

11. А. В. Каширский, Л. П. Орленко, В. Н. Охитин. ПМТФ, 1973, 2.
 12. В. Н. Охитин. Тр. МВТУ, № 358. М., 1981.
 13. А. В. Каширский, Ю. В. Коровин, Л. А. Чудов.— В кн.: Вычислительные методы и программирование. Вып. 19. М.: Изд-во МГУ, 1971.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ И УДАРНЫХ ВОЛН НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДЕТОНИРУЮЩЕГО ГАЗА С НЕЙТРАЛЬНЫМ

В. М. Гендугов, А. С. Зиновьев
 (Москва)

В работе исследуются регулярные волновые конфигурации, образующиеся при выходе из детонирующего газа в нейтральный косоугольного скачка уплотнения, когда детонация возникает в отраженной или падающей волне. Выход ударной волны из одной нейтральной среды в другую рассмотрен в работах [1—5], а волновые конфигурации вблизи границы раздела детонирующих сред — в [6—9]. Известно, что в подобных задачах обнаружена неоднозначность решения, обусловленная, с одной стороны, возможностью существования волновых конфигураций с отраженной ударной волной и с отраженной волной разрежения. С другой стороны, в рамках каждой волновой конфигурации возможна также двужначность решения, соответствующая сильной и слабой отраженной волне. До сих пор нет строгого математического критерия отбора решения, отвечающего действительности. В [4, 6] утверждается, например, что на практике реализуются течения с минимальной интенсивностью преломленной волны, в то время как в [10] приводится эксперимент, отвечающий преломлению более сильной ударной волны. В данной работе изучаются все возможные волновые конфигурации и решения, допускаемые исходной системой уравнений.

1. Пусть плоская ударная волна OS , за которой давление p_1 меньше порога инициирования p_i , падает под углом α из детонирующего газа на границу раздела с нейтральным (рис. 1). В зависимости от свойств сред и параметров волны OS отраженная в детонирующий газ волна может быть как волной разрежения, так и ударной. Во втором случае, если давление за отраженной волной превышает порог инициирования, возникает детонация. При этом волновая конфигурация течения в окрестности точки O включает в себя волну OS , проходящую ударную волну ON , детонационную волну Чепмена — Жуге OR , волну разрежения и контактную поверхность OK .

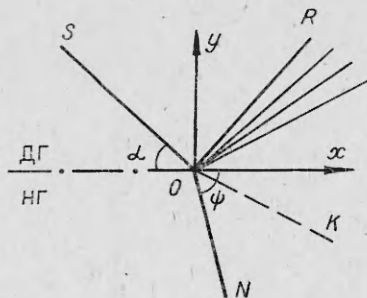


Рис. 1. Волновая конфигурация при выходе ударной волны из детонирующего газа (ДГ) в нейтральный (НГ).

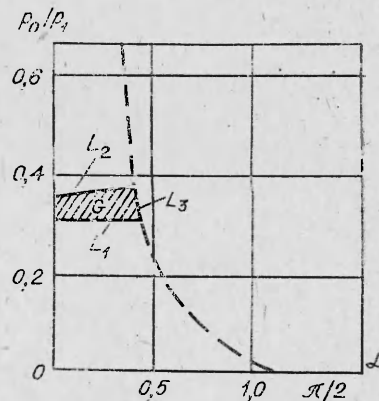
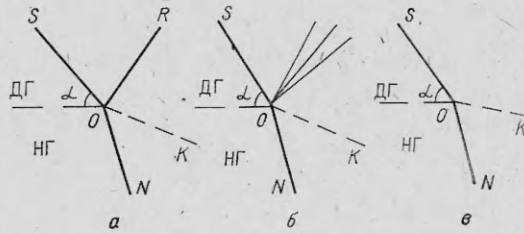


Рис. 2. Область существования волнового комплекса с отраженной детонационной волной Чепмена — Жуге.

Рис. 3. Волновые конфигурации при выходе детонационной волны из детонирующего газа в нейтральный. а) с отраженной ударной волной; б) с отраженной волной разрежения; в) без отраженной волны.



В предположении, что газы и продукты детонации калорически совершенны, записываются обычные уравнения сохранения на косых скачках уплотнения [11], уравнения в волне Прандтля — Майера, условия на контактной поверхности и регулярности. Полученная система содержит два независимых параметра, в качестве которых выбирают угол α и интенсивность p_0/p_1 (p_0 — начальное давление). Область существования данного течения (G) (рис. 2) ограничена прямой L_1 и линией L_2 . Последняя определяется в процессе решения задачи из условия, что отражающая волна является ударной и давление за ней равно p_1 . Точки пересечения L_1 и L_2 с осью $\alpha = 0$ соответствуют скольжению OS вдоль границы раздела сред. Линия L_3 , ограничивающая область G справа, отвечает предельному положению OR , когда поток за OS нормален к OR .

2. Пусть детонационная волна Чепмена — Жуге выходит в нейтральный газ. В плоскости $\alpha, p_0/p_1$ (см. рис. 2) режимы течения, соответствующие данному случаю, находятся в области под прямой L_1 . Волновые конфигурации, которые могут возникнуть при этом, приведены на рис. 3. (Здесь OS — детонационная волна; ON — преломленная ударная волна.) Система уравнений, описывающая течение с волновой конфигурацией $a, б$ — однопараметрическая, $в$ — нуль-параметрическая.

В плоскости α, ψ (ψ — угол преломления волны ON) данные режимы течения изображены линиями L_1, L_2 и точкой P (рис. 4). Волновая структура $в$ — частный случай двух первых, когда интенсивность отраженной волны обращается в нуль. Так как сколь угодно малые возмущения параметров падающей волны приводят к распаду конфигурации $в$, то этот режим неустойчив. То же самое можно утверждать и о волновых структурах a и $б$, если изменение параметров происходит не вдоль линий их существования. Точка O линии L_1 соответствует нормальному падению детонационной волны на границу раздела сред.

