

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Филиал Федерального государственного казенного военного
образовательного учреждения высшего образования

«ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИМЕНИ ГЕНЕРАЛА АРМИИ А. В. ХРУАЁВА» (г. Пенза)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ,
ПОРОХОВ И РАКЕТНЫХ
ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Филиал федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования
«Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулёва»(г. Пенза)

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОРОХОВ
И РАКЕТНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ**

Рекомендуется федеральным государственным казенным военным образовательным учреждением высшего образования – военным учебно-научным центром Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных сил Российской Федерации» в качестве учебника для курсантов Филиала федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации (г. Пенза), обучающихся по всем специальностям

*Регистрационный номер рецензии 168 Департамента образования
Министерства обороны Российской Федерации*

Пенза
Филиал ВА МТО, Пензенский
артиллерийский инженерный институт
2016

УДК623.45
ББК68.902
Ф50

Авторы:

- А. В. Косточко*, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации и Республики Татарстан;
А. Б. Терентьев, кандидат технических наук, доцент;
Н. М. Боклашов, кандидат технических наук, профессор;
О. В. Журавлёв, доцент;
А. С. Смирнов, доктор технических наук;
А. И. Цаплюк;
И. И. Грачёв, кандидат технических наук, доцент;
Н. С. Сонин, кандидат технических наук;
Ю. Б. Шпагин, кандидат технических наук, доцент;
В. В. Баранов, кандидат технических наук

Рецензенты:

А. М. Коробков, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология изделий из пиротехнических композиционных материалов» Казанского национально-исследовательского технологического университета;

Д. Р. Давыдов, кандидат технических наук, начальник 127 Центра экспертизы и испытаний средств поражения Главного ракетно-артиллерийского управления Министерства обороны Российской Федерации (ФКУ «Войсковая часть 63341»)

Физико-химические свойства взрывчатых веществ, порохов и ракетных твердых топлив: учеб. для вузов / *А. В. Косточко* [и др.]. – Пенза: Филиал ВА МТО, Пенз. арт. инж. ин-т, 2016. – 426 с.: ил.

Учебник содержит сведения о физико-химических свойствах взрывчатых веществ, порохов и ракетных твердых топлив. Даны теоретические основы закономерностей протекания физико-химических процессов при горении и взрыве. Представлены материалы, связанные с производством и эксплуатацией взрывчатых веществ, порохов и ракетных твердых топлив.

Учебник написан по материалам, опубликованным в открытой печати, и предназначен для курсантов, обучающихся по всем специальностям.

553302

УДК 623.45
ББК 68.902

© Филиал Военной академии материально-технического обеспечения (г. Пенза), Пензенский артиллерийский инженерный институт, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Перечень сокращений</i>	7
Введение	8
Физико-химические свойства порохов и ракетных твердых топлив	10
1.1. Общая характеристика порохов и ракетных твердых топлив.....	10
1.1.1. Требования к порохам и ракетным твердым топливам.....	10
1.1.2. Классификация, назначение и составы порохов и ракетных твердых топлив.....	11
1.1.3. Форма и размеры пороховых элементов.....	25
1.1.4. Условные обозначения порохов и ракетных твердых топлив.....	26
1.1.5. Перспективы развития порохов и ракетных твердых топлив.....	29
1.2. Горение порохов и ракетных твердых топлив.....	37
1.2.1. Основные формы химического превращения порохов и ракетных твердых топлив.....	37
1.2.2. Горение порохов в ракетных двигателях и ствольных системах.....	38
1.2.3. Механизм горения порохов и ракетных твердых топлив.....	41
1.2.4. Скорость горения порохов и ракетных твердых топлив.....	44
1.2.5. Методы регулирования скорости горения. Катализаторы и ингибиторы.....	48
1.2.6. Неустойчивое горение порохов и ракетных твердых топлив.....	51
1.2.7. Энергетические и баллистические характеристики порохов ракетных твердых топлив.....	56
1.2.8. Термодинамическая компоновка составов.....	60
1.3. Технология производства порохов и ракетных твердых топлив.....	63
1.3.1. Технология производства дымных порохов.....	63
1.3.2. Технология производства пиротехнических составов.....	72
1.3.3. Технология производства смесевых ракетных твердых топлив.....	80
1.3.4. Свойства и технология производства нитратов целлюлозы.....	89
1.3.5. Пластификация нитратов целлюлозы.....	103
1.3.6. Реологические свойства пороховых масс.....	109

