

# ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебное пособие



НОВОСИБИРСК  
2 0 1 3

УДК 662.1/.4(075.8)

В 932

Коллектив авторов:

*В.В. Андреев, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, Е.Ю. Слесарева*

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, проф. *В.Е. Зарко*,  
д-р техн. наук, проф. *Е.А. Хмельников*

**В 932 Высокоэнергетические материалы : учеб. пособие /**  
**В.В. Андреев, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, Е.Ю. Слеса-**  
**рева. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – 326 с. – (Серия**  
**«Учебники НГТУ»).**

ISBN 978-5-7782-2314-1

Приведены основные сведения о теории взрывчатых веществ, а также о порохах, инициирующих и бризантных взрывчатых веществах и методах снаряжения боеприпасов. Описаны основные методы определения характеристик высокоэнергетических веществ, применяемых при теоретических расчетах, а также методы расчета напряжений, возникающих в разрывном заряде при выстреле. Изложены сведения об электродетонаторах и особенности применения средств взрывания.

УДК 662.1/.4(075.8)

ISBN 978-5-7782-2314-1

© Коллектив авторов, 2013  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2013

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Глава 1. <b>Взрывчатые вещества. Элементы теории взрыва</b> .....   | 9  |
| 1.1. Общие сведения о взрывчатых веществах .....  | 9  |
| 1.2. Классификация ВВ и требования, предъявляемые к ним .....   | 13 |
| 1.2.1. Классификация ВВ.....  | 13 |
| 1.2.2. Требования, предъявляемые к взрывчатым веществам.....  | 25 |
| 1.3. Состав продуктов взрыва, теплота взрыва .....  | 27 |
| 1.3.1. Состав продуктов взрыва .....  | 27 |
| 1.3.2. Теплота взрыва.....  | 31 |
| 1.4. Расчет термодинамических параметров продуктов взрыва.....  | 34 |
| 1.5. Возникновение и распространение детонации .....  | 39 |
| 1.5.1. Общее представление о механизме распространения детонации .....  | 39 |
| 1.5.2. Общие сведения об ударной волне.....   | 40 |
| 1.5.3. Основные параметры ударной волны .....   | 41 |
| 1.5.4. Гидродинамическая теория детонации .....   | 45 |
| 1.5.5. Опытное определение скорости детонации.....  | 49 |
| 1.6. Зависимость скорости и устойчивости детонации от свойств взрыв-<br>чатых веществ и характеристик заряда..... | 53 |
| 1.6.1. Влияние свойств ВВ .....   | 53 |
| 1.6.2. Влияние диаметра заряда .....  | 55 |
| 1.6.3. Влияние плотности заряда .....   | 58 |
| 1.6.4. Влияние наличия и прочности оболочки заряда на изменение<br>величин $d_{кр}$ и $d_{пр}$ .....              | 59 |
| 1.7. Чувствительность ВВ.....   | 60 |
| 1.7.1. Начальный или инициирующий импульс.....  | 60 |
| 1.7.2. Передача детонации через влияние.....  | 69 |
| 1.7.3. Факторы, влияющие на чувствительность ВВ .....   | 70 |
| Вопросы для самоконтроля .....  | 72 |
| Библиографический список .....  | 74 |
| Глава 2. <b>Общее и местное действие взрыва</b> .....   | 75 |
| 2.1. Виды действия взрыва.....  | 75 |
| 2.2. Работоспособность и потенциал ВВ .....   | 76 |
| 2.2.1. Бризантное действие.....   | 83 |
| 2.2.2. Активная часть заряда и направленное действие взрыва.....  | 85 |
| 2.2.3. Кумулятивное действие взрыва .....   | 87 |
| 2.3. Действие взрыва на расстоянии и безопасные расстояния.....   | 89 |
| Вопросы для самоконтроля .....  | 91 |
| Библиографический список .....  | 92 |



