

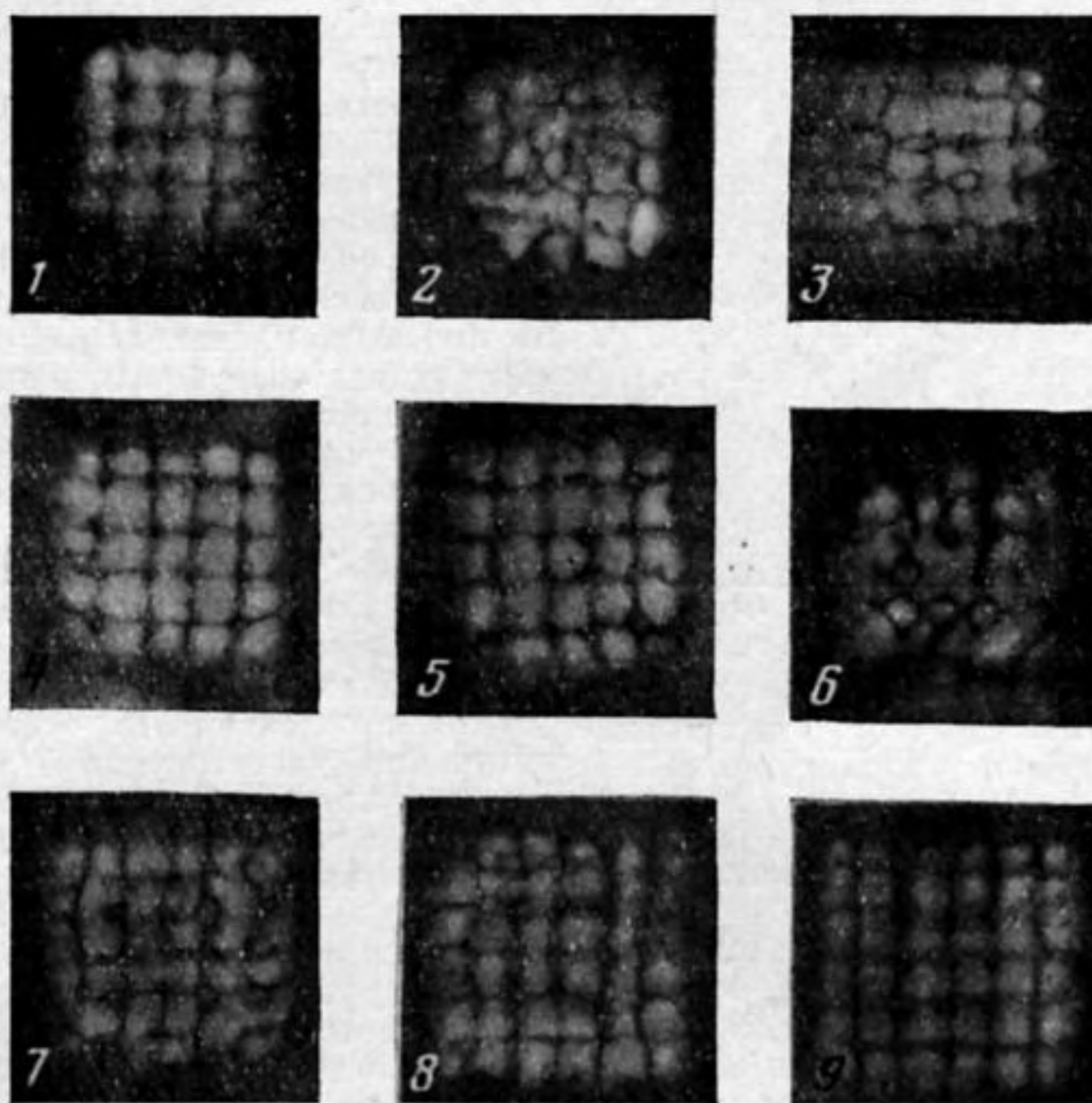
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ПЬЕЗОПЛАСТИН НА ХАРАКТЕР ИХ КОЛЕБАНИЙ

О. Е. Цок

Колебания реальных пьезопластин с конечными размерами на частоте резонанса по толщине являются сложными и представляют собой результат сложения поршнеобразных колебаний с колебаниями в других направлениях [1–5]. В работе [6] указывается на искажение стоячими волнами поршнеобразных колебаний, что проявляется в периодичности изменения амплитуды колебаний вдоль поверхности пьезопластин.

