

## ЭЛЕКТРОННО-АКУСТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*И. К. Ощепков, Л. Д. Розенберг, Ю. В. Семенников*

Описывается электронно-акустический преобразователь высокой чувствительности с приемником из керамики титаната бария. Порог его действия в области низких мегагерцевых частот составляет  $3 \cdot 10^{-9}$  вт/см<sup>2</sup>, а чувствительность —  $2 \cdot 10^{-8}$  в/бар.

В исследованном интервале интенсивностей ( $3 \cdot 10^{-9}$  —  $3 \cdot 10^{-3}$ ) вт/см<sup>2</sup> преобразователь линеен.

Электронно-акустическим преобразователем (ЭАП) мы будем называть пьезоэлектрический преобразователь рельефа звукового давления в рельеф электрических зарядов или потенциалов со сканированием последнего электронным лучом.

Идея такого преобразователя была впервые дана в патенте С. Я. Соколова в 1936 г. [1]. Позднее в 1948 году им же были приведены некоторые экспериментальные результаты [2]. Как указывалось в обзоре одного из авторов [3], метод электронно-акустического преобразователя может быть успешно применен как для ультразвуковой дефектоскопии, так и для медицинской диагностики.

Существенным преимуществом его является возможность усиления сигнала в электрической цепи, что позволяет получить большую чувствительность. Очень малое время формирования изображения (время сканирования одного кадра) позволяет вести наблюдение процессов, меняющихся во времени. Изображение, получаемое на экране кинескопа, может наблюдаться визуально и быть зафиксировано при помощи фото или кинокамеры. Кинескоп может быть отнесен на любое расстояние от точки наблюдения и может быть снабжен любым количеством репитеров. Однако несмотря на эти существенные потенциальные преимущества, ЭАП не получили дальнейшего развития. Это обстоятельство, повидимому, следует объяснить трудностями реализации прибора с хорошей чувствительностью и достаточным полем зрения. Кроме того, существенным фактором, определяющим эксплуатационные качества прибора, является получение отпаянного (т. е. не требующего непрерывной откачки) электронно-акустического преобразователя.

Ниже приводится описание и основные характеристики электронно-акустического преобразователя, удовлетворяющего основным требованиям.

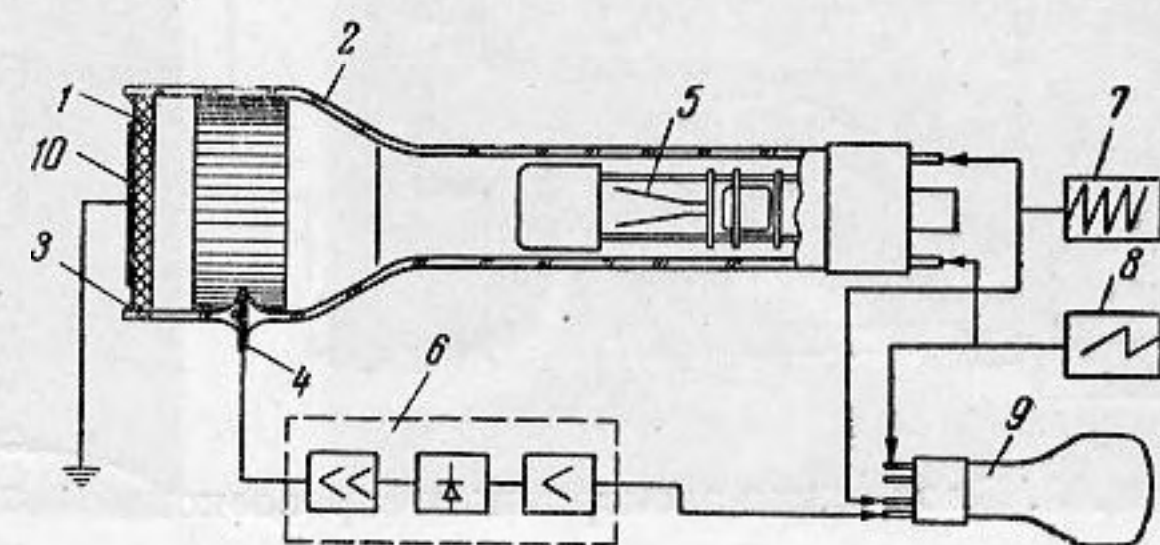
В качестве пьезоэлектрического преобразователя была взята керамика титаната бария. Выбор этот определялся легкостью получения пластин большего размера и меньшей опасностью разрушения их при больших изменениях температуры, несмотря на то, что пьезоконстанта «g», определяющая работу преобразователя в приемном режиме, у керамики титаната бария значительно меньше, чем, например, у кварца.