1.3.7. Технология производства пироксилиновых порохов.....	112
1.3.8. Технология производства баллиститных порохов.....	124
1.3.9. Особенности технологии производства сферических порохов.....	132
1.3.10. Технология производства кордитных порохов.....	133
1.4. Устройство метательных зарядов.....	134
1.4.1. Классификация метательных зарядов и требования к ним.....	134
1.4.2. Принципы устройства зарядов ствольного оружия.....	136
1.4.3. Устройство типовых зарядов к артиллерийским системам.....	138
1.4.4. Маркировка метательных зарядов.....	142
<i>Контрольные вопросы.....</i>	145
Физико-химические свойства взрывчатых веществ.....	147
2.1. Общая характеристика взрывчатых веществ и элементы теории взрыва.....	147
2.1.1. Условия протекания реакций в форме горения и взрыва...	147
2.1.2. Общие сведения о взрывчатых веществах.....	150
2.1.3. Классификация взрывчатых веществ и требования к ним....	156
2.1.4. Тепловой взрыв.....	160
2.1.5. Автокаталитическое ускорение и автокаталитический тепловой взрыв.....	165
2.1.6. Цепной взрыв.....	167
2.1.7. Термохимия взрывчатых веществ.....	171
2.1.8. Перспективы разработок взрывчатых составов.....	181
2.2. Основы теории детонации.....	183
2.2.1. Ударные волны.....	183
2.2.2. Детонация. Механизм возбуждения и развития детонации.....	187
2.2.3. Чувствительность взрывчатых веществ к тепловому и механическому воздействию.....	192
2.2.4. Критический диаметр и скорость детонации.....	200
2.3. Характеристика действия взрыва.....	203
2.3.1. Общая характеристика поля взрыва.....	203
2.3.2. Виды действия взрыва. Тротильный эквивалент.....	206
2.3.3. Разрушающее действие ударных волн в различных средах.....	214
2.3.4. Передача детонации на расстояние. Безопасное расстояние.....	227
2.4. Технология производства бризантных взрывчатых веществ.....	232
2.4.1. Технология производства тротила.....	232

2.4.2. Технология производства тетрила.....	239
2.4.3. Технология производства тетранитрата пентаэритрита...	244
2.4.4. Технология производства гексогена и октогена.....	249
2.4.5. Технология производства бризантных взрывчатых смесей	258
2.5. Технология производства иницирующих взрывчатых веществ	266
2.5.1. Технология производства гремучей ртути.....	267
2.5.2. Технология производства азиды свинца.....	275
2.5.3. Технология производства тринитрорезорцината свинца...	281
2.5.4. Технология производства тетразена.....	283
2.5.5. Состав и назначение иницирующих смесей.....	285
2.6. Технология снаряжения боеприпасов.....	288
2.6.1. Разрывные заряды.....	288
2.6.2. Назначение и способы снаряжения боеприпасов.....	291
2.6.3. Снаряжение боеприпасов заливкой.....	296
2.6.4. Снаряжение боеприпасов прессованием.....	304
2.6.5. Снаряжение боеприпасов шнекованием.....	311
2.7. Средства иницирования.....	319
2.7.1. Классификация средств иницирования и требований к ним	320
2.7.2. Средства воспламенения.....	323
2.7.3. Средства взрывания.....	333
2.7.4. Средства передачи иницирующих импульсов.....	339
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>345</i>

Эксплуатация взрывчатых веществ, порохов и ракетных твердых топлив.....	347
3.1. Эксплуатация порохов и ракетных твердых топлив.....	347
3.1.1. Эксплуатационные свойства порохов и ракетных твердых топлив.....	347
3.1.2. Термическое разложение и химическая стойкость порохов и ракетных твердых топлив. Механизм распада.....	358
3.1.3. Стабилизаторы химической стойкости порохов и ракетных твердых топлив. Термостабильность зарядов...	363
3.1.4. Механические свойства порохов и ракетных твердых топлив.....	364
3.1.5. Прогнозирование гарантийных сроков хранения порохов и ракетных твердых топлив.....	367
3.1.6. Организация хранения порохов и метательных зарядов.....	371
3.1.7. Контроль технического состояния боеприпасов, порохов и метательных зарядов.....	371
3.1.8. Категорирование порохов и метательных зарядов.....	396
3.1.9. Обращение с боеприпасами на огневой позиции.....	397
3.1.10. Утилизация метательных зарядов.....	401
3.1.11. Правила техники безопасности при обращении с порохами и ракетными твердыми топливами.....	404
3.2. Эксплуатация взрывчатых веществ.....	406

3.2.1. Характеристика взрыво- и пожароопасности боеприпасов.....	406
3.2.2. Организационные принципы безопасности при работах с боеприпасами.....	408
3.2.3. Нормы загрузки одного места хранения боеприпасов по массе взрывчатого вещества.....	410
3.2.4. Установление безопасных интервалов (расстояний) между объектами хранения и зданиями цехов.....	411
3.2.5. Основы утилизации взрывчатых веществ.....	414
<i>Контрольные вопросы.....</i>	421
Заключение.....	423
<i>Библиографический список основных источников.....</i>	424

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность боевого применения артиллерийских и ракетных комплексов существенно зависит от применяемых в них химических источников энергии, к которым относятся пороха, ракетные твердые топлива и взрывчатые вещества (ВВ).

Достоинством данных источников энергии является их автономность, постоянная готовность к боевому применению, выделение большого количества тепловой энергии (до 5000 кДж/кг) при горении и взрыве, образование в больших количествах (до 1000 л/кг) газообразного рабочего тела с температурой 2500...4500 К. Превращение потенциальной энергии порохов, ракетных твердых топлив и ВВ в тепловую энергию газообразного рабочего тела происходит в результате протекания химических окислительных реакций без доступа кислорода из окружающей среды, то есть за счет собственного окислителя.

