

УДК 620.179.14/15

ОСОБЕННОСТИ ОПТОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
В СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛАХА. Р. БАЕВ, А. Л. МАЙОРОВ, А. Ю. БУРНОС, Г. И. РАЗМЫСЛОВИЧ  
Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

Одно из направлений развития оптоакустических (ОА) методов контроля различных сред основано на использовании методик и реализующих их средств, где генерация упругих волн (УВ) в преобразователе производится слоем светопоглощающего материала (СМ) под воздействием импульсно-лазерного излучения (ИЛИ) [1, 2]. Для функционирования таких устройств проведено моделирование их оптоакустического (ОА) тракта, где в качестве СМ использованы образцы наномангнитной жидкости (НМЖ), совмещающей функцию СМ и звукопровода [3], а также изучены особенности прохождения зондирующего сигнала согласно схеме: источник ИЛИ → световод → НМЖ → пьезоприемник → блок обработки сигнала. Эти результаты использованы для совершенствования преобразователей, где для генерации УВ служат пленочные материалы с разной толщиной и коэффициентом поглощения света  $\alpha$ .

Согласно рабочей схеме, поток ИЛИ от торца световолоконного кабеля проникает в слой пленочного СМ, где в результате термического нагрева генерируется импульс УВ, передаваемый через звукопровод к приемнику УВ. Был проведен комплекс экспериментальных исследований влияния граничных условий в области контакта световода со слоем СМ, что достигается путем варьирования отношения сопротивлений удельного акустического световода  $R_C$  и светопоглощающего материала  $R_{CM}$  в диапазоне  $R^* = R_C(R_{CM})^{-1} = 0...14$ , где материал световода – воздух, кварцевое стекло, плексиглас, вода, глицерин и др. Также изучены особенности влияния высоты расположения источника ИЛИ и его геометрии на амплитудные параметры измерительной системы. Настоящие исследования качественно подтверждают полученные ранее данные моделирования подобных процессов на образцах НМЖ и предложенную в [4] модель. Сущность ее заключается в том, что генерируемое поле в СМ является суперпозицией полей двух источников –  $F_\Sigma = F_\Gamma + F_h$ , расположенных друг от друга на расстоянии  $h_{МЖ1} \rightarrow b\alpha^{-1} \ll h_{МЖ2}$ , сдвинутых по фазе на величину  $\Delta\varphi = \varphi_\Gamma + \varphi_h$ , где  $F_\Gamma$  и  $F_h$  соответствуют расположению источников УВ в окрестности контакта «световод – НМЖ<sub>1</sub>» и условной границы «НМЖ<sub>1</sub>– НМЖ<sub>2</sub>», а  $\varphi_\Gamma$  и  $\varphi_h$  – фазовые сдвиги указанных источников волн. Необходимо отметить, что в первом случае, когда реализуется свободная граница ( $R^* \rightarrow 0$ ), то  $\varphi_\Gamma \rightarrow -\pi$ , а если жесткая ( $R^* \gg 1$ ), то  $\varphi_\Gamma \rightarrow 0$ . Фазовая же задержка, вызванная прохождением акустического сигнала через слой МЖ<sub>1</sub>,  $\varphi_h \rightarrow 2\pi b\nu(C\alpha)^{-1}$ .

Отметим, что приведенные на рис. 1 осциллограммы акустических сигналов получены для условий, когда центральная частота пропускания приемника УВ  $\nu_{П} \gg \tau^{-1}$ , а  $h_{МЖ1}/C < \tau$ , где  $\tau$  – длительность лазерного импульса, равная 6 нс. Из

полученных данных следует, что если  $R^* \gg 1$ ,  $h/C = b(C\alpha)^{-1} \sim \tau \ll (f_{\text{Ц}})^{-1}$ , то, в случае контакта световода из кварцевого стекла с пленкой СМ, амплитуда акустического сигнала на порядок и более превышает амплитуду, фиксируемую при передаче потока ИЛИ в слой СМ через воздух, где  $f_{\text{Ц}}$  – центральная частота спектра акустического сигнала, определяемого в общем случае параметрами волновода или звукопроводной среды между источником УВ и их приемным преобразователем с характерной полосой пропускания  $\Delta f$ . Показано, что путем выбора акустических, теплофизических, оптических свойств СМ, а также световода представляется возможным обеспечить оптимальные условия работы указанного вида ОА преобразователей для контроля сцепления материалов в механизированных установках, определения поверхностных свойств материалов и др.

