

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

М. А. Илюшин
Г. Г. Савенков
А. С. Мазур



ЛАНЬ

E.LANBOOK.COM

М. А. ИЛЮШИН,
Г. Г. САВЕНКОВ,
А. С. МАЗУР

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Издание третье, стереотипное

РЕКОМЕНДОВАНО

*ФУМО по укрупненной группе специальностей
и направлений подготовки «Химические технологии»
в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Химическая технология энергонасыщенных
материалов и изделий»*



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
МОСКВА · КРАСНОДАР
2021

УДК 662.2
ББК 35.63я73

И 43 Илюшин М. А. Промышленные взрывчатые вещества : учебное пособие для вузов / М. А. Илюшин, Г. Г. Савенков, А. С. Мазур. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 200 с. : ил. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-8114-7362-5

Рассмотрен комплекс вопросов, связанных с теорией горения и взрыва, химией и технологией производства взрывчатых веществ, производимых промышленностью. Приведены данные о современных промышленных взрывчатых веществах и оборудовании, используемом для их производства. Учебное пособие включает в себя информацию, подчерпнутую из литературных источников научно-го и справочного характера, патентной литературы.

Учебное пособие рекомендуется студентам технических вузов и университетов, обучающимся по направлению «Химическая технология», специальности «Химия и технология энерго-насыщенных материалов и изделий», соответствует рабочей программе курса «Промышленные взрывчатые вещества». Может быть полезно аспирантам, научным сотрудникам и инженерам, специализирующимся в области создания и применения промышленных взрывчатых веществ.

УДК 662.2
ББК 35.63я73

Рецензенты:

М. В. СИЛЬНИКОВ — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии РФ, премии Правительства РФ в области науки и техники, премии Президента РФ в области образования;

А. А. ГИДАСЛОВ — доктор химических наук, профессор кафедры химии и технологии органических соединений азота Самарского государственного технического университета;

Г. П. ПАРАМОНОВ — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой взрывного дела Санкт-Петербургского горного университета.

Обложка
Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2021
© Коллектив авторов, 2021
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Курс дисциплины «Промышленные взрывчатые вещества» принадлежит к числу специальных предметов. Содержание дисциплины является важной составляющей разделов, определяющих компетенции по специальности «Химия и технология энергонасыщенных материалов и изделий». Курс ставит своей целью ознакомление студентов с суммой теоретических знаний и практических приемов в современной химии и технологии производства промышленных взрывчатых веществ (ПВВ), оценку степени потенциальной опасности ВВ как энергонасыщенных материалов и технологических процессов их производства.

Содержание курса определено учебным планом и программой дисциплины с учетом знаний, приобретенных студентами при изучении общенаучных, общинженерных и специальных дисциплин. В настоящем курсе дано подробное описание свойств тех классов энергоемких соединений, к которым принадлежат производимые промышленные взрывчатые вещества.

В содержательной части данного учебного пособия обобщены сведения общего и специального технического характера из теории горения и взрыва (большое внимание уделено теории чувствительности ВВ к различным внешним воздействиям), свойства промышленных взрывчатых веществ, типовые технологические процессы их изготовления, экспериментальные методы определения свойств ВВ и в большей степени ПВВ, а также изложены основные мероприятия по обеспечению технологической безопасности, улучшению условий труда и охраны окружающей среды. Приведены также краткие сведения, касающиеся взрывчатых веществ военного назначения.

Ссылки на приводимые в литературе технологические процессы производства существующих и перспективных промышленных взрывчатых веществ помогут студентам в будущей самостоятельной деятельности разрабатывать безопасные способы ведения процессов, в целом уметь оценивать технический уровень и степень технологической безопасности производства.

Учебное пособие содержит сведения, подчерпнутые из современных открытых литературных источников справочного характера, монографий, научных журналов («Горный журнал» «Химическая физика», «Физика горения и взрыва», «Взрывное дело»), учебных посо-

бий и патентов, а также собственные оригинальные результаты работ авторов.

Настоящее пособие позволит студентам, проходящим обучение по специальности «Химия и технология энергонасыщенных материалов и изделий», использовать полученные знания в курсовом и дипломном проектировании, при проведении учебных и научно-исследовательских работ. Выражаем надежду, что сведения, приводимые в настоящем пособии, помогут выпускникам в последующей профессиональной деятельности по специальности.

Авторы, естественно, не претендуют на всю полноту рассматриваемых вопросов и существующей проблематики изложенного курса, поэтому с благодарностью примут все замечания и пожелания по данному учебному пособию.

