

А. И. АКИМОВ, Ю. Г. ЛИСИН, Ф. В. ШУТАЕВ, Ю. Ф. МАКОВСКИЙ

НАБЕГАНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА ЗАТУПЛЕННОЕ ТЕЛО, ОБТЕКАЕМОЕ СВЕРХЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ

(Представлено академиком А. А. Дорожницким 21 V 1970)

Экспериментально исследовано набегающее плоской ударной волны на затупленное тело (цилиндр с плоским или сферическим носком), находящееся в сверхзвуковом потоке (¹), при числе Маха потока, обтекающего тело, $M_1 = 1,1 - 1,6$ и числе Маха ударной волны $M_2 = 1,2 - 1,7$. Опыты проведены в двухдиафрагменной ударной трубе (²) прямоугольного сечения площадью $40 \times 61 \text{ мм}^2$. В смотровой секции трубы помещена модель, диаметр которой равен $8 - 10 \text{ мм}$. Рабочим газом служил азот. Для визуализации картины течения использован теневой метод. В качестве источника света теневой установки успешно применен импульсный рубиновый ОКГ (³) с модулированной добротностью. Генерировался одиночный импульс длительностью 10^{-8} сек .

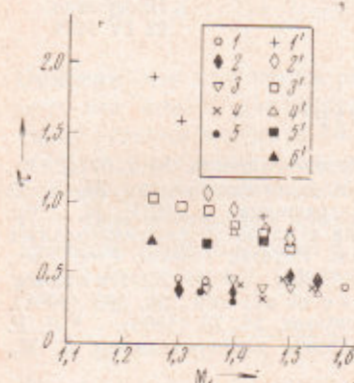


Рис. 2. Зависимость безразмерного времени установления обтекания τ от M_1 и M_2 : 1—5 — сферический, 1'—6' — плоский носок. $M_2 = 1,2$ (1, 1'); 1,3 (2, 2'); 1,4 (3, 3'); 1,5 (4, 4'); 1,6 (5, 5'); 1,7 (6, 6')

На рис. 1 * видна отошедшая ударная волна (1), падающая волна (2), проходящая волна, форма которой искривлена (3), и отраженная волна (4). Как показала обработка снимков, фронт второй ударной волны является плоским, а числа Маха потока за первой и второй ударными волнами приблизительно постоянны. Вначале падающая волна взаимодействует с отошедшей волной перед телом. В исследованном интервале чисел Маха это взаимодействие принадлежит к регулярному типу. В результате такого взаимодействия образуются две новых ударных

волны, которые движутся в противоположные стороны. Изменения скорости ударных волн сразу же после взаимодействия в пределах ошибок согласуются с соответствующими значениями, рассчитанными для плоских волн. Затем проходящая волна движется по слою газа между головной волной и поверхностью тела. При этом скорость волны уменьшается по мере приближения к поверхности тела. Искривление фронта проходящей волны зависит от радиуса затупления цилиндра. Для цилиндра с плоским носком это искривление больше, чем для цилиндра со сферическим носком. В последующем движении проходящей волны вдоль боковой поверхности цилиндра искривление ее уменьшается.

Ударная волна, отраженная от поверхности тела, догоняет волну, находящуюся перед телом. Скорость ударной волны, возникшей после такого взаимодействия, в системе координат, связанной с телом, убывает до нуля. По прошествии некоторого промежутка времени от начала взаимодействия возникает установившееся обтекание модели. Переход к установив-

* Рис. 1 см. вклейку к стр. 83.

шемуся обтеканию можно характеризовать значением Δt , в течение которого скорость отраженной волны на оси симметрии убывает до нуля. На рис. 2 приведены значения величины $\tau = \Delta t c_1 / d$ (d — диаметр модели, c_1 — скорость звука в набегающем потоке до прихода второй ударной волны). Здесь время отсчитывается от момента соударения проходящей волны с критической точкой тела. Видно, что для цилиндра с плоским носком безразмерное время установления τ убывает с ростом чисел M_1 и M_2 . Для сферического носка в исследованном интервале чисел M_1 и M_2 величина τ практически постоянна.

Движение проходящей ударной волны для модели со сферическим носком было сопоставлено с движением волны бесконечно малой амплитуды.

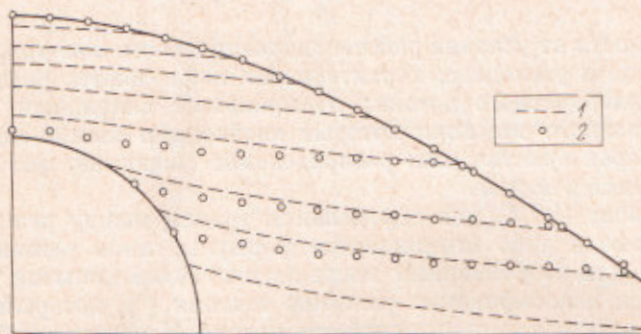


Рис. 3. Сравнение проходящей ударной волны с волной бесконечно малой амплитуды. 1 — расчетные положения, 2 — экспериментальные

Движение последней было найдено графически по распределению параметров потока между ударной волной и телом, рассчитанному для стационарного сверхзвукового обтекания. На рис. 3 показаны последовательные положения проходящей ударной волны. Видно, что расчет удовлетворительно согласуется с экспериментом.

Авторы приносят благодарность А. С. Предводителеву за обсуждение работы, а также В. В. Русанову и А. Н. Любимову, любезно предоставившим данные по распределению параметров течения вблизи сферы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
29 IV 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. McNamara, J. Spacecraft and Rock., 4, № 6, 790 (1967). ² J. R. Ruetenik, B. Lemcke, J. Spacecraft and Rock., 4, № 8, 1030 (1967). ³ И. В. Ершов, А. П. Овечкин и др., ДАН, 189, № 2, 277 (1969).