Одной из наиболее существенных трудностей явилось создание вакуумплотного соединения между керамикой и стеклянным корпусом ЭАП, учитывая различие коэффициентов линейного расширения стекла и керамики, с одной стороны, и необходимость прогрева до  $400^\circ$  С при откачке и тренировке ЭАП, с другой стороны. В процессе рашения этой задачи



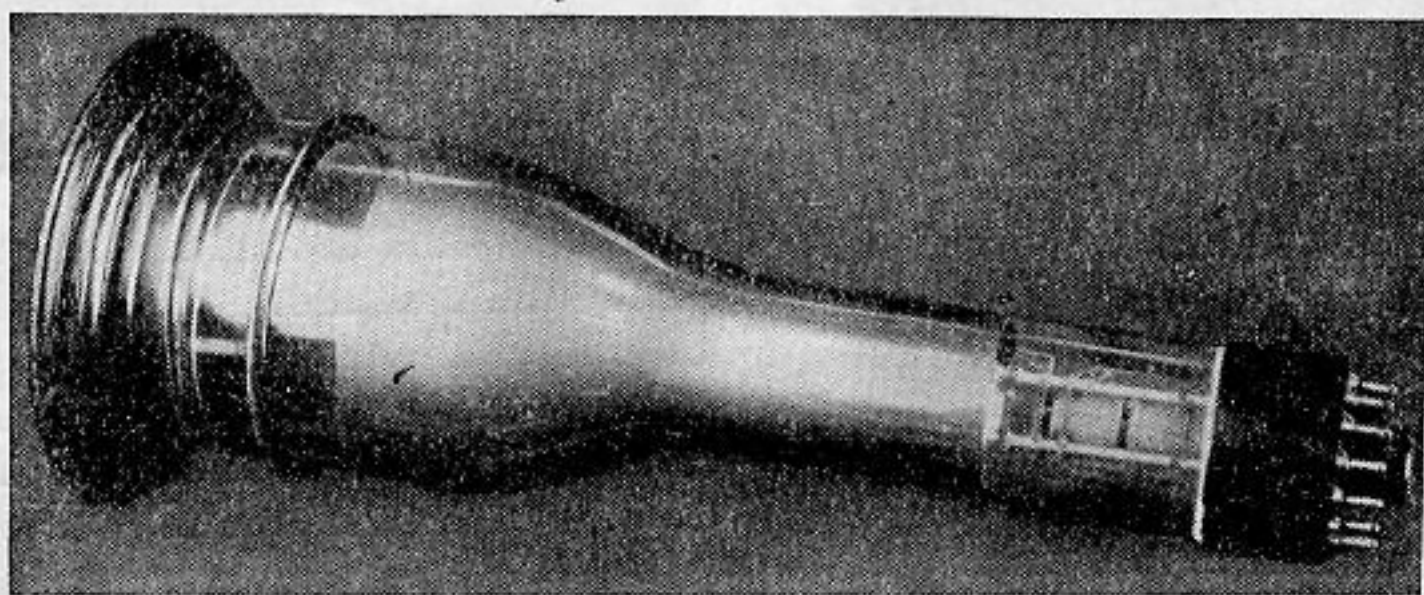
было испытано множество различных вариантов, из которых было выбрано удовлетворительное решение.