ГЛАВА 1

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

1.1. Понятия о горении газов и взрывчатых веществ

Горение, взрыв и детонация являются формами быстрого химического (взрывчатого) превращения (ВП) энергонасыщенных материалов (ЭНМ), к которым относятся и промышленные взрывчатые вещества (ПВВ). Эти формы ВП отличаются по характеру и скорости распространения фронта реакции (поверхность, разделяющая невозмущенное ВВ от частиц вещества, вступивших в реакцию). Заметим также, что в научной литературе существует такое понятие, как «*волны горения*», под которыми понимаются дефлаграционные волны горения, т. е. волны реакции, распространяющиеся с существенно дозвуковыми скоростями, взрывные волны и волны детонационные. Последние распространяются со сверхзвуковыми скоростями.

Для реализации быстрых химических (взрывчатых) превращений необходимы три условия: *экзотермичность реакции, газовыделение и большая скорость*. Отметим, что второй фактор (газовыделение) не является непременным условием взрывчатого превращения.

Основные положения теории горения газов и конденсированных веществ (КВ) были сформулированы (из отечественных ученых) Н. Н. Семеновым, Я. Б. Зельдовичем и Д. А. Франк-Каменецким (горение газов) и Я. Б. Зельдовичем (горение КВ) в конце 30-х — начале 40-х гг. прошлого века.

Горение — самораспространяющийся процесс экзотермического химического превращения вещества (материала, топлива, горючего), происходящий в сравнительно узкой зоне реакции. Очень часто горение сопровождается свечением продуктов сгорания и образованием пламени. Под пламенем понимают газообразную среду, в ряде случаев включающую диспергированные конденсированные продукты, в которой и происходят основные физико-химические превращения горящего вещества. Для газообразных систем весь процесс происходит в пламени, поэтому часто для них понятия «горение» и «пламя» используют как синонимы.

Реакционная зона относительно медленно (по отношению к взрыву и детонации) и в общем случае с переменной скоростью (от нескольких долей сантиметров в секунду до нескольких метров в секунду) перемещается по энергонасыщенному материалу от слоя к слою в результате прогрева впередилежащих слоев.

Скорость реакции в реакционной зоне определяется в виде

$$W = \frac{d\eta}{dt}, \quad (1.1)$$

где $\eta = m_1/m_0$ — степень превращения или глубина реакции; m_0 — начальная масса вещества; m_1 — масса образовавшегося конечного вещества. Скорость реакции W в сильнейшей степени зависит от температуры. Зона вблизи температуры горения T_f , где скорость реакции велика и где невозможно пренебречь скоростью тепловыделения Q_f , называется зоной реакции или зоной тепловыделения (рис. 1.1). Остальная часть области горения с более низкими температурами называется зоной прогрева (или прогретым слоем).

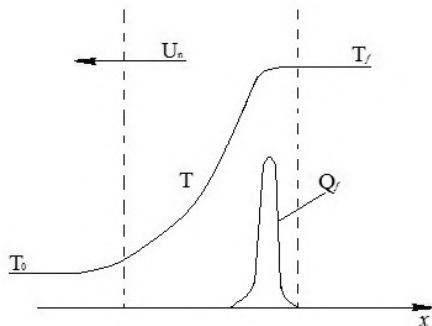


Рис. 1.1

Профили температуры и скорости тепловыделения в зоне реакции (T_0 — температура исходного вещества, U_n — скорость фронта горения)

При рассмотрении процессов горения в газах часто используется понятие концентрации горючей смеси — числа молекул в единице объема. В этом случае скорость химической реакции по одному из компонентов определяется следующим образом:

$$W_i = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dN_i}{dt}, \quad W_j = \frac{1}{V} \cdot \frac{dN_j}{dt},$$

где N_i и N_j — число молекул (атомов) i -го исходного вещества и j -го продукта реакции в объеме V в момент времени t .

Процесс горения является сложным и состоит из множества связанных между собой отдельных процессов и явлений как физических, так и химических. В общем случае распространение процесса горения определяется теплопроводностью или диффузионным теплообменом с нагретыми продуктами горения или излучения из зоны пламени. При горении удельный объем продуктов горения, как правило, больше удельного объема исходного взрывчатого вещества.