|   |     |
|---|-----|
| Глава 3. <b>Иницирующие взрывчатые вещества</b> .....           | 93  |
| 3.1. Общая характеристика иницирующих ВВ.....                   | 93  |
| 3.2. Индивидуальные иницирующие ВВ.....                         | 95  |
| 3.3. Иницирующие смеси.....                                     | 99  |
| 3.3.1. Назначение и классификация иницирующих смесей.....       | 99  |
| 3.3.2. Компоненты воспламенительных составов.....               | 101 |
| 3.3.3. Состав и применение основных иницирующих смесей.....     | 102 |
| Вопросы для самоконтроля.....                                   | 104 |
| Библиографический список.....                                   | 104 |
| Глава 4. <b>Средства инициирования</b> .....                    | 105 |
| 4.1. Назначение и классификация средств инициирования.....      | 105 |
| 4.2. Требования к средствам инициирования.....                  | 108 |
| 4.3. Патронные капсули-воспламенители.....                      | 109 |
| 4.4. Трубочные капсули-воспламенители.....                      | 112 |
| 4.5. Электрические средства воспламенения.....                  | 114 |
| 4.5.1. Назначение и классификация.....                          | 114 |
| 4.5.2. Электровоспламенители, применяемые в подрывном деле..... | 116 |
| 4.5.3. Патронные электровоспламенители.....                     | 117 |
| 4.5.4. Трубочные электровоспламенители.....                     | 119 |
| Вопросы для самоконтроля.....                                   | 120 |
| Библиографический список.....                                   | 121 |
| Глава 5. <b>Средства взрывания</b> .....                        | 123 |
| 5.1. Лучевые капсули-детонаторы.....                            | 124 |
| 5.2. Накольные капсули-детонаторы.....                          | 126 |
| 5.3. Электрические средства взрывания.....                      | 126 |
| 5.3.1. Подрывные электродетонаторы.....                         | 127 |
| 5.3.2. Боеприпасные электродетонаторы.....                      | 128 |
| 5.4. Средства передачи иницирующих импульсов.....               | 130 |
| 5.4.1. Огнепроводный шнур.....                                  | 130 |
| 5.4.2. Детонирующий шнур.....                                   | 132 |
| Вопросы для самоконтроля.....                                   | 134 |
| Библиографический список.....                                   | 134 |
| Глава 6. <b>Бризантные взрывчатые вещества</b> .....            | 135 |
| 6.1. Общая характеристика бризантных ВВ.....                    | 135 |
| 6.2. Индивидуальные бризантные ВВ.....                          | 138 |
| 6.2.1. Физические и химические свойства бризантных ВВ.....      | 139 |
| 6.2.2. Взрывчатые свойства и применение бризантных ВВ.....      | 141 |
| 6.3. Получение бризантных ВВ.....                               | 144 |
| 6.4. Общая характеристика смесевых бризантных ВВ.....           | 146 |
| 6.4.1. Смеси и сплавы индивидуальных ВВ (ВВ + ВВ).....          | 148 |
| 6.4.2. Флегматизированные ВВ.....                               | 152 |