Схематический разрез и схема включения ЭАП приведены на фиг. 1. Керамическая пластинка (мишень) 1 диаметром 120 мм при помощи вакуумплотного соединения 3 скреплена со стеклянным корпусом 2 ЭАП. Наружная обкладка ее 10 заземлена. Электронный луч, создаваемый электронной пушкой 5 обычного типа, выбивает с внутренней стороны мишени вторичные электроны, собираемые коллектором, который через вывод 4 соединен со входом усилителя 6. Падающая на наружную поверхность мишени звуковая волна вызывает резонансные ее колебания по толщине,



Фиг. 1. Схема включения ЭАП

что, в свою очередь, приводит к образованию зарядов переменного знака на внутренней стороне мишени. Наличие этого потенциального рельефа, соответствующего подаваемому звуковому рельефу, изменяет условия вторично-электронной эмиссии, создавая тем самым амплитудную модуляцию тока коллектора, протекающего по входной цепи усилителя 6. После усиления по несущей частоте, демодуляции и усиления по низкой частоте, сигнал подается на модулятор кинескопа 9. Синхронное перемещение лучей кинескопа и ЭАП производится пилообразным напряжением, по-



Фиг. 2. Внешний вид ЭАП

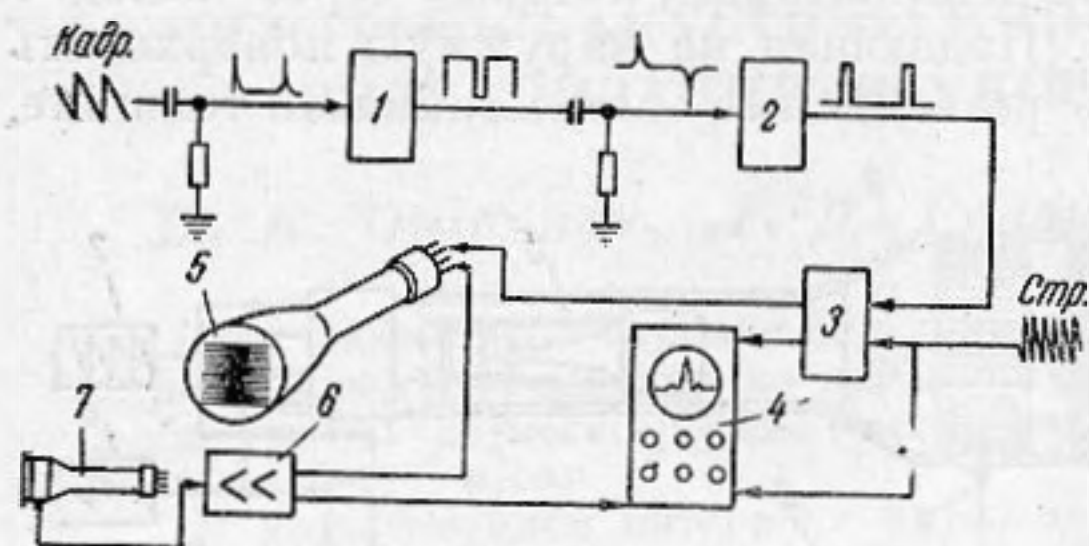
лучаемым от генераторов строчной развертки 7 и кадровой развертки 8. Внешний вид ЭАП дан на фиг. 2. Испытания проводились в области низких мегагерцевых частот. Квадратный кадр  $85 \times 85$  мм, соответствующий диаметру мишени 120 мм, сканировался с четкостью 60 строк. Импеданс выхода ЭАП в этом диапазоне колеблется в области  $3 \div 5 \cdot 10^3 \Omega$ , импеданс входа усилителя —  $20.000 \Omega$ . Уровень собственных (при отсутствии звука) шумов ЭАП в рабочей полосе частот составляет около 1 мкв, уровень шумов усилителя 6 имеет тот же порядок.

Чувствительность описываемого преобразователя оказалась в среднем равной 0,02 мкв/бар, изменяясь в отдельных экземплярах в пределах 0,005—0,05 мкв/бар. Так как суммарный уровень шума установки в целом составляет около 1,5 мкв, то сигнал в 2 мкв должен быть заметен на фоне шумов.

