

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миндлин Я.А. Распространение волн по поверхности бесконечно длинного круглого цилиндра, представляющего собой вырез в бесконечно упругом пространстве // Докл. АН СССР. 1944. Т. XIII. № 4. С. 155–159.
2. Biot M.A. Propagation of Elastic Waves in Cylindrical Vase Containing a Fluid // J. App. ph. 1952. V. 23. № 9. P. 997–1005.
3. Викторов И.А. Волны типа рэлеевских на цилиндрических поверхностях // Акуст. журн. 1958. Т. 4. Вып. 2. С. 131–136.
4. Белубекян М.В., Овсепян В.В. Об условии существования поверхностной волны для упругого пространства с цилиндрической полостью // Докл. АН Армении. 1990. Т. 91. № 4. С. 169–172.
5. Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика слоистых сред. М.: Наука, 1989. С. 416.
6. Белубекян М.В., Геворкян А.В. О магнитоупругих волнах Лява // Матем. методы и физ.-мех. поля. 1983. № 18. С. 55–57.
7. Белубекян М.В. Об условии существования волны Стоунли при скользящем контакте // Изв. АН Арм. ССР. Механика. 1990. Т. 43. № 1. С. 52–56.

Институт механики  
Академии наук Армении

Поступило в редакцию  
18.11.91

После исправления  
18.05.92

УДК 534.222.2

© 1993 г. А.А. Карабутов, М.П. Матросов, Н.Б. Подымова

### ТЕРМООПТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИМПУЛЬСОВ СДВИГОВЫХ ВОЛН

Термооптические источники звука неоднократно предлагались в качестве генератора "стандартных" акустических импульсов [1–3], которые могут использоваться для калибровки широкополосных акустических приемников и гидрофонов [4, 5], настройки систем неразрушающего контроля и акустической эмиссии [6], в широкополосной акустической спектроскопии [7, 8]. Однако эти работы в основном касались лишь возбуждения продольных волн. В то же время поперечные акустические волны более чувствительны к изменению структуры среды, нежели продольные [9]. Поэтому задача создания "стандартного" генератора импульсов сдвиговых акустических волн представляется актуальной.

При термооптическом возбуждении звука тепловые источники непосредственно вызывают только продольную акустическую волну [10]. Поперечная акустическая волна появляется лишь при отражении продольной волны от нагреваемой границы. Поэтому если диаметр светового пятна велик по сравнению с длиной акустической волны, то эффективность возбуждения сдвиговой волны низка. Соответственно эффективное возбуждение квазиплоской сдвиговой волны непосредственно термооптическими источниками невозможно.

Эффективное возбуждение сдвиговой волны возможно при "точечном" тепловыделении [11]. Однако в этом случае ее направленность низка и амплитуда "предвестника" продольной волны сравнима с амплитудой сдвиговой волны. Использовать такие источники для диагностических и спектроскопических задач неудобно.

Для получения широкополосных импульсов сдвиговых акустических волн в настоящей работе предлагается использовать преобразование продольной акустической волны в сдвиговую при ее наклонном падении на границу твердого тела. Широкополосный импульс продольной волны легко получить при термооптическом возбуждении звука. Если угол падения превышает критический для преломления продольной волны, то в прошедшем акустическом поле будет преобладать сдвиговая компонента.

В нашей работе была реализована следующая схема генератора сдвиговых акустических сигналов (см. рис. 1). Импульс Nd: YAG-лазера с модуляцией добротности (длительность импульса – 12–15 нс, энергия – около 50 мДж) направлялся на оптико-акустический преобразователь (1), изготовленный из стекла СЭС-22 [7, 8]. Поскольку поверхность преобразователя была свободной, то возбуждался биполярный акустический импульс, охватывавший полосу частот 1–40 МГц. Этот сигнал через слой дистиллированной воды (2) направлялся под углом  $18^\circ$  на поверхность призмы (3) из дюралюминия. Критический угол полного внутреннего отражения продольной волны составлял примерно  $14^\circ$ , поперечной –  $29^\circ$ . Призма вырезалась таким образом, чтобы после преломления поперечная акустическая волна падала на выходную поверхность нормально.

