

от общего количества подведенного тепла, так и от его распределения в потоке. Искривление ударной волны оказывается тем значительнее и начинается тем раньше, чем большая часть тепла подводится вблизи тела. При этом максимальная величина наклона ударной волны, естественно, возрастает при увеличении общего количества выделенного тепла.

*Поступила в редакцию  
9/1 1974*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Г. Черный, С. М. Гилинский и др. Течение газа с экзотермическими реакциями за ударными волнами. Отчет НИИ механики МГУ, № 1000, 1969.
2. П. И. Чушкин. ЖВМФ. 1969. 9, 6.
3. П. И. Чушкин. ФГВ, 1969, 5, 2.
4. А. С. Гиневский. Теория турбулентных струй и следов. М., «Машиностроение», 1969.
5. Supersonic Flow, Chemical Processes and Radiative Transfer. Edited by D. B. Offe and V. Zakkay. Pergamon Press, 1964.
6. О. Н. Кацкова, А. Н. Крайко. Расчет плоских и осесимметричных сверхзвуковых течений при наличии необратимых процессов. М., Изд. ВЦ АН СССР, 1964.

УДК 534.222.2

### ГОЛОГРАФИРОВАНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН В КРУГЛЫХ ТРУБАХ

*В. Е. Гордеев, Ю. С. Матвеев, М. Е. Рыскин  
(Москва)*

Изображение фронтов ударных волн, которые распространяются в прозрачных средах, может быть получено лазерным голографированием [1]. Освещение объекта производится при этом одним достаточно коротким световым импульсом. Если изучаемый процесс отделен от наблюдателя прозрачными стенками, то последние делаются плоскопараллельными, чтобы не было оптических искажений.

В ряде случаев возникает необходимость получить неискаженное изображение фронтов ударных волн через оптически несовершенные стенки. При двукратном импульсном освещении получается голографическая интерферограмма, по которой можно судить о форме и о положении фронтов. Но картина процесса на голограмме обладает иногда большей наглядностью, а поскольку для ее получения достаточно лишь одного лазерного импульса, это значительно упрощает методику.

Тонкостенная круглая стеклянная трубка, по которой распространяется ударная волна, не вносит слишком больших оптических искажений в картину процесса, так что, например, качественные исследования отражения и дифракции волн в такой трубке вполне возможны, и для этой цели голограммы могут сказаться очень полезными. Насколько известно авторам, голографирование ударных волн в круглых трубках либо вообще не предпринималось, либо его не удалось успешно осуществить.

В предлагаемой работе описывается лазерная голографическая установка, позволяющая при однократной импульсной экспозиции полу-

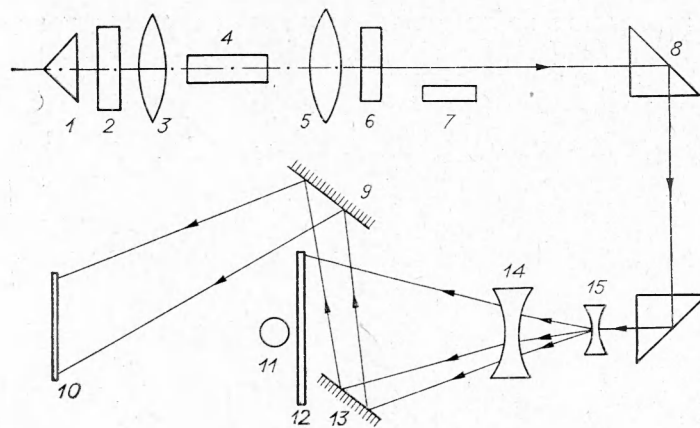


Рис. 1.

чать голограммы ударных волн, распространяющихся по газу в круглых стеклянных трубках.

Оптическая схема установки приведена на рис. 1. Сложный резонатор [2] состоит из двух зеркал, одно из которых 1 представляет собой призму полного внутреннего отражения, а другое 6 — плоскопараллельную пластинку из стекла и двух линз (3, 5) с фокусным расстоянием 0,5 м. Рубиновый стержень 4 длиной 75 мм и диаметром 7,5 мм с сапфировыми наконечниками взят из серийного лазера ОГМ-20 вместе с импульсной лампой накачки ИФП-800 и кварцевым отражателем. Пассивная модуляция добротности осуществляется ячейкой 2 с раствором фталоцианина ванадия в нитробензоле.