Измерения пороговых сигналов показали, что действительно система реагирует на пороговое звуковое давление 50—100 бар, что соответствует пороговой интенсивности  $3 \cdot 10^{-9}$  вт/см<sup>2</sup>.



Для сравнения укажем, что порог чувствительности других методов значительно выше. Так (см. [3], [4]) методы, использующие тепловое и химическое действие ультразвуков, требуют  $0,1-5,0$  вт/см<sup>2</sup>, метод поверхностного рельефа имеет порог  $3 \cdot 10^{-3}$  вт/см<sup>2</sup>. Данные для чувствительности теневого метода в прямом виде в литературе не фигурируют, но, если считать, что при его помощи можно обнаружить относительное изменение показателя преломления порядка  $10^{-6}$ , то это соответствует интенсивности  $3 \cdot 10^{-4}$  вт/см<sup>2</sup>.



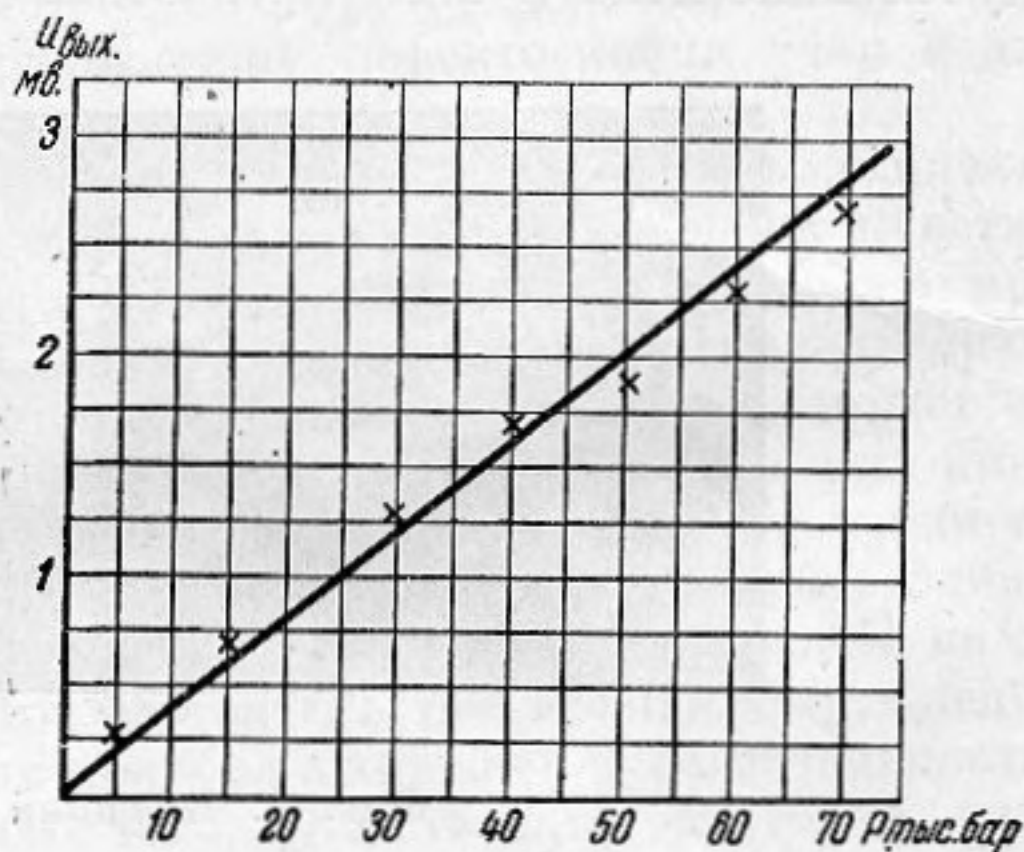
Фиг. 3. Блок-схема электронного стробоскопа

любой строки и измерять величину сигнала в произвольной точке раstra.

