

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Физический факультет

Н. Н. Сысоев,
В. В. Селиванов, А. В. Хахалин

ФИЗИКА

горения и взрыва

Учебное пособие в 3 частях

Часть

2

**Ударные волны
в различных средах**



Издательство Московского
университета
2018

УДК 533.6.011.72

ББК 24.54

C95

Печатается по рекомендации Ученых советов
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
и Московского государственного технического университета
имени Н. Э. Баумана

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

проф. МГТУ, д. т. н., чл.-кор. РАН *В. А. Тарасов*;

проф. МГУ, д. ф.-м. н. *Б. И. Садовников*

Сысоев Н. Н., Селиванов В. В., Хахалин А. В.

C95 Физика горения и взрыва: Учебное пособие в 3 частях. Часть 2: Ударные волны в различных средах. — М.: Издательство Московского университета, 2018. — 237 с.

ISBN 978-5-19-011263-4 (Часть 2)

ISBN 978-5-19-011039-5

Во второй части комплекса учебных пособий серии «Физика горения и взрыва» в систематизированном виде изложены фундаментальные основы физики распространения ударных волн в инертных и неоднородных реагирующих средах.

Материалы учебного пособия соответствуют курсу лекций, читаемых авторами студентам физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

Для студентов и аспирантов университетов и технических вузов, специалистов в области физики взрыва.

Ключевые слова: распространение ударных волн, электромагнитные явления, газ, жидкость, твердое тело, реагирующие среды.

УДК 533.6.011.72

ББК 24.54

Sysoev N. N., Selivanov V. V., Khakhalin A. V.

The Physics of Burning and Explosion: The Textbook in 3 Parts. Part 2: Shock waves in various environments. — Moscow: Moscow University Press, 2018. — 237 p.

ISBN 978-5-19-011263-4 (Part 2)

ISBN 978-5-19-011039-5

In the second part of a series manuals complex «The Physics of Burning and Explosion» in the systematized kind are stated fundamental bases of shock waves distribution physics in the inert and non-uniform reacting environments.

Manual materials correspond to a course of lectures, read by authors to students of Lomonosov MSU Faculty of Physics.

For students and post-graduate students of universities and technical colleges, experts in area of physics of explosion.

Key words: spread of shock waves, electromagnetic phenomena, gas, liquid, solid body, responsive environment.

ISBN 978-5-19-011263-4 (Часть 2)

ISBN 978-5-19-011039-5

© Сысоев Н. Н., Селиванов В. В., Хахалин А. В., 2018

© Издательство Московского университета, 2018

О Г Л А В Л Е Н И Е

Глава V

УДАРНЫЕ ВОЛНЫ В ИНЕРТНЫХ СРЕДАХ	7
5.1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ВЗРЫВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВОЗДУХЕ	7
5.1.1. Кинематические и термодинамические параметры взрыва КВВ	18
5.1.1.1. Кинематические и термодинамические характеристики полей течения.....	18
5.1.1.2. Разлет продуктов детонации с косога среза.....	34
5.1.1.3. Влияние собственной скорости поступательного движения заряда на эффективность взрыва.....	44
5.1.2. Электромагнитные явления при взрыве КВВ	51
5.1.2.1. Описание электромагнитных явлений при взрыве КВВ	51
5.1.2.2. Физические и математические модели электромагнитных процессов.....	64
5.1.2.3. Методы оценки интенсивности теплового излучения.....	82
5.1.3. Особенности распространения и отражения ударных волн ...	89
5.1.3.1. Основные особенности распространения и отражения ударных волн в газах	89
5.1.3.2. Нестационарное отражение плоских и сферических взрывных УВ от гладких затупленных тел	98
5.1.3.3. Нерегулярная стадия отражения ударных волн от затупленных тел	109
5.2. УДАРНЫЕ ВОЛНЫ В ЖИДКОСТЯХ	113
5.2.1. Гидродинамика взрывных процессов	113
5.2.2. Распространение и образование ударных волн в жидкостях .	119
5.2.3. Физика взрыва в воде	130
5.3. УДАРНЫЕ ВОЛНЫ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ	147
5.3.1. Волны напряжения в твердых телах	147
5.3.2. Особенности распространения ударных волн в неоднородных зарядах твердых взрывчатых веществ	184

Глава VI

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ РЕАГИРУЮЩИХ СРЕДАХ.....	186
6.1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РЕАГИРУЮЩЕЙ СРЕДЫ	186
6.2. ЭВОЛЮЦИЯ УДАРНЫХ ВОЛН В РЕАГИРУЮЩИХ СРЕДАХ. ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ФРОНТА УДАРНОЙ ВОЛНЫ ..	189
6.3. АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ЛОКАЛЬНЫХ РАЗОГРЕВОВ НЕОДНОРОДНЫХ ЗАРЯДОВ ВВ ПРИ ИХ ИНТЕНСИВНОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ.....	191
6.3.1. Разогрев ВВ на поверхности трения.....	194
6.3.2. Схлопывание пор.....	198
6.3.3. Критерий возбуждения химической реакции в пористых зарядах ВВ слабыми ударными волнами	203
6.3.4. Условие распространения горения за пределы прореагировавшего очага	204
6.3.5. Общая схема механизмов локального разогрева.....	205
6.4. КРИТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ НИЗКОПОРЯДКОВЫХ ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	206
6.5. КРИТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ.....	215
6.6. ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ФРОНТА ИНИЦИИРУЮЩЕЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА ПРОЦЕСС ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ. ИНИЦИИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КУМУЛЯТИВНЫХ СТРУЙ И КОМПАКТНЫХ УДАРНИКОВ	220
Упомянутая литература.....	225
Используемые сокращения	236