Хотя понятие о стационарности процесса горения является приближенным (в общем смысле распространение процесса горения с постоянной скоростью невозможно), тем не менее рассмотрим физическую картину стационарного распространения процесса, которая состоит в следующем. Исходное вещество (газ, жидкость или твердое тело) находится при начальной температуре T_0 в существенно неравновесном термодинамическом состоянии, и в нем протекают медленные химические реакции, скорость которых при данной температуре T_0 очень мала (характерное время реакции при T_0 очень велико, например месяцы или годы). Однако если образовался профиль температуры, показанный на рисунке 1.1, то там, где температура высока (адиабатическая температура горения обычно лежит в диапазоне 1000–3000 К), химическое превращение протекает за очень короткое время (милли- или даже микросекунды). В зоне интенсивного химического превращения, расположенной в области высоких температур (рис. 1.1), выделяется тепло, которое благодаря процессу теплопроводности передается в рядом лежащие слои холодного вещества, нагревая их и ускоряя тем самым реакцию. В результате в среде происходит распространение *волны* экзотермической реакции. Кроме теплопроводности, в волне горения происходит еще и диффузия компонентов на расстояниях порядка толщины зоны горения (в случае горения газов), а также разные другие процессы при горении конденсированных веществ. Именно для такого механизма передачи тепла при распространении волны горения необходимо выделение значительного количества тепла (экзотермичность реакции), и скорость химического превращения должна в сильнейшей степени зависеть от температуры.

Следует отметить, что процессы молекулярной диффузии можно не учитывать в гомогенной конденсированной среде и учитывать

в гетерогенной конденсированной среде, поскольку в последнем случае они происходят на расстояниях порядка размера внутренних неоднородностей среды, чем и определяют эффективную скорость протекания реакции. В газовых средах коэффициенты диффузии и коэффициент температуропроводности обычно соизмеримы, и молекулярную диффузию в волне горения необходимо учитывать.

В теории горения рассматривают две скорости: нормальную и массовую. Нормальная скорость горения U_n — скорость перемещения фронта реакции относительно несгоревшего вещества, отсчитываемая в направлении нормали к поверхности фронта. Массовая скорость горения — количество вещества, реагирующего в процессе горения за единицу времени на единицу площади:

$$U_m = \frac{1}{F} \cdot \frac{dm}{dt} = \frac{\dot{m}}{F},$$

где m — масса вещества, вступившего в реакцию; F — площадь поверхности волны горения. Между нормальной и массовой скоростями горения существует следующая функциональная связь:

$$U_m = \rho U_n,$$

здесь ρ — плотность вещества (горючей смеси).

Процессы горения энергонасыщенных материалов чрезвычайно сложны и в зависимости от рода материала отличаются друг от друга, т. е. горение газообразных веществ, пылевоздушных смесей и конденсированных взрывчатых веществ и порохов имеет свои особенности. Внутри этих групп также имеются свои особенности. Так, горение пиротехнических составов отличается от горения вторичных ВВ и порохов, горение которых хотя и очень похоже, но имеет отличия.

По степени гомогенности начальной системы различают несколько видов горения: гетерогенное, гомогенное и диффузионное. Гетерогенная система — неоднородная термодинамическая система, состоящая из различных по физическим свойствам или химическому составу частей (фаз). Смежные фазы гетерогенной системы отделены друг от друга физическими поверхностями раздела, на которых скачкообразно меняется одно или несколько свойств системы (состав, плотность, кристаллическая структура и т. д.). Поэтому гетерогенное горение происходит на поверхности раздела фаз. Одно из реагирующих веществ находится в конденсированной фазе (к-фазе), другое (обычно кислород) доставляется диффузией из газовой фазы. К гете-

рогенному горению относится горение твердого (уголь) или жидкого топлива (мазут) за счет кислорода воздуха.

Гомогенная система — термодинамическая система, свойства которой (состав, плотность, давление и т. д.) изменяются в пространстве непрерывно. Гомогенными могут быть газовые смеси, жидкости и твердые вещества. Различают физически однородные и неоднородные гомогенные системы. У однородных гомогенных систем свойства в различных частях системы одинаковы, у неоднородных — различны. Однако благодаря непрерывному изменению свойств в неоднородных гомогенных системах нет (в отличие от гетерогенных) частей, ограниченных поверхностями раздела, на которых хотя бы одно свойство менялось скачкообразно. Горение газовых (или жидких) смесей или индивидуальных ВВ — это горение гомогенное.

Диффузионное горение — горение веществ, находящихся в газовой фазе, но предварительно не перемешанных. И процесс смешения происходит одновременно с процессом горения. Примером диффузионного горения является горение распыленного топлива, его испарение и смешение паров с воздухом, сопровождающее их сгоранием (двигатель Дизеля, реактивные двигатели).

