

6. Монин А. С., Яглом А. Я. Статистическая гидродинамика. М., 1969.
7. Минский Е. М. Труды ЦАГИ, 1947, № 625.
8. Никитин И. К. Гидротехника и гидромеханика. Киев, 1964.
9. Старр В. Физика явлений с отрицательной вязкостью. М., 1971.
10. Бредшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение. М., 1974.
11. Букина Л. А., Шелковников Н. К. «Вестн. Моск. ун-та. Физ., астроном.», 1975, 16, № 6.

Кафедра
физики моря и вод суши

Поступила в редакцию
14.02.78

УДК 533.6.011.72

В. Т. МАРКИН, Н. Н. СЫСОЕВ, Ф. В. ШУГАЕВ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И СТРУКТУРА ПОТОКА ЗА НЕСТАЦИОНАРНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ ВЗРЫВЕ СФЕРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ВОЗДУХЕ

При взрыве сферического конденсированного заряда в газе возникает сложное неустановившееся течение, в котором наряду с основной ударной волной (УВ) существуют другие поверхности разрыва. Сходные явления происходят при образовании лазерной искры в газе, взрыве проволоочки и т. д. Отсутствие аналитических решений задачи приводит к необходимости использовать численные методы [1—4]. Экспериментально этот вопрос исследован недостаточно полно. В большинстве экспериментальных работ, относящихся к данной области, внимание уделяется распространению основной УВ и распределению давления за ней [5—6]. В [4] измерено распределение плотности за фронтом УВ.

В настоящей работе измерено распределение скорости потока газа за нестационарной УВ, образовавшейся при взрыве сферического заряда. Экспериментально показано существование вторичных ударных волн.

Опыты проводились во взрывной камере. Использовались конденсированные заряды сферической формы радиусом (R_0) до 20 мм с плотностью $\rho_3 = 1,63$ г/см³ и скоростью детонации $D = 8200$ м/с. Были сняты отдельные кадры картины течения и временные развертки. Кадры были получены с помощью интерферометра Маха — Цендера. Источником света служил импульсный рубиновый ОКГ, работавший в режиме модулированной добротности. Для уменьшения влияния самосвечения продуктов детонации (ПД) на регистрацию процесса применялся оптический фильтр с полосой пропускания в красной области. Модуляция добротности ОКГ осуществлялась при помощи электрооптического затвора на основе кристалла КДР с напряжением полного раскрытия 12 кВ. Съемка проводилась прибором СФР-2М. Применяемая методика позволяла получать за один эксперимент серию кадров с регулируемым интервалом 5—15 мкс при экспозиции примерно 50 нс.

При получении временных разверток визуализация осуществлялась с помощью сетки, помещенной между источником света и исследуемой неоднородностью. Положение ударных разрывов определялось по излому линий сетки вблизи фронта волны. Регистрация велась в проходящем свете. Обработка разверток проводилась на микроскопе УИМ-2.

Данные измерений аппроксимировались методом наименьших квадратов.

На рис. 1 представлены интерферограммы поля течения газа при обтекании сферы, находящейся на расстоянии $20 R_0$ от центра заряда. На фотографиях видна падающая УВ и УВ, отраженная от твердой сферы. Отраженная волна движется по возмущенному газу за падающей УВ и по ПД. Хорошо заметно, что ПД имеют хаотическую микроструктуру, а фронт ПД (граница между воздухом и ПД) имеет негладкую форму.