Принципиальная схема стробоскопа дана на фиг. 3. Импульс кадровой развертки после дифференцирования подается на фантастронную схему 1 плавно меняющейся задержки времени. Задний фронт задержанного импульса после дифференцирования приводит в действие кип-реле 2,

выдающее прямоугольный импульс длительностью, несколько большей времени одного прохода строчной развертки. Последний импульс вместе с импульсами строчной развертки подается на каскад совпадений 3, позволяющий совместить задержанный импульс с началом любой из строк. Импульс каскада совпадений подается в положительной полярности на модуляторы кинескопа и осциллографа. Горизонтальная развертка осциллографа производится строчной частотой, а сигналы изображения подаются ко входу вертикального отклонения. В момент подачи импульса подсветки на экране осциллографа возникает картина распределения потенциального рельефа вдоль одной из строк раstra.

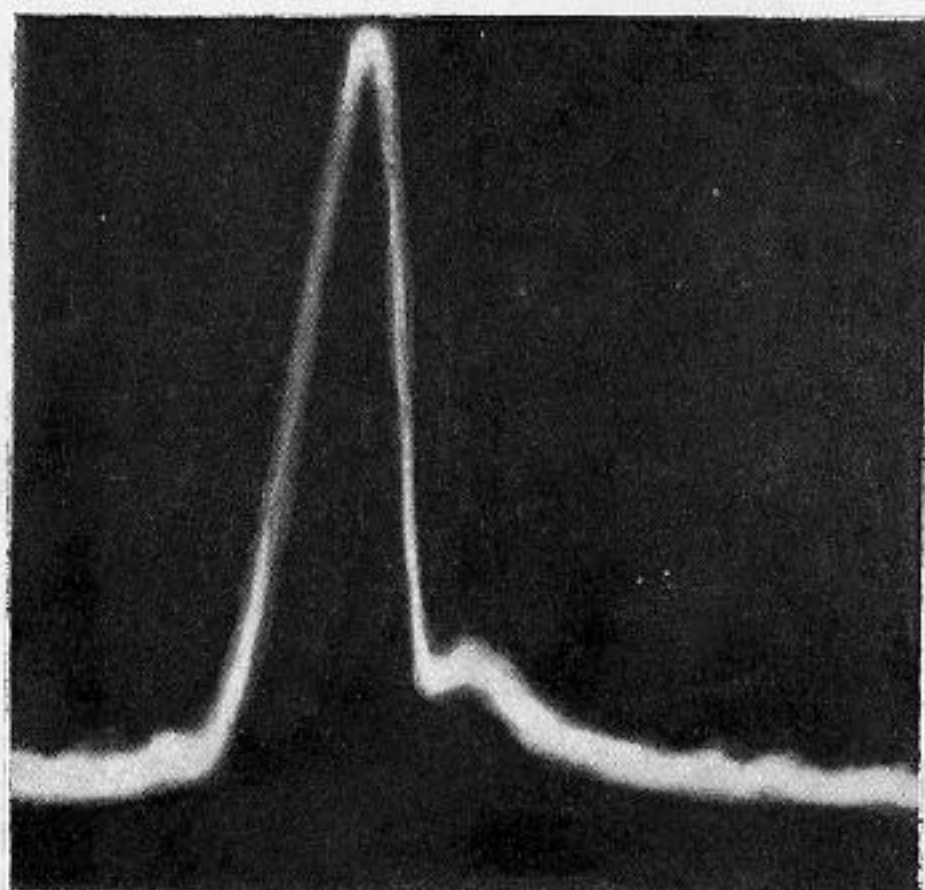
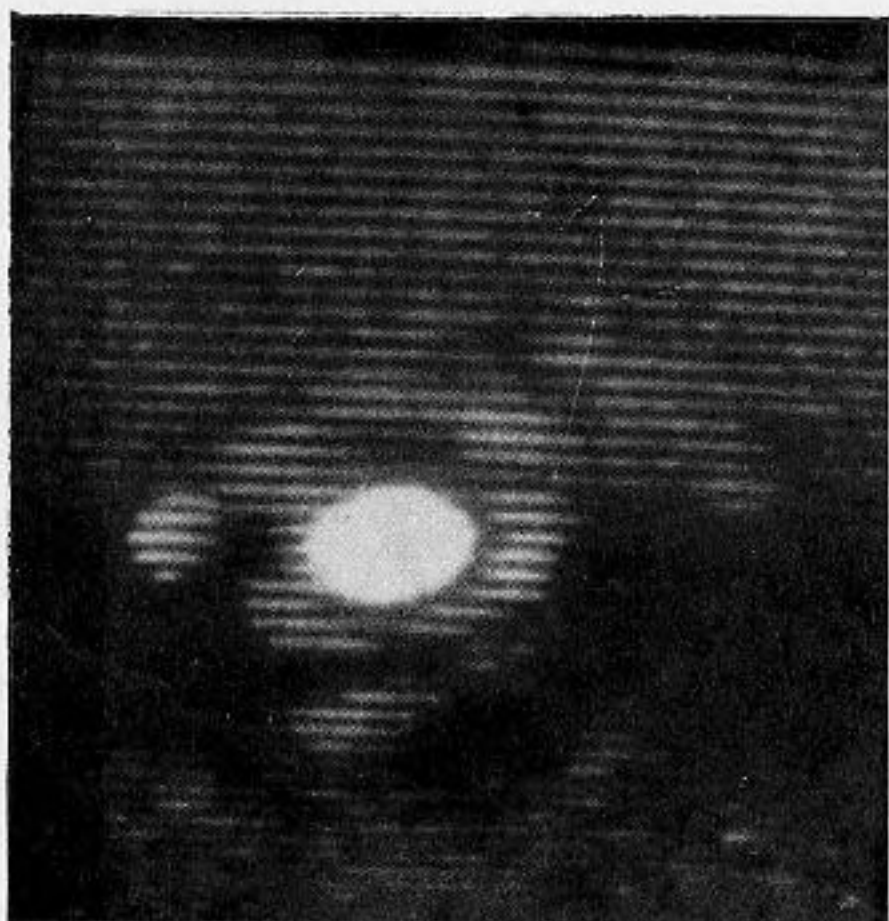
На фиг. 4 и 5 показаны изображения, полученные при помещении ЭАП в фокальную плоскость звуковой линзы, дающей изображения облучаемого звуком объекта. На фиг. 4 дан вид зеркального отражения от цилиндра, на фиг. 5, а — от сферы. Полученное при помощи стробоскопа распределение сигнала вдоль строки, проходящей через центр изображения, дано на фиг. 5, б. На фиг. 6 дано изображение (в проходящем звуке) двух отверстий в непрозрачном экране, сфокусированное звуковой линзой на входной поверхности ЭАП. На фиг. 7 приведена амплитудная характеристика всей системы, из которой видно, что линейность сохраняется во всем исследованном диапазоне до звуковых давлений 70 000 бар на входе.