По способности процесса горения к пространственному распространению различают следующие виды горения:

- тепловое, когда процесс распространяется посредством передачи тела;

- автокаталитическое или цепное, когда процесс распространяется посредством передачи активных центров (атомов, радикалов) или веществ. Химические реакции, происходящие в процессе горения, имеют очень сложный механизм, который включает образование промежуточных продуктов, свободных радикалов, комплексов, а также такие процессы, как адсорбция, десорбция и др. В литературе часто используются выражения для скоростей химических реакций W , отличающихся от (1.1), в которых рассматриваются только концентрации реагентов, первоначально присутствующих в системе:

$$W = K[A]^n[B]^m, \quad (1.2)$$

где K — константа скорости химической реакции, зависящая от температуры по уравнению Аррениуса, которое записывается в виде

$K = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$; k_0 — предэкспонента, слабо зависящая от температуры и определяющаяся частотой столкновений молекул реагентов

между собой; E — энергия активации; R — газовая постоянная; $[A]$ и $[B]$ — начальные концентрации реагентов, например топлива и окислителя; $(m + n)$ — порядок химической реакции, который в общем случае может быть дробным.

В общем случае для теоретического описания механизмов горения необходимо рассматривать конкретную кинетику химических реакций, что существенно усложняет рассмотрение процесса.

Тепловое горение связано с накоплением в системе тепла, для чего необходимо выполнение двух условий: во-первых, система (ЭНМ, смесь газов и т. д.) должна содержать определенный запас энергии, выделяющийся в ходе реакции в виде тепла, и, во-вторых, скорость реакции должна увеличиваться с ростом температуры. Второму условию подчиняется большинство реакций между устойчивыми молекулами. Про такие реакции можно сказать, что при низких температурах они практически не идут, а при высоких идут быстро. Если выполнено первое условие, т. е. реакции экзотермичны, то само тепло и является той причиной, которая может вызвать ускорение процесса и привести к взрыву.

Цепное горение идет через образование активных частиц. При этом скорость реакции зависит от концентрации активных центров, образующихся во время реагирования. Их количество может увеличиваться по двум причинам. Во-первых, активные частицы могут образовываться в результате теплового движения, независимо от цепной реакции, поскольку молекулы исходного вещества при ударе друг о друга могут диссоциировать, хотя скорость этого процесса мала. Во-вторых, может быть разветвление цепи, т. е. элементарный химический акт с участием одного активного атома или радикала, который приводит к образованию двух атомов (или радикалов). Скорость образования активных частиц по этому пути пропорциональна их концентрации. Наличие такого источника новых частиц, пропорционального концентрации имеющихся активных частиц, весьма существенно и определяет основные черты цепной кинетики.

Кроме процессов, порождающих активные частицы, всегда есть процессы, которые приводят к их гибели. Если активный центр выводится из реакции при столкновении со стабильной молекулой или в результате диффузии, то скорость этого процесса также пропорциональна концентрации активных центров. Таким образом, мы можем

записать выражение для изменения концентрации активных центров во времени:

$$\frac{da_{ac}}{dt} = W_0 + fa_{ac} - ga_{ac}, \quad (1.3)$$

где W_0 — скорость зарождения активных центров, f, g — константы скоростей процессов разветвления и обрыва цепей. Обозначив $\varphi = f - g$, получим модификацию уравнения (1.3) в виде

$$\frac{da_{ac}}{dt} = W_0 + \varphi a_{ac}. \quad (1.4)$$

Изменение внешних условий (давления и температуры) вызывает изменение обеих величин f, g , причем f , т. е. константа, характеризующая процесс, который приводит к образованию новых активных центров через разветвление цепей, как правило, в большей степени зависит от температуры, чем g — константа реакции обрыва цепей. Это объясняется тем, что для гибели активного центра не нужна энергия активации (такие реакции идут без разрыва связей). Поэтому разность $\varphi = f - g$ с повышением температуры меняет знак: при низкой температуре она отрицательна, при высокой — положительна.

Решение дифференциального уравнения (1.4) при естественном начальном условии $a_{ac} = 0$ при $t = 0$ записывается в виде

$$a_{ac} = \frac{W_0}{\varphi} (e^{\varphi t} - 1). \quad (1.5)$$

Из (1.5) следует, что при $\varphi = 0$ цепное горение (цепной взрыв) невозможно. Температура, при которой выполняется это условие, является критической температурой цепного горения.

Если $\varphi > 0$, т. е. если разветвление цепей происходит быстрее, чем их обрыв, то n экспоненциально растет со временем, так же как и скорость реакции. На первых стадиях реакции, пока происходит накопление активных центров, скорость оказывается все же ниже предела измерений, так как W_0 для взрывных реакций очень мала и мы практически не можем заметить превращения. По истечении некоторого времени (называемого периодом индукции t_i) скорость достигает измеряемых величин и продолжает непрерывно расти. Развитие такой реакции прекращается только тогда, когда израсходуются исходные вещества.

