

# Теоретическая модель процесса лазерного возбуждения акустических сигналов в жидкой среде с присутствием наноразмерных объектов

Д.В. Орда-Жигулина, И.Б. Старченко

Южный федеральный университет, факультет электроники и приборостроения

Целью настоящей работы является разработка теоретической модели оптической генерации акустического поля в жидкой среде в присутствии наноразмерных объектов, а именно углеродных наноматериалов.

Предлагается, что суммарное акустическое поле, формируемое в среде, будет складываться из двух составляющих: поля, формируемого оптическим импульсом в жидкой среде, и поля, формируемого самими углеродными наночастицами.

Для реализации данного предположения были рассмотрены теоретические модели оптоакустического эффекта в жидких средах и анизотропном твердом теле.

Аддитивность физических явлений, положенных в основу модели, обеспечивается сходством временных масштабов рассматриваемых процессов оптоакустического взаимодействия.

Выполним расчет акустического поля, формируемого углеродными наночастицами, с использованием выражения [1] для описания профиля колебательной скорости  $v$  в звуковой волне:

$$v(\tau) = \frac{YE_1E_2\omega}{16\pi\rho_0c_L^2} \left\{ \frac{\sin(\Delta kL/2)}{\Delta k/2} \sin\left(\omega\tau + L\frac{\Delta k}{2} - \varphi_0\right) + \frac{\sin[L(\Delta k/2 - k_a)]}{\Delta k/2 - k_a} \times \right. \\ \left. \times \sin\left[\omega\tau + L\left(\frac{\Delta k}{2} - k_a\right) - \varphi_0\right] \right\}.$$

Здесь  $Y$  – константа электрострикции,  $k$  – волновое число,  $L$  – граница лазерного пучка,  $\omega$  – круговая частота,  $\rho_0$  – плотность,  $c_L$  – скорость продольных волн.

Параметры для расчета взяты из литературных источников [2, 3]. На графиках рис. 1 представлены временные профили оптоакустических импульсов, причем по оси абсцисс отложено нормированное время на длительность оптического импульса.

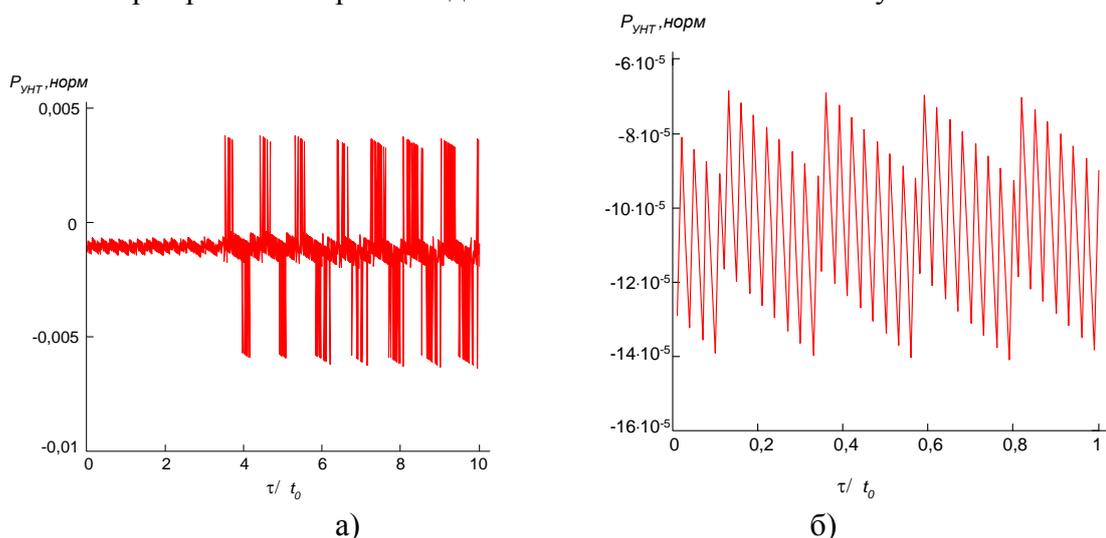


Рисунок 1 – Акустическое поле, формируемое углеродными наночастицами: а) для  $\tau = 10t_{умн}$ ; б) для  $\tau = t_{умн}$

