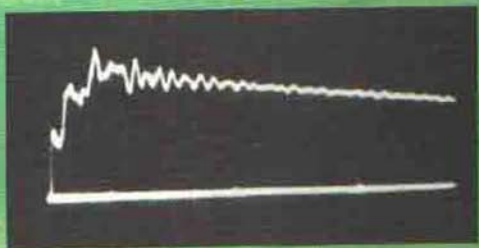
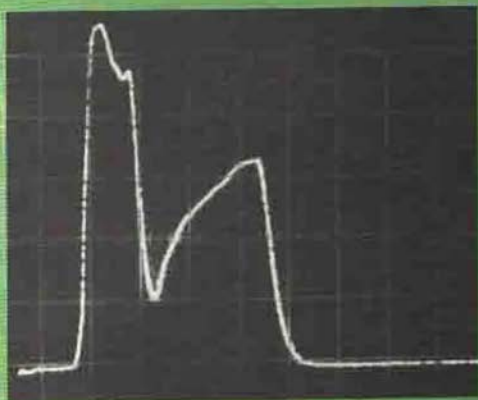


Э. Э. Лин, А. Н. Малышев,
А. В. Сиренко, З. В. Танаков

НЕТРАДИЦИЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ГАЗОДИНАМИКИ ВЗРЫВА



$$\frac{\partial D}{\partial p_0} < 0, \frac{\partial \eta}{\partial p_0} < 0 \Rightarrow$$



ФГУП «Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики»

Э. Э. Лин, А. Н. Малышев,
А. В. Сиренко, З. В. Танаков

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ГАЗОДИНАМИКИ ВЗРЫВА

Монография

Под редакцией доктора технических наук
А. Л. Михайлова

Саров
2013

УДК 530/541
ББК 22.253.3
Н 57

Лин Э. Э., Малышев А. Н., Сиренко А. В., Танаков З. В.
Нетрадиционные задачи газодинамики взрыва: Монография / Под редакцией А. Л. Михайлова. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013. 261 с.

ISBN 978-5-9515-0210-0

В книге дается обзор и анализ результатов проведенных в РФЯЦ-ВНИИЭФ исследований взрывных процессов различной физической природы с характерными давлениями P , значительно меньшими давления P_H в точке Жуге детонационной волны в твердом ВВ, и с длительностями протекания $\tau > 10^{-5}$ с. Цель книги – продемонстрировать на конкретных примерах разнообразие подходов к постановке и решению задач экспериментальной газодинамики и физики взрыва. Представленные результаты дополняют общеизвестные представления о протекании взрывных процессов с темпом динамического нагружения объектов менее 10^5 с^{-1} . Установлено, что для приближенного описания умеренных взрывных воздействий оказывается достаточным знания небольшого числа параметров, измеряемых в опыте. Книга может быть полезна специалистам, занимающимся исследованиями процессов горения и взрыва, детонации, распространения ударных волн, а также импульсного воздействия на материалы и элементы конструкций.

Ключевые слова: умеренные взрывные воздействия, функциональные характеристики, продукты взрыва, сильное расширение, calorическое уравнение состояния, плоский заряд, объемно-распределенный заряд, деформирование и разрушение пластин, динамическое нагружение порошка детонационных наноалмазов, множественное воздействие твердых тел, разрушение преград, режимы сгорания газовых смесей, замкнутый объем, сталкивающиеся открытые облака, среды с уменьшающейся плотностью, кумулятивные процессы.

Табл. – 11, рис. – 153, список лит. – 280 назв.

ISBN 978-5-9515-0210-0

© ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013

Содержание

Введение	5
Глава 1. Определение параметров полуэмпирического калорического уравнения состояния продуктов взрыва твердых ВВ на стадии сильного расширения	14
1.1. Методика определения	14
1.2. Экспериментальное изучение расширения продуктов взрыва пластического ВВ	21
1.3. Исследование сильного расширения продуктов взрыва тротил-гексогеновых составов	30
1.4. Сравнение экспериментальных и расчетных данных по давлению	36
1.5. Обсуждение результатов	41
Выводы	45
Глава 2. Особенности поведения ударных волн в трубах на стадии сильного расширения продуктов взрыва	46
2.1. Взрыв плоского пластического заряда ВВ в воздухе	47
2.2. Взрыв объемно распределенного заряда пластического ВВ в воздухе	67
Выводы	78
Глава 3. Поведение элементов конструкций и материалов при умеренных взрывных воздействиях	79
3.1. Деформирование и разрушение круглых алюминиевых пластин при действии на них ударной волны	79
3.2. Ударно-индуцированный рост кристаллов в пористой среде из детонационных наноалмазов	87
3.3. Характер разрушения преград при множественном ударе твердых тел с умеренной скоростью	107
Выводы	151