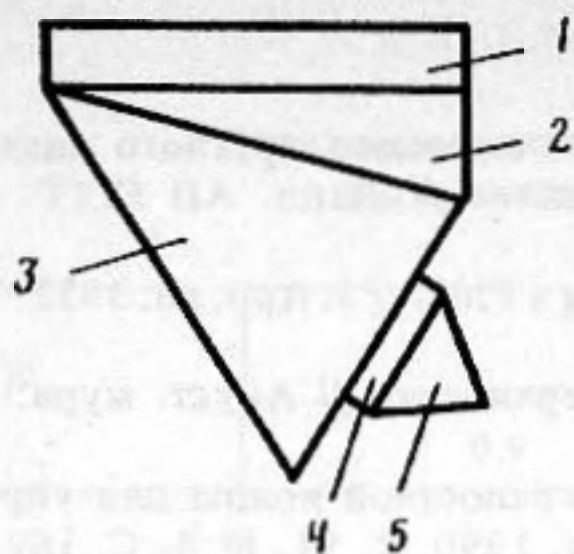


Рис. 1. Схема термооптического генератора сдвиговых волн

Рис. 2. Временная форма (а) и спектры (б) акустических импульсов сдвиговых волн для дюралевой призмы при салоловой (1) и эпоксидной (2) склейках; кривые 3 – то же для импульса продольной волны термооптического генератора