3. Волновые конфигурации, возникающие при выходе пересжатой детонационной волны в нейтральный газ, имеют тот же вид, что и на рис. 3. Однако при этом система уравнений, описывающая течения $a, б$, двухпараметрическая, а $в$ — однопараметрическая. Области реализации данных волновых конфигураций в плоскости α, ψ обозначены соответственно через G_1, G_2, L_2 . Область G_1 ограничена линиями L_1, L_2, L_4, L_6 . Линия L_1 отвечает падающей детонационной волне Чепмена — Жуге, L_4 — пересжатой

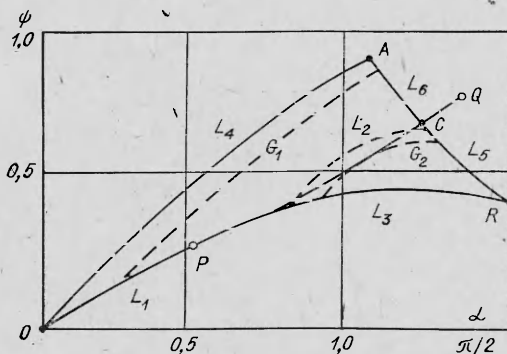


Рис. 4. Область существования волновой конфигурации с падающей детонационной волной.

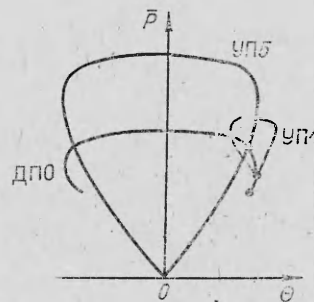


Рис. 5. Детонационная ДПО и ударная УП5 полярны.

детонационной волне бесконечно большой интенсивности, L_2 — конфигурации волны ϵ . Линия L_6 определяется из условия касания ударных поляр (рис. 5), описывающих состояние за отраженной ударной волной (УП4) и проходящей в нейтральный газ ударной волной (УП5). Область G_2 ограничена линиями L_2, L_3, L_5 . Линия L_5 отвечает потоку за пересечтой детонационной волной, число Маха которого $M = 1$. Часть линии $L_2(CQ)$, соответствующая волновой конфигурации ϵ , отвечает течению за пересечтой детонационной волной, $M < 1$. Изменение волновых конфигураций при условии постоянства числа Маха набегающего потока (M_0) прослеживается вдоль штриховых кривых на рис. 4. Как видно, при $M_0 = \text{const}$ возможен переход от волновой конфигурации с отраженной волной разрежения к такой же конфигурации через волновую структуру с отраженной ударной волной.

В заключение отметим, что области реализации волновых конфигураций деформируются в зависимости от физико-химических свойств сред и начальных условий задачи. Однако в широком диапазоне изменения соотношения плотности детонирующего и нейтрального газов и различных показателей их адиабат качественная картина такая же, как и у приведенных для иллюстрации сред с $\rho_0/\rho_1 = 0,5$, $\gamma_0 = \gamma_1$.

Поступила в редакцию 8/II 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. R. A. Strehlow. 14-th Symp. (Intern.) on Combustion, 1973.
2. Г. Курант, К. Фридрихс. Сверхзвуковые течения и ударные волны. М.: ИЛ, 1950.
3. Х. Йолачек, Р. Й. Зигер.— В кн.: Основы газовой динамики/Под ред. Г. Эммонса. М.: ИЛ, 1963.
4. Л. Ф. Гендерсон. Механика, № 5. М.: ИЛ, 1968.
5. R. J. Stoner, M. H. Hauberman. Phys. Rev., 1949, 76, 882.
6. S. Paterson. Proc. Phys. Soc., 1948, 61, 344, 119.
7. E. Larisch. J. Chem. Mech., 1959, 6, 3.
8. Л. Г. Гвоздева, О. А. Предводителева. ФГВ, 1969, 5, 4.
9. К. П. Станюкович. Неустановившиеся движения сплошной среды. М.: Наука, 1971.
10. К. Гудерлей. Теория околосзвуковых течений. М.: ИЛ, 1960.
11. К. И. Щелкин, Я. К. Трошин. Газодинамика горения. М.: Изд-во АН СССР, 1963.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА ЗА ФРОНТОМ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ

*В. В. Дорохин, В. Н. Зубарев, Ю. К. Орехин,
Н. В. Панов, Н. Л. Шаболдина
(Москва)*

При изучении высокоскоростных режимов детонации конденсированных ВВ в явном или неявном виде используется несколько моделей плоских детонационных волн (ДВ). Если не делается каких-либо предположений относительно их структуры, то в соответствии с уравнениями состояния ВВ, продуктов взрыва (ПВ) и кинетикой химического разложения реализуется нестационарный профиль ДВ, в котором звуковая плоскость (плоскость Чепмена — Жуге) не обязательно находится на постоянном расстоянии от ударного скачка. Эта схема преимущественно используется при численном моделировании ДВ [1].

В модели с конечным временем химического превращения ВВ (τ_x) накладываются ограничения на структуру ДВ, профиль которой представляется как совокупность стационарной химической зоны и последующей автомодельной волны разрежения, разделенных звуковой плоскостью [2]. Наиболее простая и широко используемая схема принципиально не отличается от второй модели. В ней принимается $\tau_x = 0$.

Последние модели просты, наглядны и удобны для интерпретации исходных экспериментальных данных. Однако, как показала практика по-