Зависимость уровня звукового давления от времени (форма импульса), построенные с использованием выражения [4, 5]

$$p'(t) = \frac{\beta I_0 c_0 \sqrt{\pi}}{c_p} A e^{A^2/4} \left\{ e^{A\tau/t_0} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\tau}{t_0} + \frac{A}{2} \right) \right] - e^{-A\tau/t_0} \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\tau}{t_0} - \frac{A}{2} \right) \right] \right\}$$

изображены на рис. 2 для различных длительностей импульса и расстояний. Видно, что при ОА-преобразовании возбуждаются двуполярные акустические импульсы: за фазой сжатия следует фаза разрежения. Такая форма сигналов обусловлена свободным характером поверхности воды. Если на поверхность положить прозрачную пластину (например, из плотного стекла), акустический импеданс  $\rho c$  которой много больше, чем у воды, то сформируются однополярные импульсы сжатия.

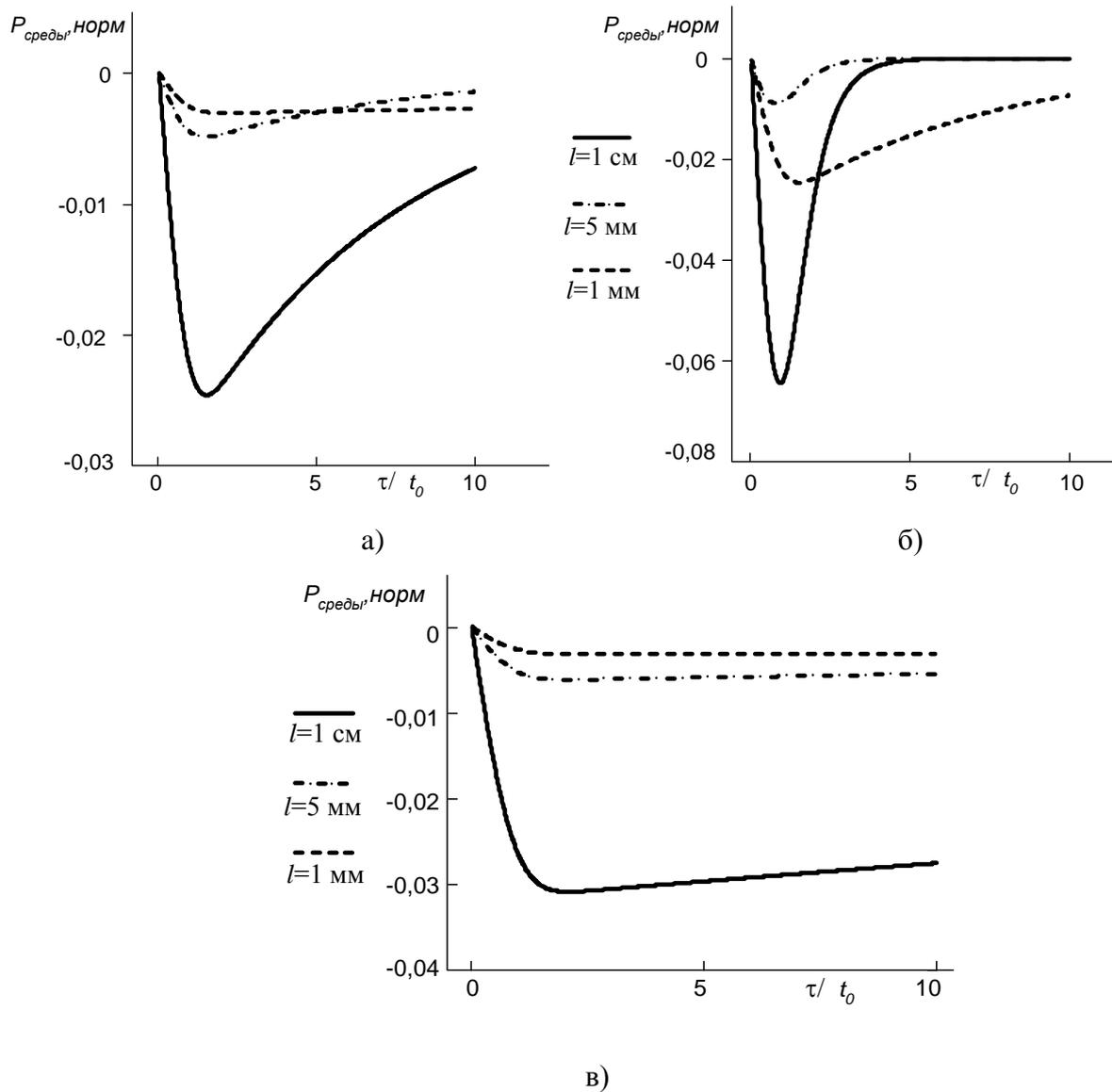


Рисунок 2 – Эволюция профиля оптоакустического импульса в нелинейной диссипативной среде: а)  $\tau = 0,1 \mu\text{с}$ ; б)  $\tau = 1 \mu\text{с}$ ; в)  $\tau = 10 \mu\text{с}$

Далее, на рис. 3 представлен расчет по теоретической модели оптоакустического эффекта в жидкой среде с наночастицами, описанной выше.