Фиг. 7. Амплитудная характеристика системы

\* Автор разработки В. И. Фомин.





Фиг. 5. Зеркальное отражение от шара:  
а — изображение, б — распределение сигнала в центральной строке



Фиг. 4. Изображение зеркального отражения цилиндра



Фиг. 6. Изображение двух отверстий в непрозрачном экране

В разработке, изготовлении и испытаниях ЭАП принимали участие: В. И. Рыбалка, Т. И. Дидусь, Е. И. Бузникова, М. А. Дидусь, М. Г. Сиrotюк, В. И. Степанов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С. Я. Соколов. Авторское свидетельство № 49426 от 31.VIII 1936, американский патент № 2164185. 8. VII 1937, английский патент № 477139. 13. V. 1937.
2. С. Я. Соколов. Применение ультразвука в физике и технике. Заводская лаборатория 1948, 11, 1328—1335.
3. Л. Д. Розенберг. Обзор методов визуализации ультразвуковых полей. Акуст. журн. 1955, 1, 2, 99—109.
4. M. S. A r d e n n e. Über ein Schallsichtverfahren mit electronenoptischen Bildwandler. Nachrichtentechnik. 1955, 5, 2, 49—51.

Акустический институт и Институт металлургии  
им. А. А. Байкова  
АН СССР

Поступила в редакцию  
13 сентября 1955 г.