|  |            |
|--|------------|
| 6.4.3. Металлосодержащие взрывчатые смеси.....   | 153        |
| 6.4.4. Пластичные ВВ .....   | 155        |
| 6.5. Аммонийно-селитренные ВВ .....  | 159        |
| 6.5.1. Общая характеристика аммонийно-селитренных ВВ.....  | 159        |
| 6.5.2. Характеристика АСВВ .....   | 160        |
| Вопросы для самоконтроля .....   | 163        |
| Библиографический список .....   | 164        |
| <b>Глава 7. Снаряжение боеприпасов.....</b>  | <b>165</b> |
| 7.1. Общая характеристика разрывных зарядов .....  | 165        |
| 7.1.1. Требования, предъявляемые к разрывным зарядам.....  | 166        |
| 7.1.2. Причины преждевременных взрывов разрывных зарядов.....  | 170        |
| 7.2. Способы снаряжения боеприпасов .....  | 174        |
| 7.2.1. Общая характеристика способов снаряжения .....  | 174        |
| 7.2.2. Снаряжение боеприпасов заливкой.....  | 176        |
| 7.2.3. Снаряжение боеприпасов прессованием .....   | 180        |
| 7.2.4. Снаряжение боеприпасов шнекованием .....  | 186        |
| 7.3. Технологический процесс снаряжения боеприпасов .....  | 191        |
| 7.4. Контроль качества разрывных зарядов .....   | 195        |
| Вопросы для самоконтроля .....   | 197        |
| Библиографический список .....   | 198        |
| <b>Глава 8. Расчет энергетических характеристик взрывчатых веществ .....</b>   | <b>199</b> |
| 8.1. Энергетические характеристики взрывчатых веществ .....  | 199        |
| 8.2. Метод расчета энергетических характеристик ВВ.....  | 210        |
| 8.3. Экспресс-методы оценки энергетических характеристик конденсированных ВВ .....   | 220        |
| 8.4. Примеры расчета энергетических характеристик ВВ различных групп .....   | 223        |
| 8.4.1. Расчет энергетических характеристик бризантного ВВ 3-й группы .....   | 223        |
| 8.4.2. Расчет энергетических характеристик бризантного ВВ 1-й группы .....   | 231        |
| 8.4.3. Расчет энергетических характеристик метательного ВВ .....   | 235        |
| Вопросы для самоконтроля .....   | 247        |
| Библиографический список .....   | 248        |
| <b>Глава 9. Современные системы взрывания, взрывчатые материалы и технологии взрывания, используемые в промышленности при ведении взрывных работ .....</b> | <b>249</b> |
| 9.1. Основные типы взрывчатых материалов, применяемых при проведении взрывных работ.....   | 249        |
| 9.2. Индивидуальные ВВ для КД .....  | 254        |



|  |     |
|--|-----|
| 9.3. Системы инициирования ВВ.....   | 256 |
| 9.3.1. Неэлектрическая система взрывания .....   | 256 |
| 9.3.2. Неэлектрическая система взрывания на основе ударно-волновой трубки .....                              | 258 |
| 9.4. Электродетонаторы .....   | 261 |
| 9.4.1. Электродетонаторы с электронным замедлением .....   | 263 |
| 9.4.2. Детонатор промежуточный малогабаритный.....   | 265 |
| 9.4.3. Заряды мягкого взрывания.....   | 267 |
| 9.5. Особенности применения средств взрывания.....   | 267 |
| 9.5.1. Короткозамедленное взрывание (КЗВ) .....  | 267 |
| 9.5.2. Интерференция.....  | 268 |
| 9.5.3. Создание новых поверхностей.....  | 269 |
| 9.5.4. Соударение .....  | 270 |
| 9.5.5. Электрическое взрывание .....   | 271 |
| 9.5.6. Взрывание зарядов с применением детонирующих шнуров и пиротехнических реле .....                      | 273 |
| 9.5.7. Неэлектрическое и комбинированное взрывание .....   | 276 |
| 9.5.8. Неэлектрическое взрывание в шахтах, опасных по взрыву газа и пыли .....                               | 281 |
| 9.5.9. Взрывание с применением электронных систем.....   | 284 |
| 9.6. Перспективные разработки средств взрывания.....   | 290 |
| 9.6.1. Электробезопасная лазерная световолоконная система инициирования ВВ.....                              | 290 |
| 9.6.2. Нешумящие пиротехнические системы замедления и разводки детонации .....                               | 292 |
| 9.6.3. Системы инициирования с УВТ и цифровым замедлением .....  | 294 |
| Вопросы для самоконтроля .....   | 296 |
| Библиографический список .....   | 298 |
| Приложения .....   | 299 |
| <i>Приложение 1.</i> Расчет максимальных напряжений в разрывном заряде.....                                  | 299 |
| <i>Приложение 2.</i> Теплота образования некоторых взрывчатых веществ и компонентов порохов.....             | 310 |
| <i>Приложение 3.</i> Таблица перевода величин из технической системы единиц (дм, кгс, кал) в систему СИ..... | 311 |
| <i>Приложение 4.</i> Варианты домашнего задания .....  | 312 |
| <i>Приложение 5.</i> Массовое взрывание на земной поверхности с применением традиционных средств .....       | 314 |
| <i>Приложение 6.</i> Классификация взрывчатых материалов по группам совместимости.....                       | 322 |
| Библиографический список.....  | 324 |