В основе физико-химического превращения порохов и ракетных твердых топлив лежат процессы горения, а в основе физико-химического превращения ВВ – процессы взрыва. Отличие между горением и взрывом заключается в механизме передачи энергии и в скорости процесса. При горении передача энергии по массе пороха происходит за счет теплопроводности, а при взрыве – за счет энергии ударной волны, распространяющейся по взрывчатому веществу. Скорость распространения взрыва составляет 7000...9000 м/с, а скорость горения порохов при стрельбе из ствольного оружия составляет 0,2...0,4 м/с.

Пороха и ракетные твердые топлива обеспечивают доставку средств поражения к цели за счет совершения пороховыми газами работы расширения и превращения тепловой энергии газов в кинетическую энергию движения снаряда и ракеты. Дальность стрельбы снарядами и дальность полета ракеты зависят от энергоемкости порохов и ракетных твердых топлив, а также от массы и конструктивных особенностей метательных и ракетных зарядов.

Эффективность действия артиллерийских снарядов и боевых частей ракет по цели определяется природой ВВ, массой и конструкцией разрывного заряда.

С момента изготовления до момента боевого применения пороха и ВВ в течение десятков лет могут находиться в режиме хранения и подвергаться воздействию климатических факторов: температуры и влажности. При этом энергетические, баллистические и физико-химические характеристики порохов и ВВ могут изменяться в результате протекания физико-химических процессов «старения», что приводит к снижению эффективности боевого применения артиллерийских и ракетных систем.

Пороха и ВВ, утратившие свои боевые свойства, подвергаются утилизации для последующего использования в народном хозяйстве в качестве сырья или автономных источников энергии.

На Руси впервые был использован дымный порох в огнестрельном оружии в 1382 г. при обороне Москвы под руководством Великого князя Дмитрия Донского.

Проблемами развития порохового дела в России занимались ученые с мировым именем. М.В. Ломоносов впервые сделал важнейшие теоретические вы-

воды по составу дымного пороха. С 1790 г. на русских пороховых заводах стал изготавливаться дымный порох, содержащий 75% нитрата калия, 15% древесного угля и 10% серы. Этот состав не претерпел изменения до сих пор.

Новый качественный скачок в развитии артиллерии начался с создания бездымных порохов на основе нитратов целлюлозы. В 1884 г. французский инженер-химик П. Вьель изобрел пироксилиновый порох, а в 1888 г. промышленник и изобретатель А. Нобель разработал нитроглицериновый баллиститный порох.

Д.И. Менделеев за четыре года (1890-1894) внес большой вклад в совершенствование бездымных порохов. Он впервые получил особый вид нитратов целлюлозы – пироколлодий, разработал пироколлодийный порох и технологию обезвреживания пироксилина спиртом. В 1891 г. Д.И. Менделеев писал: «Бездымный порох составляет новое звено между могуществом стран и научным их развитием. По этой причине, принадлежа к числу ратников русской науки, я на склоне лет и сил не осмелился отказаться от разбора задач бездымного пороха».

В XIX в. был синтезирован ряд химических соединений, обладающих взрывчатыми свойствами, в том числе пикриновая кислота, нитроглицерин, тротил, тетрил, ТЭН и др. Однако их использование в качестве бризантных ВВ стало возможным только после открытия русским инженером Д. И. Андриевским (1865) и шведским изобретателем А. Нобелем (1867) гремучертутного запала (капсюля-детонатора). До этого в России по предложению Н. Н. Зинина и В. Ф. Петрушевского (1854) нитроглицерин использовался при подрывах взамен дымного пороха в режиме взрывного горения. Сама гремучая ртуть была получена ещё в конце XVII в. и повторно английским химиком Э. Ховардом в 1799 г., но способность её детонировать тогда не была известна. После открытия явления детонации бризантные ВВ получили широкое применение в горном и военном деле.

Среди промышленных ВВ первоначально по патентам А. Нобеля наибольшее распространение получили гурдинамиты, затем пластичные динамиты, порошкообразные нитроглицериновые смеси ВВ. Аммиачно-селитренные ВВ были запатентованы ещё в 1867 г. И. Норбином и И. Ольсенем (Швеция), но их практическое использование в качестве промышленных ВВ и для снаряжения боеприпасов началось лишь в годы Первой мировой войны (1914-1918). В период Первой мировой войны тротил занял первое место по применению среди других ВВ.

Развитие науки и промышленности привело к появлению в XX в. новых, более мощных, видов ВВ, таких как гексоген, октоген и др.

С 1958 г. подготовка военных инженеров-технологов по производству и эксплуатации порохов и ВВ ведётся на кафедре порохов и ВВ Филиала Военной академии материально-технического обеспечения (г. Пенза), Пензенского артиллерийского инженерного института.

Цель данного учебника – обеспечить подготовку в военных вузах специалистов в области производства и эксплуатации боеприпасов необходимым информационным материалом, обобщенным по публикациям в открытой печати.