Рис. 1

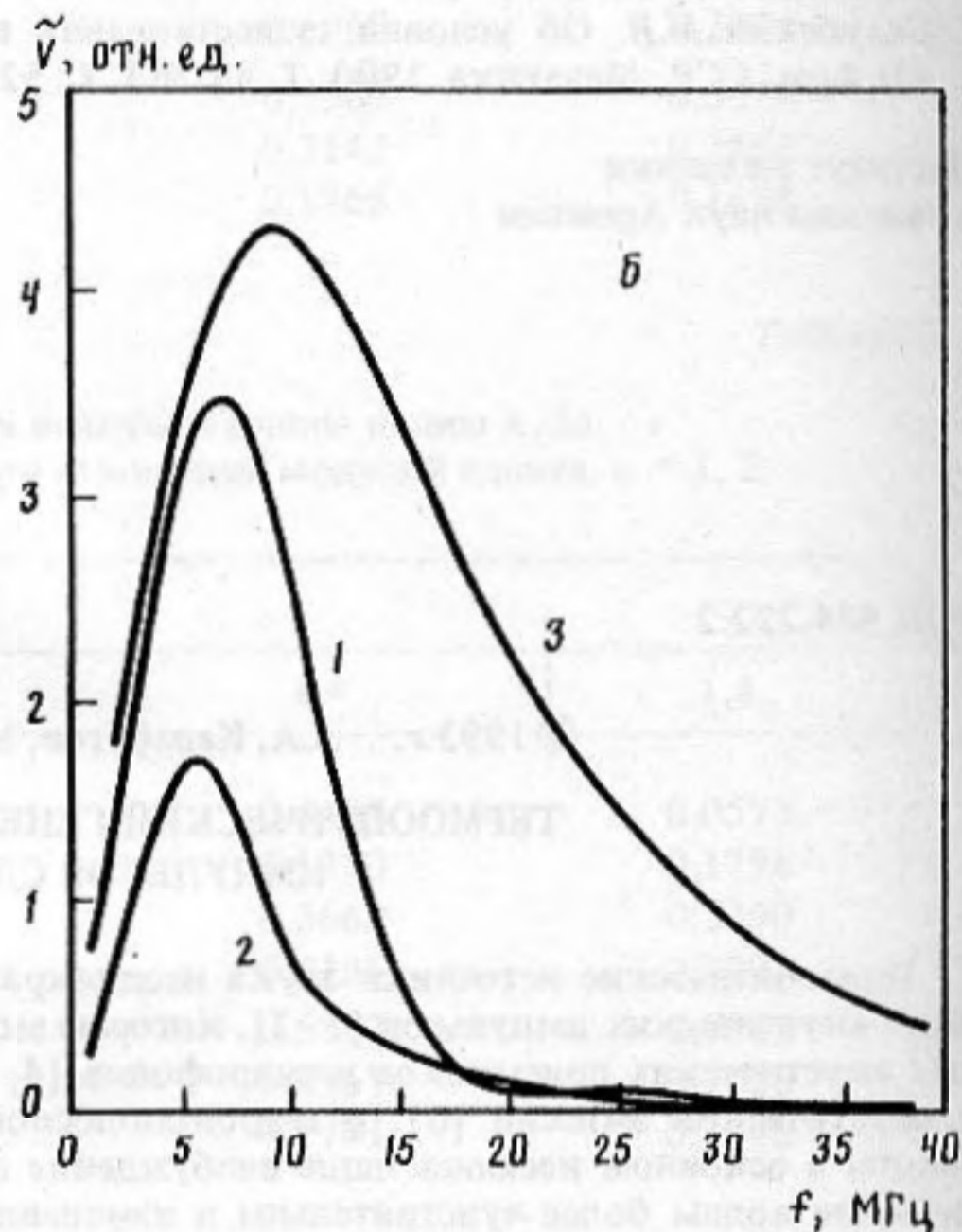
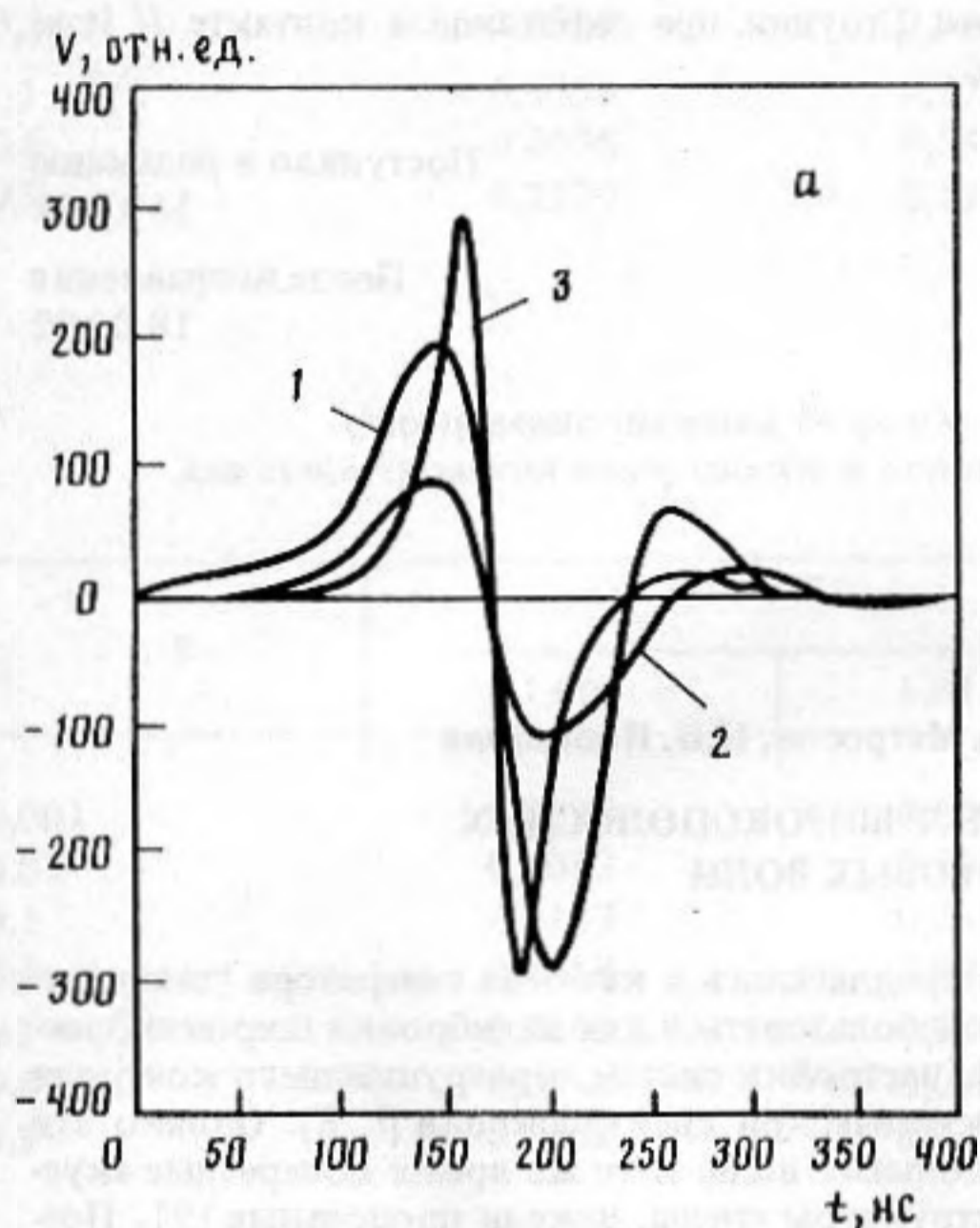