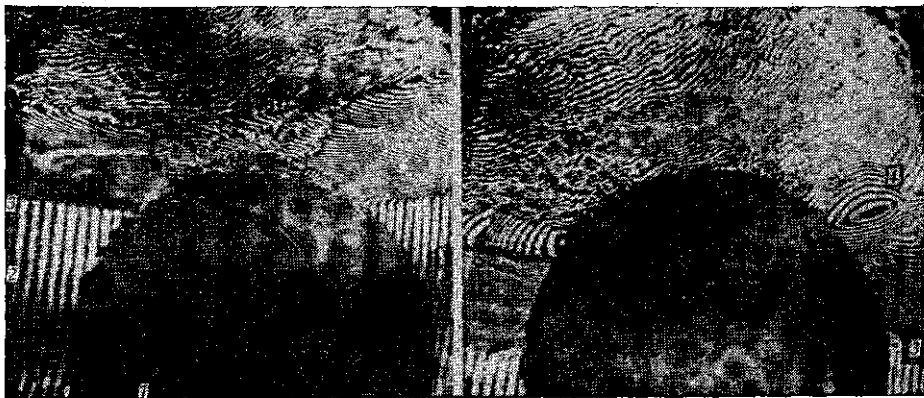


Рис. 1. Интерферограммы поля течения газа при обтекании сферы: 1 — сфера, 2 — невозмущенный газ, 3 — фронт ударной волны, 4 — отраженная ударная волна, 5 — продукты детонации

На временной развертке (рис. 2, а) УВ еще не успела отойти на заметное расстояние от ПД. В области ПД видны наклонные линии. Наличие этих линий указывает на существование сильных неоднородностей температуры и плотности в потоке газа. Скорость движения этих неоднородностей совпадает со скоростью фронта ПД.

На рис. 2, б показана развертка течения газа на более поздней стадии. Анализ снимка показывает, что основную УВ, отошедшую от ПД, догоняет вторичная ударная волна, движущаяся в ту же сторону, что и основная УВ. Ранее вторичные ударные волны наблюдались при разрушении стеклянных сфер под давлением [7]. Теоретически их существование было предсказано в [1]. При слиянии основной и вторичной УВ образуется контактная поверхность (КП). По развертке измерилась скорость ее движения. Непосредственно за УВ ее значение совпадает (с точностью до нескольких процентов) со скоростью потока, вычисленной по законам сохранения на УВ. Выше по потоку на развертке видно еще несколько контактных поверхностей.

На рис. 3 по оси ординат отложена скорость потока газа для четырех положений УВ, по оси абсцисс — относительное расстояние \bar{R} . Точками показаны измеренные значения скорости, сплошными линиями — результаты численного расчета, проведенного по схеме, описанной в работе [4]. Можно отметить хорошее согласие между расчетом и экспериментом.

Таким образом, получено распределение скорости потока газа за нестационарной сферической УВ, экспериментально обнаружено су-

ществование вторичных УВ, показано, что в области, близкой к центру взрыва, и особенно в зоне ПД, поток газа за УВ и сам фронт ПД имеют довольно высокую степень неоднородности, поток газа обладает хаотической микроструктурой.



Рис. 2. Временные развертки течения газа:

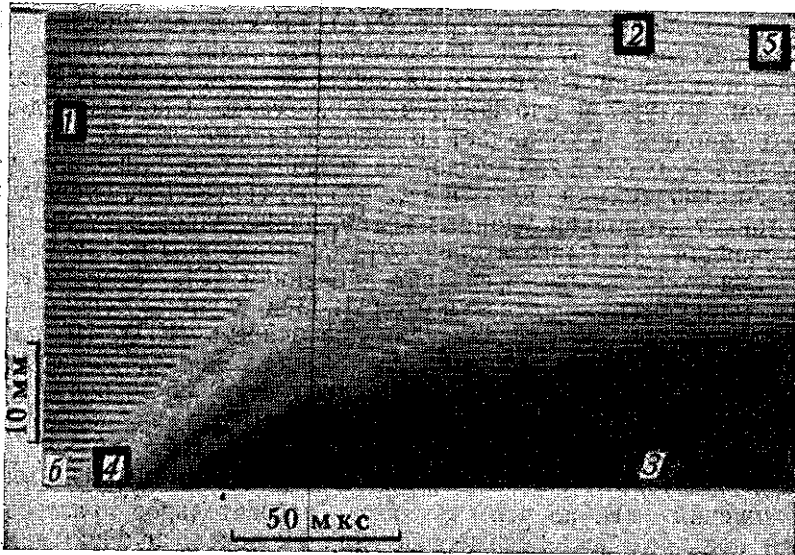


Рис. 2. Временные развертки течения газа: 1 — невозмущенный газ, 2 — фронт ударной волны, 3 — продукты детонации, 4 — вторичная ударная волна, 5 — контактная поверхность