Скорость реакции, т. е. скорость образования конечных продуктов, равна

$$W = \xi f n = \frac{\xi W_0}{\phi} (e^{\phi t} - 1), \quad (1.6)$$

где ξ — целое число порядка единицы, показывающее, сколько молекул конечного продукта образуется в результате вступления в реакцию одного активного центра.

При $t > t_i$ $\exp(\phi t) \gg 1$, тогда можно с достаточной точностью переписать уравнение (1.6) в виде

$$W \cong \frac{\xi W_0}{\phi} \exp(\phi t). \quad (1.7)$$

Следовательно, из (1.7) период индукции равен

$$t_i = \frac{1}{\phi} \ln \left(\frac{W_{\min} \phi}{\xi W_0 f} \right). \quad (1.8)$$

Изменением величины, стоящей под логарифмом, можно пренебречь, тогда

$$t_i \approx \text{const} / \phi. \quad (1.9)$$

Выражения (1.8) и (1.9) являются теоретической основой экспериментального определения периода (времени) индукции.

В заключение данного раздела отметим, что построение теории нестационарного горения газообразных и конденсированных систем в общем случае (с учетом неравновесности и нелокальности процесса) является достаточно сложной проблемой. Несмотря на бурное развитие численных методов решения нестационарных задач неучет неравновесности процесса горения не продвигает и это направление решения задач горения.

1.2. Взрыв и детонация

Взрыв — чрезвычайно быстрый процесс превращения исходного вещества в газообразные продукты, обладающие высокой температурой, и сопровождающийся переходом потенциальной энергии этого вещества в механическую энергию движения или разрушения. Взрыв характеризуется скачком давления на фронте реакции и высокой скоростью ее фронта. Существуют два вида взрыва: *гомогенный* и *самораспространяющийся*. *Гомогенный взрыв* возникает одновременно во всей массе вещества после его одновременного и равномерного прогрева до температуры самовоспламенения.

При *самораспространяющемся взрыве* взрывное превращение, возникшее в каком-либо участке заряда, распространяется по веществу. Частным видом самораспространяющегося взрыва является детонация.

Детонация — самораспространяющийся процесс экзотермического химического превращения вещества, также происходящий в узкой зоне химической реакции (фронте детонации) постоянной ширины (иначе называемый химпик) и распространяющийся по ЭНМ с максимально возможной для данного вещества сверхзвуковой скоростью, равной несколько километров в секунду. Конкретная структура зоны реакции определяется кинетикой превращения метастабильного ВВ в конечные продукты взрыва. За зоной химической реакции с повышенным давлением распространяется зона продуктов детонации (ПД), где сравнительно медленно изменяется давление в изэнтропийной волне расширения.

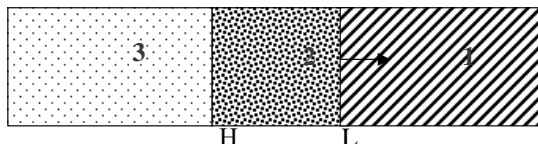
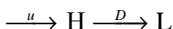


Рис. 1.2

Структура плоской детонационной волны:

1 — исходное ВВ; 2 — зона протекания интенсивных химических реакций (зона реакции); 3 — конечные продукты взрыва (продукты детонации); L-L — фронт ударной волны; H-H — задняя граница зоны первичных химических реакций

Структура детонационной волны в цилиндрическом заряде ВВ показана на рисунке 1.2. Зоны химической реакции и детонации разделены поверхностью Чепмена — Жуге. Таким образом, стационарная зона (зона химической реакции — химпик) граничит с областью нестационарного течения ПД (область волны разложения).

Поверхность, которая разделяет зону химической реакции и продуктов детонации при стационарной детонации, — *поверхность Чепмена — Жуге* (обозначена H-H). Параметры ПД на этой поверхности называются *параметрами детонационной волны* или *параметрами Чепмена — Жуге* (или *параметрами в точке Жуге*). Исходное взрывчатое вещество отделяется от зоны реакции фронтом ударной волны L-L.

Стационарная зона должна двигаться при нормальном режиме детонации относительно ПД со звуковой скоростью, иначе волна разрежения догонит химпик, что приведет к расширению вещества в зоне химической реакции, падению давления и температуры, и процесс распространения детонационной волны станет невозможным. Поэтому возмущения из зоны ПД при стационарном режиме детонации не могут догнать зону химической реакции. В самой же зоне химической реакции скорость возмущений больше скорости ударной волны, что обеспечивает влияние выделяющейся химической энергии на ударную волну. В целом, все детонационные процессы определяются спецификой химических реакций в конкретном ВВ.

В настоящее время широкое распространение получила так называемая гидродинамическая теория детонации Зельдовича — Неймана — Деринга (ЗНД), которая использует следующие предположения.