Что касается наноманитных жидкостей, то, как показано, их представляется возможным использовать для управления направленностью возбуждаемого лазерным излучением фронта УВ путем деформирования границы раздела «НМЖ – немагнитная жидкость» магнитным полем, включая фокусировку, качание, вращение угла акустического луча, вводимого в объект. Благодаря высокой стабильности свойств НМЖ, она может быть использована и для решения обратной задачи – определения интенсивности лазерного излучения в диапазоне длины световых волн  $\lambda_1 = 10^{-1} \dots 10$  мкм.

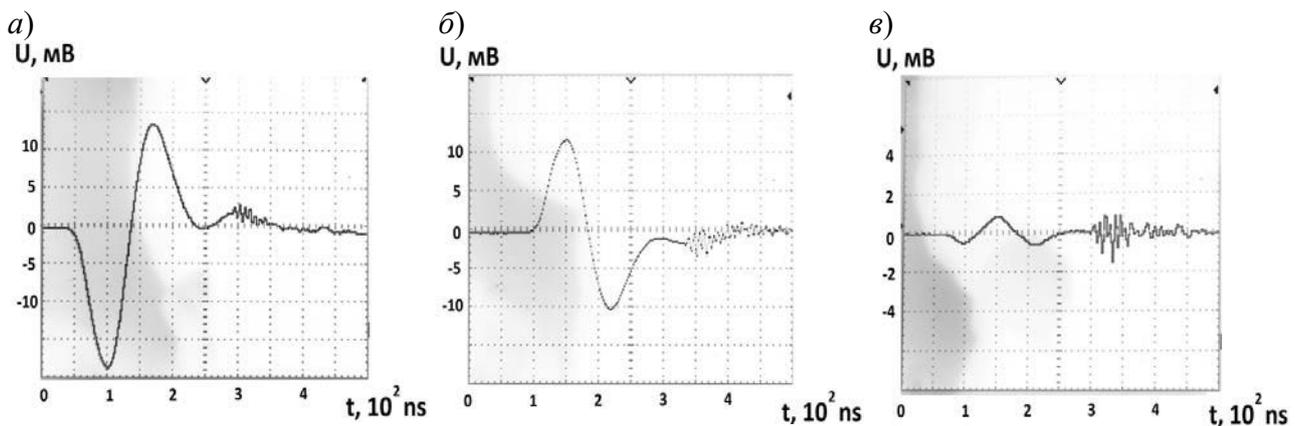


Рис. 1. Форма акустического сигнала, генерируемого слоем ССМ при контакте его наружной поверхности со световодом, материал которого: а – кварцевое стекло, приклеенное к СМ; б – вода (2); в – воздух

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чабанов, В. Е.** Лазерный ультразвуковой контроль материалов / В. Е. Чабанов. – Л.: ЛГУ, 1986. – 50 с.
2. **Гусев, В. Э.** Лазерная оптоакустика / В. Э. Гусев, А. А. Карабутов. – М.: Наука, 1991. – 304 с.
3. Особенности возбуждения упругих волн в магнитных жидкостях лазерным излучением / А. Р. Баев, П. П. Прохоренко, А. А. Карабутов, Н. Б. Подымова // Магнитная гидродинамика. – 1996. – № 3. – С. 23–30.
4. Магнитная жидкость как светопоглощающий слой для комбинированного контроля и диагностики материалов / А. Р. Баев, М. В. Асадчая, А. В. Бурнос [и др.] // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2025. – № 1. – С. 14–23.