Рис. 2

Сдвиговая акустическая волна регистрировалась задемпфированным приемником (5) из ниобата лития с резонансной частотой 40 МГц. Склейка (4) приемника с выходной гранью призмы осуществлялась двумя способами: притиранием на эпоксидную смолу, либо слоем салолой толщиной 0,9 мм. Во втором случае, очевидно, склейку можно было считать "толстой", так как пространственная протяженность акустического импульса не превышала 0,6 мм. Для наблюдения продольной акустической волны использовался задемпфированный датчик на ниобате лития с резонансной частотой 100 МГц, закрепляемый "толстой" склейкой.

Регистрация сигнала проводилась в режиме холостого хода с помощью пробника (полоса частот до 350 МГц) и цифрового запоминающего осциллографа С9-6 (полоса частот канала вертикального отклонения луча – 100 МГц). Система синхронизации запускалась лазерным импульсом и позволяла осуществлять взаимную привязку импульсов со стабильностью не хуже 5 нс. Тип регистрируемой волны определялся как использованием специализированных приемников, так и временной селекцией сигнала.

Форма волны сдвигового импульса (см. рис. 2,а) была несимметричной и напоминала форму импульса продольной волны при переходе из ближней дифракционной зоны в дальнюю [10]. Спектры этих сигналов приведены на рис. 2,б (для сравнения дан спектр сигнала генератора продольной волны). Спектр сигнала, получаемого при "толстой" склейке, несколько шире, чем спектр сигнала при тонкой эпоксидной склейке. Это связано, видимо, с дополнительными потерями высокочастотных составляющих в слое склейки. Значительные потери для гармоник в диапазоне частот выше 17 МГц (сравнительно с их относительной величиной в спектре генератора СЗС-22) связаны скорее всего с их рассеянием при распространении в дюралевой призме.

Прикрепление датчика поперечных волн при различной – взаимно ортогональной – ориентации его кристаллографических осей и использование приемника на продольные волны показало линей-

ную поляризацию возбуждаемой сдвиговой волны. Уровень сигнала ортогонально поляризованной сдвиговой компоненты не превышал  $-30$  дБ, а продольной компоненты  $-60$  дБ от уровня основного сигнала. Динамический диапазон описанного устройства ограничивался электрическими шумами системы и составлял в нашем случае  $55-60$  дБ.