1. Детонационный фронт плоский, течение в зоне химической реакции одномерное.

2. Конец зоны энерговыведения совпадает с плоскостью Чепмена — Жуге, которая определяет параметры детонации и бризантность (о которой речь пойдет ниже).

Такую детонацию называют идеальной. В соответствии с теорией идеальной детонации скорость детонационной волны при прочих равных условиях определяется в основном величиной химической энергии, выделившейся в зоне реакции. Однако на практике скорость детонации оказывается зависимой от:

- формы заряда ВВ (цилиндрический заряд, плоский заряд в виде слоя или листа) и его размеров (диаметра или толщины);
- наличия оболочки или другого ограничения;
- плотности, структуры и дисперсности заряда;
- агрегатного состояния ВВ и других факторов.

Все это указывает на то, что детонация реальных зарядов ВВ (в наибольшей степени это относится к промышленным ВВ и зарядам, из них изготавливаемым) не является идеальной, т. е.:

- 1) детонационный фронт не является плоским;
- 2) конец зоны энерговыведения не совпадает с плоскостью Чепмена — Жуге.

Строго говоря, термин «*неидеальная детонация*» относится только к детонации зарядов с конечными поперечными размерами.

Детонационный фронт в таких зарядах, как показывают рентгеноимпульсные снимки детонирующего заряда и торцевые развертки свечения детонационного фронта, искривлен. В результате скорость детонации оказывается ниже своего предельного значения, даваемого одномерной теорией ЗНД. Такой результат объясняется тем, что часть энергии, выделяющейся в результате химической реакции, расходуется на боковое расширение вещества.

Самым заметным проявлением неидеальности детонации, которое обнаруживается без всяких измерений, является существование критического диаметра детонации d_{cr} для цилиндрического заряда ВВ (для плоского заряда — критической толщины), т. е. минимального диаметра заряда ВВ, при котором еще возможно распространение самоподдерживающейся детонации. В зарядах, диаметр которых меньше критического $d < d_{cr}$, устойчивое распространение детонации невозможно.

Частным случаем неидеальной детонации является детонация с малой скоростью. Как правило, такая форма детонации реализуется в некоторых жидких ВВ, таких как нитроглицерин и нитроглицоль, а также в достаточно большом ряде порошкообразных взрывчатых веществ.

Поскольку целью настоящего курса является изучение промышленных ВВ, которые по большей части представляют собой взрывчатые смеси физически и химически неоднородных индивидуальных веществ, рассмотрим некоторые особенности химических реакций при детонации гетерогенных взрывчатых смесей, состоящих из окислителя и горючего.

1. Скорости химических реакций в зоне детонации зависят в основном от скорости диффузионного перемешивания продуктов первичного распада. Поэтому те факторы, которые затрудняют диффузионные процессы (повышение плотности заряда, применение грубодисперсных компонентов смеси), замедляют разложение и давление в химическом пике, снижая тем самым скорость детонации смесового гетерогенного ВВ. Чем меньше скорость тепловыделения в зоне детонации, тем больше ширина зоны химической реакции, следовательно, тем больше значение критического диаметра.

2. Под действием давления и температуры во фронте детонационной волны разнородные молекулы горючего и окислителя распадаются и газифицируются не одновременно. В результате возникает

некоторый период задержки развития диффузионных процессов, ответственных за скорость химических реакций в химическом пике, за скорость выделения энергии взрыва. Указанные обстоятельства объясняют причину более низких скоростей детонации некоторых смесевых ВВ по сравнению с расчетными.

3. Поскольку с повышением плотности в единице объема ВВ выделяется больше тепла, то как для однородных химических соединений, так и для смесей горючего и окислителя с повышением плотности заряда увеличиваются скорости химических реакций и тем самым увеличивается скорость детонации. Однако с повышением плотности заряда, как уже было сказано выше, ухудшаются условия диффузионного перемешивания продуктов первичного распада, поэтому существуют критические условия, при которых скорость детонации смесевых ВВ начинает падать, а затем процесс детонации и вовсе прекращается. Оптимальные значения плотности зарядов зависят от дисперсности компонентов.

Сильно сжатые и нагретые продукты детонации, образовавшиеся при взрыве ВВ, совершают механическую работу. Область, в которой при взрыве заряда взрывчатого вещества в той или иной степени проявляется его разрушительное действие, называется *полем взрыва*. Поле взрыва вблизи заряда взрывчатого вещества зависит от его формы и соответствует форме заряда. С увеличением расстояния поле взрыва принимает форму сферы.