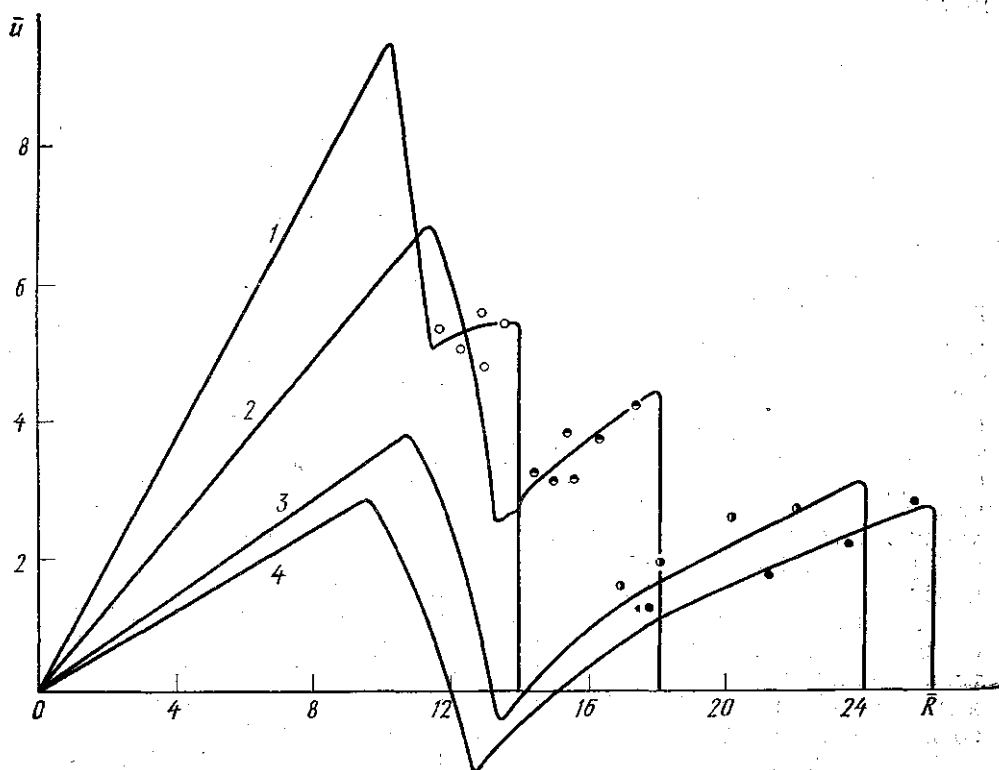


Рис. 3. Распределение скорости потока газа за ударной волной: 1 — $R_B = 14 R_0$; 2 — $R_B = 18 R_0$; 3 — $R_B = 24 R_0$; 4 — $R_B = 26 R_0$; $\bar{u} = \frac{u}{\sqrt{p_0/\rho_0}}$, $\bar{R} = \frac{R}{R_0}$ (R_B — положение фронта ударной волны, p_0 , ρ_0 — давление и плотность в невозмущенном газе)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brode H. L. «Phys. Fluids.», 1959, 2, N 2.
2. Фонарев А. С., Чернявский С. Ю. «Изв. АН СССР. Мех. жидк. и газа», 1968, № 5.
3. Шуршалов Л. В. «Изв. АН СССР. Мех. жидк. и газа», 1971, № 5.
4. Маркин В. Т., Носенко Н. И., Сысоев Н. Н. «Уч. зап. ЦАГИ», 1979, № 2.
5. Адушкин В. В. «Журн. прикладной мех. и тех. физики», 1963, № 5.
6. Адушкин В. В., Коротков А. И. «Журн. прикладной мех. и тех. физики», 1961, № 5.
7. Boyer D. W. «J. Fluid Mech.», 1966, N 9.

Кафедра
молекулярной физики

Поступила в редакцию
23.06.78