

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ И ОКЕАНЕ

УДК 530.182+551.51

**Н.Н. Бочкарев, А.М. Кабанов, В.А. Погодаев**

### **ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА, ГЕНЕРИРУЕМОГО МАЛЫМ ОБЪЕМОМ ЖИДКОСТИ В МОЩНОМ СВЕТОВОМ ПОЛЕ**

Представлены результаты физического эксперимента в задаче формирования акустического экосигнала при взаимодействии интенсивного лазерного излучения с водным аэрозолем. Показано, что для коротких импульсов лазерного излучения и малых объемов взаимодействия длительность акустического сигнала определяется поглощенной энергией.

При исследовании возбуждения акустических волн лазерным излучением рассматриваются два предельных случая формирования акустического импульса:  $t_{\text{л}} c/L > 1$  ( $t_{\text{л}}$  – длительность возбуждающего лазерного импульса,  $L$  – размер зоны взаимодействия,  $c$  – скорость звука в облучаемой среде), тогда акустический импульс повторяет форму возбуждающего лазерного импульса; при  $t_{\text{л}} c/L < 1$  длительность акустического импульса  $t_{\text{ан}}$  определяется временем пробега звука через объем взаимодействия [1, 2].

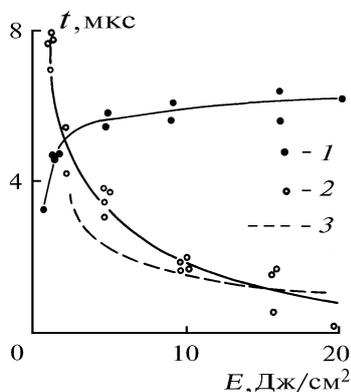
Данных приближений достаточно в том случае, когда воздействие лазерного излучения не приводит к вынужденным фазовым переходам в облучаемом веществе. Если в результате взаимодействия излучения с веществом реализуется его испарение или взрыв, возможны ситуации, когда длительность процессов  $t_{\text{п}}$  больше времени пробега звука через зону взаимодействия и длительности возбуждающего лазерного импульса ( $t_{\text{п}} > L/c$  и  $t_{\text{л}}$ ). В этом случае длительность и форма возбуждаемого акустического импульса будут определяться длительностью процессов, инициируемых излучением. Можно выделить следующие процессы, приводящие к изменению плотности среды при взрыве: взрывное испарение – фазовый переход жидкости в пар при взрыве; испарение горячих осколков, образовавшихся в результате взрывного разрушения перегретой жидкости; нагрев окружающего воздуха за счет теплообмена с паром и разогретой жидкостью.

В предыдущих работах [3, 4] исследовался акустический сигнал, генерируемый областью взаимодействия мощного светового поля с аэрозолем, представлявший собой акустический отклик на все перечисленные процессы. При этом выполнялось условие  $t_{\text{л}} c/L < 1$ . Длительность акустического импульса определялась геометрией эксперимента, соответствовала времени пробега звука через поперечник объема взаимодействия и не зависела от плотности энергии воздействующего излучения.

В настоящем эксперименте зона взаимодействия лазерного излучения с жидкостью представляла собой тонкий диск с размерами: менее  $10^{-3}$  м в сечении, перпендикулярном направлению приема акустического сигнала и  $10^{-5}$  м в продольном. В качестве приемника акустического сигнала использовался пьезокерамический датчик типа ЦТС-19 с полосой пропускания 2,5 МГц. Импульс воздействующего излучения длительностью  $t_{\text{л}} = 3$  мкс генерировался  $\text{CO}_2$ -лазером. Таким образом, выполняется условие  $t_{\text{л}} c/L > 1$ , при котором длительность акустического импульса определяется длительностью воздействия излучения. Однако, как было показано в [5,6], процессы изменения фазового состояния и теплообмена не всегда укладываются во времена воздействия. Условия взрывного вскипания могут достигаться в течение всего воздействующего импульса, в том числе и в конце. Сам процесс взрыва, т. е. выход на поверхность и разлет пароконденсата, продолжается в течение времени, иногда значительно превышающего длительность инициирующего лазерного импульса. Испарение горячих осколков продолжается без воздействия излучения за счет теплозапаса частиц.

На рисунке представлена зависимость длительности положительной фазы акустического импульса  $t_{\text{ан}}$  от плотности энергии воздействующего излучения  $E$  (кривая 1). Характерный излом в полученной зависимости соответствует порогу взрывного вскипания.

Задержка начала формирования акустической волны относительно начала воздействия лазерного импульса представлена кривой 2. Времена задержки процесса разрушения перегретой жидкости, определенные из акустических измерений, хорошо согласуются с данными, полученными ранее оптическим методом (кривая 3) [5].



Таким образом, в статье показано, что при воздействии лазерным импульсом с длительностью 3 мкс на слой жидкости толщиной  $L < c t_{\text{п}}$  временные характеристики акустического отклика зависят от плотности энергии воздействующего излучения и определяются характерными временами процессов фазовых переходов жидкости в световом поле.

Подробная оценка аддитивного вклада перечисленных выше процессов в формирование акустического сигнала требует дополнительных исследований. Такие исследования при условии малости объема взаимодействия, когда форма акустического импульса определяется формой возбуждающей волны и динамикой процесса, позволят установить связь между параметрами возбуждения и динамикой взрыва и испарения.

1. Виноградов М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: Наука, 1990. 430 с.
2. Жаров В.П., Летохов В.С. Лазерная оптико-акустическая спектроскопия. М.: Наука, 1984. 319 с.
3. Бочкарев Н.Н., Землянов А.А., Красненко Н.П. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. N 1. С. 25–29.
4. Бочкарев Н.Н., Гейнц Ю.Э., Землянов А.А. и др. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. N 10. С. 111–112.
5. Землянов А.А., Кабанов А.М. // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. N 7. С. 691–695.
6. Pinnick R.G., Biswas A., Armstrong R.L. // Appl. Opt. 1990. V. 29. N. 7. P. 918–925.

Институт оптики  
атмосферы СО РАН, Томск

Поступила в редакцию  
30 декабря 1993 г.

**N. N. Bockharev, A. M. Kabanov, V. A. Pogodaev. Time Characteristics of Acoustic Signal Generated in a Small Volume of a Liquid under the Action of a High-Power Light Field.**

In this paper we present some results of a physical experiment on generation of an acoustic echo from water droplet aerosol irradiated with a high-power laser radiation. It is shown in the paper that in the case of a short laser pulse and small volume of interaction the duration of an acoustic signal is determined by the energy absorbed.