С целью выяснения закономерностей характера колебаний пьезопластин нами были проведены исследования распределения амплитуды и фазы колебаний по поверхности излучателей в зависимости от их размеров. Исследования проводились методом звукофотографии и с помощью миниатюрных пьезоэлектрических зондов на частотах от 100 кГц до 5 мГц для пьезопластин прямоугольной и квадратной форм.

Метод звукофотографии, обоснованный в работах [7, 8], был нами усовершен-



Фиг. 1. Звукофотографии квадратных пьезопластин с отношением размеров стороны и толщины, равным последовательно: 4, $4^{1/4}$, $4^{1/2}$, $4^{3/4}$, 5, $5^{1/4}$, $5^{1/2}$, $5^{3/4}$, 6

ствован [9] применением фотопленки вместо фотобумаги и звукофотографированием при температуре $1-4^{\circ}\text{C}$, что увеличило чувствительность, точность метода и дало возможность проводить количественные измерения с помощью микрофотометра.

Результаты исследований характера колебаний квадратных пластин титаната бария приведены на фиг. 1 и 2. На фиг. 1 представлены звукофотографии, полученные при контакте фотопленки с пьезопластинами различных размеров, излучающими бегущие ультразвуковые волны в ванну с водой; на фиг. 2 — резонансная частота в зависимости от размеров пьезопластин. Резонансная частота определялась частотомером при настройке питающего пластину генератора на максимум излучаемой акустической мощности, измеряемой радиационным методом. Для обеспечения оди-

наковых условий опыта пьезопластины различных размеров были получены из одной с первоначальными размерами $18,12 \times 18,12 \times 3,02$ мм³, стороны которой перед каждой настройкой на резонанс с измерением частоты и звукофотографированием уменьшались на $1/8$ толщины пластины.

Как видно из звукофотографий на рис. 1, периодически чередующаяся плотность почернения фотоэмульсии на фотопленке (т. е. просветления на отпечатке) свидетельствует о колебаниях различных участков поверхности пьезопластин с различной амплитудой. Фотографии 1, 5, 9 на фиг. 1, представляющие квадратные пластины, по сторонам которых толщина укладывается соответственно 4, 5, 6 раз, указывает соответственно на 16, 25, 36 участков максимальной плотности почернения фотоэмульсии, расположенных в шахматном порядке. Для пластин, размеры которых больше предыдущих на $1/8$ толщины, участки максимальной плотности почернения фотоэмульсии пленки расположены хаотически (фотографии 2 и 6, фиг. 1).

Объяснить закономерность шахматного распределения амплитуды колебаний поверхности квадратных и прямоугольных пластин можно, допустив, что кроме поршнеобразных колебаний пластины по толщине параллельно ее длине и ширине устанавливаются продольные стоячие ультразвуковые волны, половина длины которых равна толщине пластины.

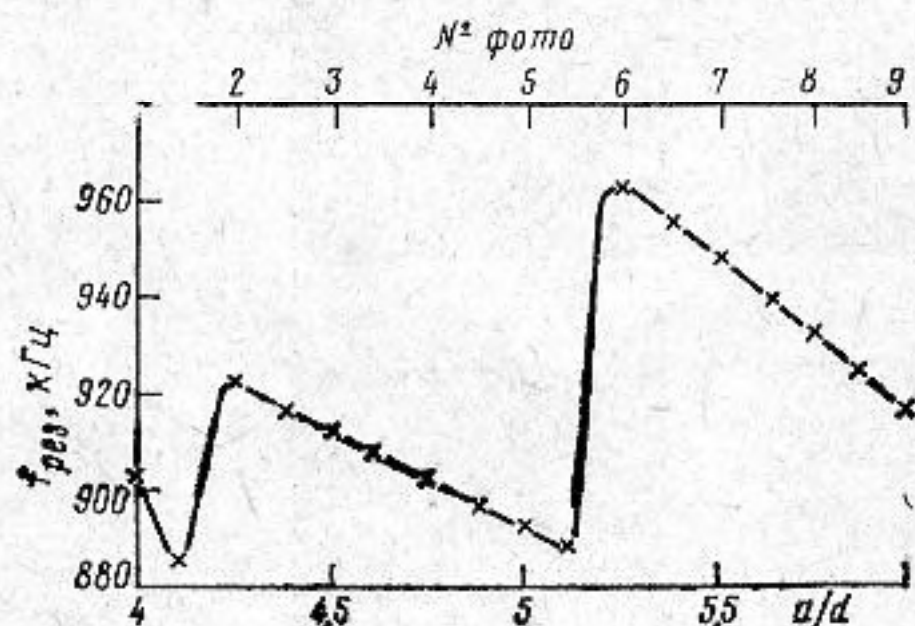
Дополнительные подтверждения этой гипотезы мы получили, проводя исследования с помощью миниатюрных пьезозондов. Для этого один зонд размещался в пучности амплитуды колебаний, а второй перемещался по поверхности пьезопластины. Напряжение с выхода зонда подавалось на оси x и y осциллографа. Результатом сложения полученных переменных напряжений являлся отрезок прямой на экране осциллографа, который при перемещении одного зонда в пределах данной полуволны изменялся по величине, а при переходе его на соседнюю полуволну поворачивался приблизительно на $\pi/2$. Такая картина свидетельствует о том, что соседние участки поверхности пьезопластин размером приблизительно в $\lambda/2$ (λ — длина волны в пьезопластине) колеблются в противофазе.