Глава 4. Режимы сгорания углеводородов в замкнутых объемах и в открытых облаках	152
4.1. Сгорание ацетиленовых смесей в закрытых трубах ..	152
4.1.1. Постановка и результаты опытов	152
4.1.2. Обсуждение результатов	168
4.2. Сгорание открытых сталкивающихся пропановоздушных облаков	175
Выводы	190
Глава 5. Кумулятивные процессы в средах с уменьшающейся плотностью	192
5.1. Расчетные модели детонации слоя конденсированного ВВ с уменьшающейся плотностью	192
5.1.1. Плоская геометрия	192
5.1.2. Сферическая и цилиндрическая геометрия ...	203
5.2. Сходящиеся ударные волны в средах с уменьшающейся плотностью	207
5.2.1. Общее решение для политропических сред ...	207
5.2.2. Автомодельное рассмотрение	212
5.3. Световое излучение ударной волны в трубе со ступенькой плотности ксенона	215
5.4. Коллективный направленный разгон твердых тел потоком продуктов пересжатой детонации конденсированного ВВ	219
Выводы	221
Глава 6. Определение основных закономерностей и функциональных характеристик рассмотренных взрывных процессов	223
Заключение	233
Список литературы	234

ВВЕДЕНИЕ

Традиционной задачей физики взрыва является создание и исследование экстремальных состояний вещества (см., например, [1, 2]). Эти состояния реализуются при чрезвычайно высоких импульсных давлениях $P_i \geq P_{HE}$, величина которых сравнима с давлением P_{HE} во фронте детонационной волны (ДВ) в твердом взрывчатом веществе (ВВ), а время действия лежит в диапазоне $\tau = 10^{-7} \div 10^{-5}$ с. Существуют также взрывные явления умеренной интенсивности, когда развиваемые давления значительно меньше P_{HE} , а темп создаваемых динамических воздействий менее 10^5 с^{-1} [3–5]. Характерными процессами в задачах такого рода являются перекачка упругой энергии продуктов взрыва по мере их расширения в кинетическую и тепловую энергии, формирование нестационарных течений и ударных волн (УВ) в различных средах, импульсное воздействие УВ и метаемых твердых тел на элементы конструкций. Отдельно можно выделить кумулятивные эффекты в газодинамических течениях в средах с уменьшающейся плотностью. Исследования всех перечисленных процессов связаны как с лабораторным моделированием действия различных факторов взрыва на объекты окружающей среды, так и с развитием методов обработки конструкционных материалов взрывом.

В известной мере эти процессы изучены достаточно подробно. Характер взаимодействия расширяющихся продуктов взрыва (ПВ) с различными средами связан с термодинамическим состоянием ПВ, которое определяется из полуэмпирических уравнений состояния (УРС) (см., например, [2, 6–9]). Эти уравнения позволяют определить давление ПВ p в зависимости от плотности ρ при заданном показателе политропы k (или коэффициенте Грюнайзена γ). Эффективный показатель политропы k изменяется с плотностью, уменьшаясь от величины, приблизительно равной 3 в точке Жуге, где велика роль упругих сил взаимодействия частиц ПВ, до вели-

26. Мержиевский Л. А., Титов В. М., Фадеев Ю. И., Швецов Г. А. Высокоскоростное метание твердых тел // Физика горения и взрыва. 1987. Т. 23, № 5. С. 77–91.

27. Lin E. E., Mel'tsas V. Yu., Novikov S. A., Pashchenko E. N., Sirenko A. V., Tikhomirov B. P. Investigation of directed group acceleration of solid fragments by expanding explosive products // Proc. of 16th Int. Ballistics Symposium and Exhibition, San Francisco, CA, September 23-27 1996. Vol. 2. P. 651–663.

Список литературы к главе 6

1. Шемарулин В. Е., Мельцас В. Ю., Копытов В. Ю., Могилев В. А., Поддубный В. А., Фатеев Ю. А., Хорошайло Е. С., Чубаров В. Ф. Влияние способа инициирования плоского заряда на процесс формирования ударной волны в трубе // Физика горения и взрыва. 1982. Т. 18, № 4. С. 103–107.