Рассмотрим поле взрыва сферического заряда радиусом r_0 при мгновенном протекании детонационного процесса. К моменту завершения детонации в продуктах взрыва устанавливается давление порядка $(10\text{--}15) \cdot 10^3$ МПа. При расширении продуктов детонации в окружающей среде возникает ударная волна (УВ). В зависимости от интенсивности действия продуктов взрыва и УВ рассматриваются три зоны разрушительного действия:

- зона местного действия;
- зона совместного действия продуктов детонации и УВ;
- зона общего или фугасного действия.

Зона местного действия представляет собой сферу радиусом $(1,5\text{--}2,0) r_0$ заряда. В этой зоне фронт УВ почти совпадает с фронтом расширяющейся области продуктов детонации. Давление во фронте УВ достигает $(15\text{--}20)$ МПа. Плотность продуктов детонации пример-

но на два порядка выше, чем плотность воздуха в УВ. По мере удаления от источника взрыва давление в УВ падает $\propto R^3$.

Зона совместного действия продуктов детонации и УВ представляет собой часть сферы с радиусом от $(1,5-2,0)r_0$ до $(5-6)r_0$. Параметры как продуктов детонации, так и УВ достаточно высоки. Разрушения во второй зоне обусловлены действием обоих факторов. При расширении продуктов взрыва скорость их замедляется по мере удаления от центра взрыва. Наконец, они останавливаются и УВ отрывается от продуктов детонации, унося с собой 97% энергии взрыва. По современным представлениям физики взрыва вторая зона относится к местному фугасному действию взрыва.

Зона общего или фугасного действия взрыва занимает пространство, расстояние до точек которого от центра взрыва составляет более $(5-6)r_0$. Разрушительное действие УВ в этой зоне является определяющим.

1.3. Бризантное и фугасное действия взрыва

Импульс взрыва на определенном интервале времени ($J = \int_{t_0}^t S p dt$,

S — площадь диаметрального сечения заряда, p — давление в УВ), являющийся количественной характеристикой превращения энергии ВВ в различные формы механической работы, проявляется по большей части в бризантном и фугасном действии на окружающую среду. Между бризантным и фугасным действием нет резкой грани, прежде всего это формы работы взрыва.

Бризантное действие обусловлено продуктами взрыва высокого давления и плотности и вызывает местное разрушение в результате резкого удара этих продуктов по прилегающей к заряду среде или близкорасположенным объектам. Бризантное действие проявляется в дроблении, пробивании или весьма сильной деформации объектов. Бризантное действие осуществляется лишь вблизи заряда ВВ, где параметры продуктов детонации (ПД) достаточно высоки. Вблизи от заряда процесс расширения продуктов детонации следует закону $p \cdot V^n$, где $n \approx 3$, V — объем заряда. При взрыве сферического заряда $V \propto R^3$ и, следовательно, давление в продуктах взрыва пропорционально R^9 (R — расстояние от центра взрыва). На бризантные формы работы затрачивается незначительная часть энергии взрыва. Считает-

ся, что бризантное действие взрыва в сильной степени зависит от скорости детонации ВВ и в меньшей степени от плотности заряда, а величина работы в формах бризантного действия приблизительно определяется соотношением типа $A_{\text{бриз}} \propto \rho_0 D^2$.

В то же время любая работа, совершаемая взрывом, определяется общей энергией (теплотой) взрыва (более полно — теплота взрывчатого превращения):

$$Q = q\rho V,$$

где q — удельная теплота взрыва в кДж/кг; ρ — плотность заряда ВВ; V — его объем.

Для расчетно-экспериментального определения теплоты взрывчатого превращения применяется закон Гесса.

Отметим, что экспериментально определяемые теплота взрыва и объем газообразных продуктов взрыва промышленных ВВ служат основанием для их практического применения.

Однако теплота взрыва — величина непостоянная и сильно зависит от условий проведения эксперимента (наличия оболочки, степени расширения продуктов взрыва, критического диаметра).

Эксперимент по определению теплоты взрыва фиксирует лишь теплосодержание и состав газов на стадии изэнтропического расширения. Продукты детонации из-за высокой плотности энерговыделения приобретают запас внутренней и кинетической энергии, который расходуется на совершение работы. С точки зрения совершения работы газообразные продукты детонации передают значительную часть потенциальной энергии независимо от способа передачи — за счет ударной волны или за счет меняющегося давления при изэнтропическом расширении. Для детонации характерен наиболее интенсивный ударно-волновой механизм передачи энергии. Не теплота взрыва, а доля энергии, выделяющейся в зоне реакции, является характеристикой процесса детонации, но на сегодняшний день ее невозможно определить экспериментально.