Подобное изменение амплитуды и фазы в случае перемещения одного зонда при неподвижном втором или при подаче на ось x осциллографа опорного напряжения, питающего пьезоизлучатель, возможно только при установлении в нем систем стоячих ультразвуковых волн.

Сравнение величины амплитуды в узлах и пучностях по напряжению на выходе пьезозонда или по результатам микрофотометрирования звукофотографий показывает, что для пьезопластин, по сторонам которых укладывается целое число полуволн, амплитуда в узлах составляет 10–20% от амплитуды в пучностях. Это свидетельствует о том, что основной вклад в излучении ультразвуковой энергии дают не чисто поршнеобразные колебания, а колебания в виде стоячих волн. Поэтому для

получения максимальной мощности от излучателя необходимо учитывать все размеры пьезопластины.

Уменьшение размеров пьезопластин на $1/4$ толщины, как видно на фотографиях 9, 8, 7, 6 или 5, 4, 3, 2 (фиг. 1), ведет к нарушению упорядоченности распределения их амплитуды колебаний. При этом резонансная частота, как это видно на графике фиг. 2, увеличивается. Максимального значения резонансная частота достигла у пластин, размеры которых на $1/8$ толщины больше целого числа половин длины ультразвуковой волны. Для этого случая распределение амплитуды колебаний поверхности пьезопластин нестабильно, хаотично (фотографии 2, 6 на фиг. 1).



Фиг. 2. Зависимость резонансной частоты пластины $f_{рез}$ от отношения размера ее стороны a к толщине d

ЛИТЕРАТУРА

1. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи. М., «Мир», 1972, 310–318.
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М., Изд-во иностр. лит., 1957, 75–92.
3. Мезон У. Физическая акустика, т. 1, ч. А. М., «Мир», 1966, 277–279.
4. Писаренко Г. С. Колебания механических систем с учетом несовершенной упругости материала. Киев, «Наукова думка», 1970, 300–326.
5. Зонхивев М. А., Мясников А. А. О совмещении методов фигур Хладни и интерферометрического при исследовании амплитуды и формы колебаний пьезопластин. Акуст. ж., 1967, 13, 3, 383–385.
6. Каневский И. Н. Об анализе искажений поля плоского пьезоэлектрического излучателя. Докл. АН СССР, 1959, 129, 4, 766–769.

7. *Архангельский М. Е., Афанасьев В. Я.* Исследование фотодиффузионного метода визуализации ультразвуковых полей. Акуст. ж., 1957, 3, 3, 214–219.
8. *Архангельский М. Е.* Ускоряющее действие ультразвука на процессы проявления фотографической эмульсии. Акуст. ж., 1960, 6, 2, 180–186.
9. *Цок О. Е., Цок Н. О., Леонтьев А. П., Чевненко А. А.* Визуализация и количественное определение неоднородности ультразвуковых полей. Тезисы докл. Четвертой всесоюзной научно-технической конференции по ультразвуковым методам интенсификации технологических процессов, ч. 1. М., «Металлургия», 1979, 25–28.

Ивано-Франковский
институт нефти и газа

Поступила
7 мая 1979 г.
После исправления
21 февраля 1980 г.