МЕХАНИКА
ЖИДКОСТИ И ГАЗА
№ 6 • 1995

УДК 533.6.011.72

 А. В. ОМЕЛЬЧЕНКО, В. Н. УСКОВ

ОПТИМАЛЬНЫЕ УДАРНО-ВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ

Одним из первых исследователей систем, состоящих из нескольких плоских косых и замыкающего прямого скачка уплотнения, был академик Г. И. Петров [1]. Численными исследованиями в его работах определены интенсивности косых скачков, при которых достигаются максимальные значения коэффициентов восстановления статических и полных давлений. Такие системы скачков были названы оптимальными. Теоретический анализ таких систем имеется в [2, 5].

Получены строгие аналитические решения, определяющие интенсивности волн в оптимальных системах, в которых имеются максимумы не только коэффициентов восстановления давлений, но и величин скоростного напора, плотности, а также угла поворота потока в волне. Помимо скачков уплотнения системы включают простые волны разрежения и сжатия. Полученные решения носят не только теоретический, но и прикладной характер и могут быть использованы при газодинамическом проектировании сверхзвуковых воздухозаборников, аппаратов струйных технологий и других технических объектов.

1. Исследуется плоское стационарное сверхзвуковое течение совершенного невязкого газа с последовательно расположенными волнами w, которые могут быть ударными j и изоэнтропными i. Последовательность из n волн представляется конечным упорядоченным множеством $S_n = \{w_k\}$ $(k = 0, 1, 2, \ldots, n)$, каждый элемент которого может быть либо скачком уплотнения $(w = j)$, либо простой волной Прандтля — Майера $(w = i)$. Множество S_n называется ударно-волновой системой из n волн. Если за волной w_n имеется замыкающий прямой скачок уплотнения, то система обозначается $S_{n,m}$. Случай $n = 0$ соответствует тривиальным течениям (вырожденным системам) невозмущенного потока ($S_0 = \emptyset$ — пустое множество) или течениям с прямым скачком уплотнения S_m. Системы S_1 и $S_{1,m}$ называются элементарными.

Множество газодинамических переменных $F = \{p, \rho, T, \rho v^2, p_0, \rho_0, T_0\}$, характеризующих невозмущенный сверхзвуковой поток, в системе S_n преобразуется в множество $F_n = \{p_n, \rho_n, T_n, \rho_n v_n^2, p_{0n}, \rho_{0n}, T_{0n}\}$, элементы которого определяют свойства потока за ударно-волновой системой. Отношения $I_n^{(f)} = f_n/f$ значений соответствующих элементов множеств $f_n \in F_n$ и $f \in F$ служат мерами интенсивности системы S_n. Для всех переменных справедливо равенство

$$I_n^{(f)} = \prod_{k=1}^{n} I_k^{(f)}, \quad I_k^{(f)} = \frac{f_k}{f_{k-1}} \tag{1.1}$$

Здесь $I_k^{(f)}$ — меры интенсивности отдельной волны.

Уравнение состояния Клапейрона устанавливает зависимость между отношениями первых трех элементов множеств F_n и F

$$I_n^{(p)} \equiv J_n = \frac{p_n}{p}, \quad I_n^{(\rho)} \equiv E_n = \frac{\rho_n}{\rho}, \quad I_n^{(T)} \equiv \Theta_n = \frac{T_n}{T}, \quad \Theta_n = \frac{J_n}{E_n} \tag{1.2}$$

Связь величин E_n и J_n, определяемых через E_k и J_k с помощью формулы (1.1), осуществляется адиабатами Рэнкина — Гюгонио на j и Лапласа — Пуассона на i