Большой динамический диапазон, широкая полоса частот (в нашем случае вплоть до  $15$  МГц) и линейная поляризация излучения термооптического генератора сдвиговых волн дает возможность эффективно использовать его в задачах дефектоскопии и широкополосной акустической спектроскопии на сдвиговых волнах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Felix M.P. Laser-generated ultrasonic beams // Rev. Sci. Instr. 1974. V. 45. № 9. P. 1106.
2. Карабутов А.А., Руденко О.В., Черепецкая Е.Б. К теории термооптической генерации нестационарных акустических полей // Акуст. журн. 1979. Т. 25. № 3, С. 383-394.
3. Hutchins D.A., Dewhurst R.J., Palmer S.B. Laser generation as a standard acoustic source in metals // Appl. Phys. Lett. 1981. V. 38. № 9. P. 677-679.
4. Карабутов А.А., Омельчук Н.Н., Руденко О.В., Чупрына В.А. Количественное исследование нелинейной трансформации звуковых импульсов в жидкости при термооптическом возбуждении // Вестн. МГУ. Сер. 3. 1985. Т. 26. № 3. С. 62-66.
5. Овчинников О.Б., Пашин А.Е., Пученков О.В., Расторгуев Д.Л. К вопросу о регистрации пространственно-временных характеристик коротких акустических импульсов, возбуждаемых оптическим излучением // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 2. С. 312-316.
6. Vary A. Ultrasonic measurement of material properties / Ed. Sharpe R.S. // Research techniques in nondestructive testing. 1980. V. 4. P. 160-204.
7. Карабутов А.А., Матросов М.П., Подымова Н.Б., Пыж В.А. Импульсная акустическая спектроскопия с лазерным источником звука // Акуст. журн. 1991. Т. 37. № 2. С. 311-323.
8. Карабутов А.А., Матросов М.П., Подымова Н.Б., Пыж В.А. Широкополосная ультразвуковая спектроскопия коллоидных сред на основе термооптического генератора звука // Вестн. МГУ. Сер. 3. 1990. Т. 31. № 4. С. 60-65.
9. Труэлл Р., Эльбаун Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. М.: Мир, 1972. 288 с.
10. Гусев В.Э., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. М.: Наука, 1991. 306 с.
11. Scruby C.V. Some applications of laser ultrasound // Ultrasonics 1989. V. 27. № 4. P. 195-209.

Московский государственный  
университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в редакцию  
17.06.92

УДК 534.6

© 1993 г. И.И. Крюков

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В ТВЕРДЫХ ПЕНАХ РАЗНОЙ ПЛОТНОСТИ

В [1-3] рассматриваются вопросы, связанные с распространением звука в газожидкостных пенах разной плотности (кратности), структура которых состоит из газовых ячеек, разделенных пленками жидкости [4]. Твердые пены представляют собой структуру, состоящую из газовых ячеек, разделенных пленками твердого полимера. Этот жесткий полимерный каркас, разделяющий газовые ячейки, является основой пенопластов [4, 5]. Параметры ячеистой структуры (размер ячеек, толщина их стенок) во многом зависят от состава исходной композиции и режима пенообразования и оказывают большое влияние на распространение акустических импульсов в объеме пенополимера.

Экспериментально исследовались пеноблоки (толщина  $5,6$  см, ширина  $25$  см и длина  $600$  см) из жестких пенополиуретанов марки ППУ-3Ф, получаемых методом заливки и предназначенных для изготовления теплоизоляционно-силового слоя трехслойных конструкций [6, 7]. Плотность пенополиуретанов (ППУ), называемая также относительной [5] или кажущейся [6], изменялась в диапазоне  $60-260$  кг/м<sup>3</sup>. Средний размер ячеек в зависимости от плотности меняется от  $2,5$  до  $0,1$  мм, а толщина стенок от  $5$  до  $120$  мкм [5].

Измерения скорости распространения ультразвука проводились в направлении вспенивания вдоль толщины пеноблока с помощью ультразвуковой механизированной установки, использующей 11 пар катящихся цилиндрических пьезопреобразователей (рабочая частота  $40-60$  кГц) с эластичными полиуретановыми протекторами толщиной  $4$  мм для создания надежного акустического контакта [6, 7]. Пьезопреобразователи располагались попарно по обе стороны пеноблока таким образом,