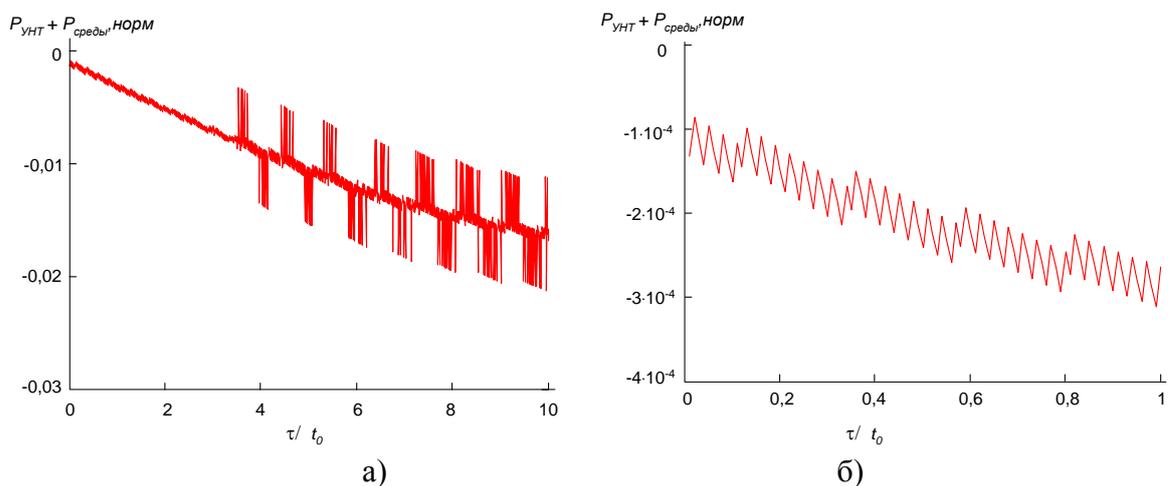


Рисунок 3 – Суммарное акустическое поле, формируемое УНТ и средой: а) для  $\tau = 10 \cdot t_{имп}$ ; б) для  $\tau = t_{имп}$ .

Видно, что присутствие наноразмерных частиц в среде дает некоторую добавку к уровню акустического давления. К сожалению, оценить точно ее величину не представляется возможным из-за разброса в электрофизических параметрах нанотроек в несколько порядков.

#### Литература

1. Гусев, В.Э. Лазерная оптоакустика [Текст] / В.Э. Гусев, А.А. Карабутов // М.: Наука, 1991. – 304 с.
2. Гуляев, Ю.В. Углеродные нанотрубные структуры – новый материал для эмиссионной электроники [Текст] / Ю.В. Гуляев // Вестник Российской Академии Наук, 2003. – Т.73, – № 5, – С. 389.
3. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы [Текст] / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля // М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
4. Новиков, Б.К. Нелинейная гидроакустика [Текст] / Б.К. Новиков, О.В. Руденко, В.И. Тимошенко // Судостроение, 1981. – 264 с.
5. Джуплина, Г.Ю. Теоретическая модель оптоакустического эффекта в среде с наноразмерными рассеивателями [Текст] / Г.Ю. Джуплина, И.Б. Старченко // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. – № 10. – С.189-192.