2. Новиков С. А., Петров В. А., Тимонин Л. М. Устройства взрывного типа для механических испытаний материалов и конструкций // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 4. С. 87–94.

3. Бичегов В. И., Залесский В. В., Могилев В. А., Поддубный В. А., Снопков А. П., Фатеев Ю. А. Импульсные газодинамические установки для испытаний РАВ на воздействие поражающих механических факторов // Сборник докладов научной конференции Волжского регионального центра РАН «Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения» / Под ред. Р. И. Илькаева, Е. В. Куличковой, А. Л. Михайлова и др. Саров: ВНИИЭФ, 2000. С. 235–237.

4. Разрушение разномасштабных объектов при взрыве / Под ред. А. Г. Иванова. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2001.

5. Лосев С. А. Ударные трубы в современной газовой динамике // Итоги науки и техники. Механика жидкости и газа. 1984. Т. 18. С. 270–279.

6. Патент 2065222. Способ повышения безопасности ядерных боеприпасов / Иванов А. Г., Сырунин М. А., Телегин Г. С., Тимонин Л. М., Федоренко А. Г. // Бюллетень изобретений 1996, № 22.

7. Лоборев В. М., Острик А. В., Петровский В. П., Чепрунов А. А. Методы моделирования механического действия излучения на ма-

териалы и конструкции. Сергиев Посад: Изд-во Центрального физико-технического института Министерства Обороны РФ, 1997.

8. El-Raheb M. Dynamic instability of a disk forced by a pulse of short duration // *International Journal of Solids and Structures*. 2002. Vol. 39. P. 2965–2986.

9. Абашкин Б. И., Гурьев Д. Л., Ермилов И. Н., Забиров И. Х., Кашеварова Л. С. Воздействие низкоамплитудной ударной волны с остаточным давлением на гексагональный нитрид бора // *Физика горения и взрыва*. 1997. Т. 33, № 5. С. 122–127.

10. Долгушин Д. С., Анисичкин В. Ф., Комаров В. Ф. Ударно-волновое компактирование ультрадисперсных алмазов // *Физика горения и взрыва*. 1999. Т. 35, № 3. С. 143–145.

11. Даниленко В. В. Взрыв: физика, техника, технология. М.: Энергоатомиздат, 2009.

12. Якушев В. К. Выброс тела из контейнера при сверхзвуковых скоростях полета // Сборник докладов II научной конференции Волжского регионального центра РАН «Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения» / Под ред. Р. И. Илькаева. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2003. С. 189–192.

13. Зелепугин А. С., Зелепугин С. А., Скрипняк В. А. Механизм роста глубины внедрения при ударе группы малодеформируемых сферических частиц // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2009, № 10. С. 38–41.

14. Зелепугин С. А., Зелепугин А. С. Моделирование разрушения преград при высокоскоростном ударе группы тел // *Химическая физика*. 2008. Т. 27, № 3. С. 71–76.

15. Зелепугин С. А., Коняев А. А., Сидоров В. Н., Хорев И. Е., Якушев В. К. Экспериментально-теоретическое исследование соударения группы частиц с элементами защиты космических аппаратов // *Космические исследования*. 2008. Т. 46, № 6. С. 559–570.

16. Войтенко Ю. И. Особенности разрушения твердых сред при слабых взрывах // *Физика горения и взрыва*. 1995. Т. 31, № 4. С. 100–108.

17. Investigations of balloons, fire, explosions and so on // Tuhsphysics.ttsd.k12or.us/Research/IB08/McShumperlandiak/mcshumperlandiak.html.

Лин Эмиль Эдипович, **Малышев** Андрей Николаевич,
Сиренко Александр Васильевич, **Танаков** Захар Валерьевич

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ГАЗОДИНАМИКИ ВЗРЫВА

Монография

Редактор *Н. П. Мишкина*
Компьютерная подготовка оригинала-макета *Н. В. Мишкина*
Художник *Т. В. Андреева*

Подписано в печать 13.12.2012. Формат 60×84/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. ~14,7 Уч.-изд. л. ~14,6
Тираж 150 экз. Зак. тип. 1213-2012

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
607188, г. Саров Нижегородской обл.