятну минимального размера в соответствии с выражением: $W=P\tau_и/kS$, где $P$ – электрическая мощность, подводимая к преобразователю, $\tau_и$ – длительность акустического импульса, $k$ – коэффициент потерь мощности, $S$ – площадь сечения акустического пучка в фокальной плоскости. В нашем случае $P=160$ мВт, $\tau_и=5$ мс, $S=30$ мкм$^2$. Потери мощности складывались из потерь преобразования преобразователя и распространения в акустическом тракте. Суммарные потери составляли ~30 дБ, т. е. $k=1000$. Оценка дает $W=2{,}5$ Дж/см$^2$. Отметим, что значение плотности энергии записи может быть существенно уменьшено, если носитель на основе ГС подготовить к записи путем предварительного подогрева по методике, описанной в [6], а также при использовании для экспозиции более коротких и мощных импульсов. Полученный минимальный диаметр пятна ~5 мкм примерно соответствует диаметру акустического пучка в области перетяжки и может быть уменьшен при увеличении частоты.

Таким образом, исследована возможность визуализации акустического излучения ЛАЭ на носителе на основе ГС. Воздействие акустического излучения приводит к изменению оптической плотности носителя. Показано, что механизм формирования изображения и его микроструктура при записи акустического и электромагнитного излучений различаются. Полученные результаты открывают дополнительные возможности для визуализации и исследования акустических пучков.

## ЛИТЕРАТУРА


1. *Моносов Я. А.* Реверсивная гетерогенная среда для записи изображений на основе перегруппировки наполнителя: Препринт № 13 (296). М.: ИРЭ АН СССР, 1980. 34 с.
2. *Горлова И. Г., Дрожбин Ю. А., Карабанов А. Ю., Коледов В. В., Моносов Я. А., Прокопенко В. Е., Пюрбеев А. Д., Семенов В. Б., Тусова Ю. П., Шахунов В. А.* Регистрация излучения с длиной волны 10,6 мкм на гетерогенную среду на основе магнитной суспензии // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 11. С. 2268–2269.
3. *Кулаков М. А., Кустов А. И., Морозов А. И.* Сканирующий акустический микроскоп // ПТЭ. 1986. № 2. С. 184–196.
4. *Morozov A. I., Kulakov M. A.* Single lens transmission scanning acoustic microscope // Electron Lett. 1980. V. 16. № 15. P. 596–597.
5. *Грищенко Е. К.* Миниатюрный фокусирующий излучатель из монокристалла сульфида кадмия на частоте 60 МГц // Акуст. журн. 1968. Т. 14. Вып. 3. С. 385–389.
6. *Doev V. S., Koledov V. V., Monosov Ya. A., Sapronov S. D., Tulaikova A. A., Chalkin S. F.* Magnetic Suspention with Phase Transition as a Sensor of Radiation Flux Investigation and as Instrument for Magnetic Bodies Fault Detection // Proc. 11-th Japan – USSR Electronics Symposium. December 3–4, 1984, Moscow.



Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР



Поступило в редакцию
5.VI.1986


---


УДК 534


# СУЖЕНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ПУЗЫРЬКОВЫЙ СЛОЙ


***Кустов Л. М., Назаров В. Е., Сутин А. М.***


При распространении акустических волн в жидкости с пузырьками газа наблюдаются эффекты самовоздействия, обусловленные взаимодействием поля и среды друг на друга. С этими эффектами связаны самофокусировка [1] и самопросветление [2] акустических волн. Последний эффект определяется зависимостью коэффициента поглощения волны в пузырьковой среде от ее интенсивности. Такая зависимость может приводить к сужению диаграммы направленности акустического излучателя при прохождении пучка через пузырьковый слой. Это явление наблюдается при малых интенсивностях звуковой волны и может иметь место для реальных излучателей, работающих в воде с пузырьками газа.

Рассмотрим случай, когда пузырьковый слой находится в дальней зоне излучателя, где диаграмма уже сформировалась. При самовоздействии звуковых волн в пузырьковой среде поглощение звука зависит от интенсивности волны, что приводит к зависимости коэффициента прохождения волны через слой от угловой коор-