Световой пучок расширяется линзами 14, 15 и направляется на рассеивающий экран из матового стекла 12. Опорный пучок формируется при помощи зеркал 9, 13. В непосредственной близости к экрану помещается круглая стеклянная трубка 11, наполненная воздухом при атмосферном давлении. В ней распространялись ударные волны, созданные электрическим разрядом. Толщина стенок ударной трубки составляла 1,5 мм, а диаметр 16 мм.

Голограммы 10 записывались на высокоразрешающие (1000 линий/мм) фотопластинки ВРЛ-690 размером  $9 \times 12$  см<sup>2</sup>, которые для повышения чувствительности и дифракционной эффективности голограмм предварительно обрабатывались полупроцентным водным раствором триэтанолamina [3]. Расстояние от ударной трубки до голограммы составляло 30 см. Момент появления гигантского импульса регистрировался с помощью фотоэлемента 7 и осциллографа. Продолжительность гигантского импульса составляет около 50 нс, а время его появления изменяется от опыта к опыту в пределах 100 мкс.

Выбор оптической схемы со сложным резонатором был продиктован необходимостью получить в гигантском импульсе как можно большую энергию излучения, достаточную для хорошего освещения участка экрана длиной 30—40 см. Только при этом условии ударная волна всегда оказывалась в поле освещения, несмотря на значительный разброс моментов появления гигантского импульса. Спектральный состав излучения не регистрировался, но по голограммам видно, что лазер излучал много поперечных мод.

На рис. 2 представлена фотография, снятая с голограммы, полученной в одном из проведенных опытов по регистрации воздушных ударных волн. Голограмма освещалась гелий-неоновым лазером ЛГ-56. Съемка проводилась при помощи фотоаппарата «Зенит-С». Ударная волна распространялась по трубке слева направо со скоростью 800 м/с. Внутри трубки виден черный эллипс с выступами — силуэт дискообраз-



Рис. 2.

ного пьезоэлемента, укрепленного на толстой проволоке, расположенной вдоль оси трубки. Эллипс большого размера — изображение ударной волны, миновавшей пьезоэлемент и претерпевшей на нем отражение и дифракцию. Отраженная волна с изогнутым фронтом видна перед пьезоэлементом. При рассмотрении изображения на самой голограмме хорошо видна рупорообразная вогнутая форма фронта прошедшей волны. На фотографии это заметно меньше, но что при встрече с диском фронт волны «продавлен», это видно и на ней. В центральной области поверхности фронта прошедшей волны заметны столкнувшиеся между собой изгибы волновой поверхности, возникшие при обтекании диска.

Ударная волна представляет собой сильную оптическую неоднородность. Изменение показателя преломления на поверхности ее фронта тем значительнее, чем выше скорость волны. Поэтому сильные ударные волны, распространяющиеся с большой скоростью, должны быть видны на голограмме лучше, чем слабые. Но чтобы получить достаточно четкую голограмму очень быстрой волны, не сокращая продолжительности экспозиции, приходится увеличивать расстояние между голограммой и трубкой [4]. В этом случае изображение получается несколько менее «объемным».

Авторы глубоко признательны проф. Я. К. Трошину за внимание, а сотрудникам Сектора голографии НИКФИ В. В. Баринову, Л. А. Девяткову, В. И. Мандросову и Е. П. Сухману за помощь при проведении этой работы.

*Поступила в редакцию  
1/IV 1974*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. Оптическая голография. М., «Мир», 1973.
2. Т. М. Нестеренко, А. П. Ханолук. Ж. прикл. спектроскопии, 1973, 18, 5.
3. Ю. Н. Денисюк, И. Р. Протас. Оптика и спектроскопия. 1963, 14, 5.
4. K. W. Pasitt, M. C. Jackson a. o. J. of Phys. E. (Scientific Instruments), 1970, 3, 12.