

Г. П. Шиндяпин, В. Л. Мыльцин

ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ГАЗАХ И ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СРЕДАХ¹

Исследуются процессы взаимодействия и отражения ударных волн (УВ) в газах и газожидкостных средах, имеющих важное значение для развития сверхзвуковой авиации, космонавтики и др. Рассматриваются взаимодействия УВ относительно малой интенсивности (абсолютная интенсивность УВ при этом может быть велика), когда за фронтами УВ возникают области резких изменений параметров – области коротких волн, и ударные нагрузки возрастают (рис. 1). В этих областях процесс существенно нелинеен, что вызы-

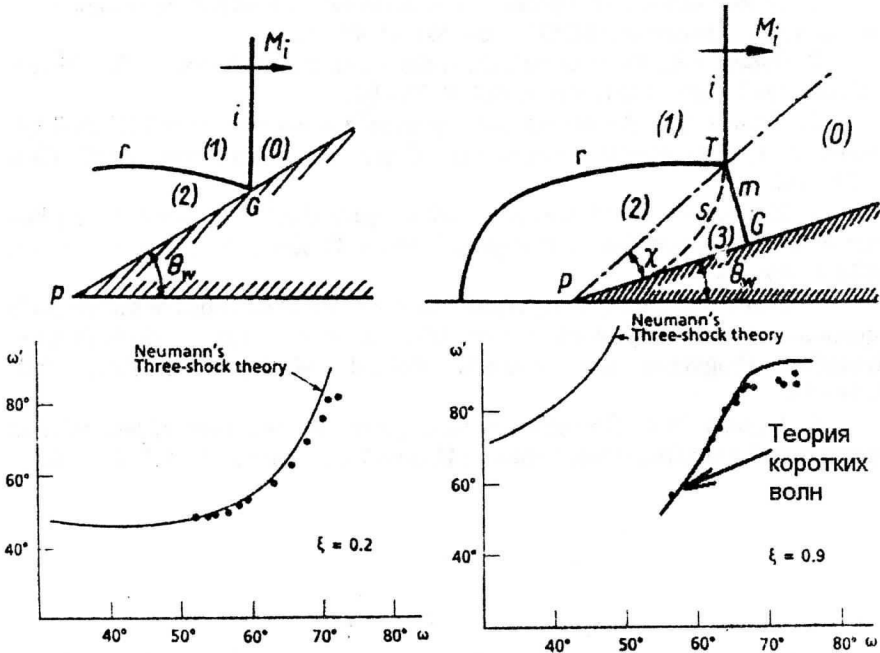


Рис. 1

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 99-01-00816 и частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 96-15-96030.

вает серьезные трудности при анализе. В частности, известный парадокс Неймана (слабого маховского отражения) состоит в том, что для относительно слабых УВ теоретические результаты в случае нерегулярного отражения УВ не согласуются с экспериментом (отсутствуют схемы течений с УВ, адекватно описывающие процесс), в то время как для относительно сильных УВ такое согласие наблюдается.

Неизменное внимание к проблеме отечественных (С.А. Христианович, Б.И. Заславский, Г.П. Шиндяпин и др.) и зарубежных исследователей (Л.Ф. Хендерсон, Г. Бен-Дор, К. Такаяма и др.) на протяжении более 50 лет привело к появлению разнообразных альтернативных точек зрения на природу противоречия. В частности, при анализе влияния вязкости и теплопроводности на формирование внутренней структуры зон взаимодействия (ветвления) УВ Г.П. Шиндяпиным, А.Д. Ковалевым были выяснены качественные различия при зарождении регулярной и нерегулярной структуры, объясняющие появление неклассического условия разрыва поперечной составляющей скорости в тройных точках в случае исчезающей диссипации.

Исторически известны многочисленные попытки подправить локальные 2-х и 3-х ударные теории отражения Неймана, чтобы результаты расчетов согласовались с экспериментом для слабых УВ (V.J. Lighthill (1949), K.J. Guderley (1957), J. Sternberg (1959), L.F. Henderson (1985), P. Collela (1990) и другие). Эти попытки продолжаются и в настоящее время, однако, все явнее вырисовывается необходимость построения теории взаимодействия, отражающей влияние потока в целом на образующиеся ударно-волновые структуры.

Отечественная асимптотическая теория коротких волн [1, 2] позволяет преодолеть эти трудности и предсказать ударно-волновые структуры (рис. 2), параметры потока, соответствующие экспериментальным данным (см. рис.1). Область А соответствует регулярному режиму взаимодействия 2-х УВ, области В и С – нерегулярному режиму.

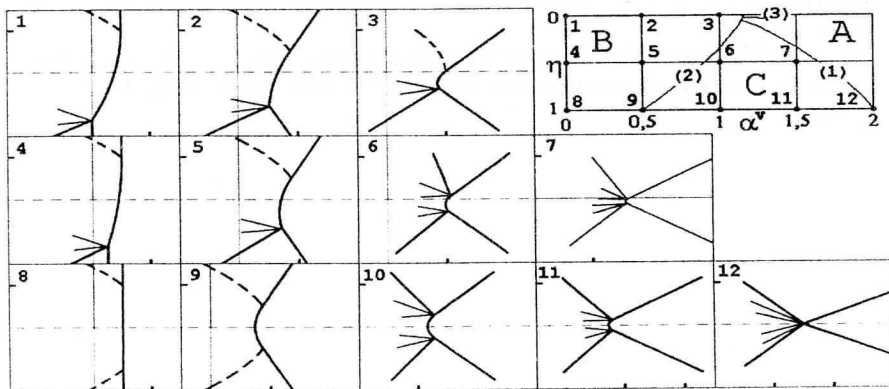


Рис. 2

Нелинейный эффект теории особенно наглядно проявляется в зависимости коэффициента максимального давления при взаимодействии 2-х УВ (рис. 3) от отношения интенсивностей $\eta = P_{20} / P_{10}$ и параметра подобия α^v , учитывающего интенсивность, угол взаимодействия и газосодержание среды.

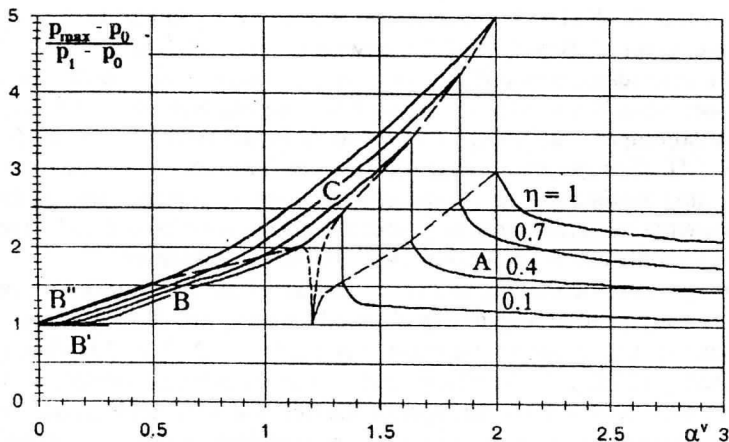


Рис. 3

Согласно линейной теории этот коэффициент равен двум.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиндяпин Г.П., Ковалев А.Д. Математическое моделирование в задачах динамики многофазных сред. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1990. Ч. II.
2. Шиндяпин Г.П. Маховское отражение и взаимодействие слабых ударных волн в условиях парадокса Неймана // Изв. РАН. МЖГ. 1996. №2. С. 183 - 190.