

УДК 533.6.011.72

Н. Н. СЫСОЕВ, Ф. В. ШУГАЕВ

### НЕСТАЦИОНАРНОЕ ОТРАЖЕНИЕ ВЗРЫВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ОТ СФЕРЫ

В данной работе экспериментально и теоретически рассматривается регулярная стадия отражения взрывной ударной волны (УВ) в воздухе от сферы. На основе условий совместности второго и третьего порядка, а также используя граничное условие на поверхности тела [1] получены аналитические выражения для скорости отраженной УВ, плотности и давления вдоль поверхности тела (рис. 1,а). Использовалось разложение в ряд по времени ( $t$ ) с точностью до членов второго порядка малости.

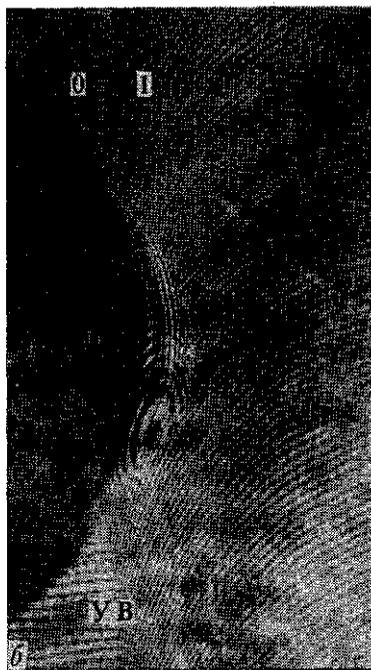
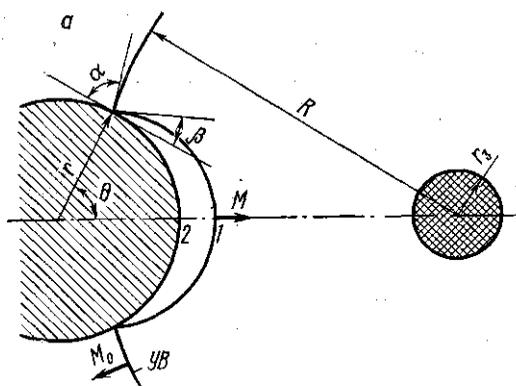


Рис. 1. УВ — падающая ударная волна; О — область невозмущенного газа, 1 — область за падающей ударной волной, 2 — область за отраженной волной,  $r_0$  — радиус заряда,  $R$  — радиус падающей ударной волны,  $r$  — радиус сферы,  $\alpha$  — угол падения,  $\beta$  — угол отражения

Учет физико-химических превращений производился путем введения эффективного показателя изэнтропы ( $\gamma$ ). В частности, производная по нормали к волне от давления за отраженной УВ в начальный момент времени равна

$$\frac{r}{p_0} \frac{\partial p_2}{\partial n} = \frac{\gamma v_1^2}{c_0^2 e_0^2 \cos^3 \beta} [\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta + 2 \sin \alpha \sin \beta \sin(\alpha + \beta)] +$$

$$+ \frac{r}{p_0} \frac{\partial p_1}{\partial R} \operatorname{tg} \beta \sin(\alpha + \beta) \frac{fg}{(\gamma + 1)^2 M^2} +$$

$$+ \frac{4\gamma \operatorname{tg} \beta f g}{(\gamma + 1)^3 M \sqrt{D}} \left( \frac{\partial M}{\partial \theta} - \frac{r \sin \alpha}{M c_0} \frac{dM}{dt} \right), f = (\gamma - 1) M^2 + 2,$$

$$g = 2\gamma M^2 - \gamma + 1, \quad \varepsilon_0 = \rho_0 / \rho_1,$$

$$D = 1 - \sin^2 \alpha [(v_1^2 - G^2)/G_0^2 - 2v_1/G_0], \quad G = M \cdot c,$$

$c$  — скорость звука,  $v_1$  — скорость газа за падающей УВ,  $p$  — давление,  $\rho$  — плотность,  $dM/dt$  — изменение числа Маха отраженной УВ вдоль луча.

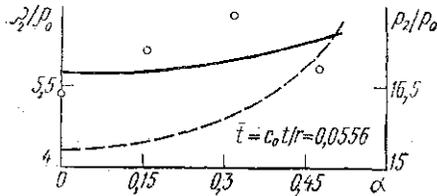


Рис. 2. Распределение плотности (сплошная линия) и давления (пунктир) вдоль поверхности сферы. Точки — экспериментальные значения плотности

Градiente плотности за падающей УВ и скорость ее движения определялись из эксперимента [2].

Типичная интерферограмма процесса приведена на рис. 1,б. На рис. 2 нанесены экспериментальные (точки) и расчетные значения плотности, а также расчетные значения давления вдоль поверхности сферы. Сфера находилась на расстоянии  $31 r_3$  от центра взрыва. Видно, что расчет неплохо согласуется с экспериментом. В выраже-

ние  $dM/dt$  входит величина  $\partial M/\partial \theta$ , неограниченно возрастающая при  $\alpha \rightarrow \alpha_{\pi}$  ( $\alpha_{\pi}$  — предельный угол падения [3]).

Однако сама величина  $dM/dt$  обращается в бесконечность при меньшем значении  $\alpha = \alpha_*$ , так как становится равной нулю величина  $A$ :

$$A = \{ [2(2\gamma - 1)M^2 + (\gamma + 5)M^2 - \gamma + 1] / f - k(M^2 - 1) \times \\ \times (kg/(\gamma + 1) + 2M \operatorname{tg} \beta) \}, \quad k = c_1 \sin \alpha / (G_0 \sqrt{D}).$$

В таблице приведены в градусах значения  $\alpha_{\pi}$  и  $\alpha_*$  для различных  $M_0(0)$ .

$M_0(0)$	13,6	8,67	6,08	4,69	3,2	2,24
$\alpha_{\pi}$	45,2629	43,0974	41,5588	40,6257	39,5626	39,2705
$\alpha_*$	44,7038	42,8713	41,4698	40,5810	39,5439	39,2461

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысоев Н. Н., Шугаев Ф. В. «Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрофиз.», 1979, 19, № 3.
2. Маркин В. Т., Носенко Н. И., Сысоев Н. Н. «Уч. зап. ЦАГИ», 1979, № 2.
3. Курант Р., Фридрихс К. Сверхзвуковое течение и ударные волны. М., 1950.

Кафедра  
молекулярной физики

Поступила в редакцию  
02.02.79