Полная работа, производимая взрывом, составляет за счет потерь только часть общей энергии взрыва Q . КПД взрыва $\eta_{\Sigma} = A_{\Sigma}/Q$ довольно велик и составляет 0,6–0,7, если же говорить о КПД полезной работы, то он может составлять всего несколько процентов.

Фугасное действие взрыва определяет формы работы, которые производятся сильно сжатыми продуктами взрыва (ПВ) и ударной волной, формирующейся в окружающей среде на некотором расстоя-

нии от заряда, и не требуют приложения больших по величине усилий. Действие разлетающихся ПВ называют местным фугасным действием, действие УВ — общим фугасным действием.

Фугасное действие определяется работоспособностью ВВ. Под работоспособностью ВВ понимают полную удельную (на единицу массы) работу взрыва, совершаемую расширяющимися газообразными продуктами детонации при подрыве заряда ВВ. Мерой полной работы заряда ВВ является теплота взрыва Q . Величина полной работы зависит от удельного объема и теплоемкости продуктов взрыва.

Теоретической характеристикой работоспособности ВВ служит потенциальная энергия, под которой понимают наибольшую работу которую могут совершить газообразные ПВ при их бесконечном (до $p \rightarrow 0$ или $V \rightarrow \infty$) адиабатическом расширении:

$$A_{\max} = \frac{f}{k-1} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right),$$

где $f = n_g RT$; n_g — число молей газообразных продуктов на 1 кг; R — газовая постоянная; T_0 — начальная температура ПД; T_1 — конечная температура ПД после совершения работы $k = c_p / c_v$ — показатель политропы; $c_{p,v}$ — удельная теплоемкость при постоянном давлении или при постоянном объеме соответственно.

Величина $f = n_g RT$, хотя и носит название силы ВВ, на самом деле имеет размерность энергии и без учета степени расширения может некоторым образом характеризовать работоспособность ВВ.

Для расчета полной работы взрыва используют также формулу

$$A_{\max} = Q \left(1 - \left[\frac{V_0}{V_1} \right] \right),$$

где V_0 и V_1 — начальный и конечный объемы продуктов взрыва.

Для определения работоспособности заряда взрывчатого вещества существует ряд методов, например испытание в свинцовом блоке (бомбе Трауцля). Методы определения фугасности регламентирует ГОСТ 4546-81. Более подробно о методах определения работоспособности (фугасности) будет рассказано в главе 5.

Широкое распространение также получила оценка работоспособности ВВ в виде тротилового эквивалента (α_T). *Тротильовый эквивалент* — это относительная величина, выражающая работоспособность данного взрывчатого вещества через работоспособность тротила. Эталоном служит тринитротолуол (ТНТ или иначе — тротил)

с плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$ и $q = 4186 \text{ кДж/кг}$. Тротиловый эквивалент определяется по соотношению

$$\alpha_T = \frac{m_x q_x}{m_T q} = \frac{\rho_x q_x}{1,5 \cdot 4186} = \frac{\rho_x q_x}{6279},$$

где m_x — масса ВВ в объеме заряда тротила; ρ_x — плотность заряда ВВ; q_x — удельная теплота взрыва ВВ. В другой, адекватной по физическому смыслу трактовке α_T определяется как отношение массы тротила к массе данного ВВ, обладающего равной работоспособностью $\alpha_T = m_T / m_x$.

1.4. Чувствительность взрывчатых веществ к внешним воздействиям

1.4.1. Общие понятия о чувствительности взрывчатых веществ

Чувствительность взрывчатых веществ – способность к самопроизвольным физико-химическим реакциям в различных формах взрывчатых превращений (горение, взрыв, детонация) под действием тех или иных начальных внешних импульсов. Чувствительность ВВ характеризуется минимальной величиной начального внешнего импульса, необходимого для возбуждения взрывчатого превращения.

На ВВ могут воздействовать следующие начальные внешние импульсы:

- тепловой;
- механический (удар со скоростью $V_0 \leq 100 \text{ м/с}$, трение, накол и т. п.);
- ударно-волновой (удар со скоростью $V_0 > 100 \text{ м/с}$, взрыв (детонация) заряда инициирующего ВВ и т. п.);
- электрический (высоковольтный разряд, электрический взрыв проводника);
- ионизирующий (воздействие радиации, сильноточного электронного пучка и т. п.).

В общем случае чувствительность ВВ зависит от его химической структуры (строения и состава молекулы) и физико-механических характеристик (плотности, размера кристаллов, агрегатного состояния, полиморфной формы).

Для получения нужной чувствительности часто применяются специальные добавки: *сенсibilизаторы* (твердые порошки хрупких или квазихрупких материалов, пузырьки воздуха в жидких ВВ), повышающие чувствительность, и *флегматизаторы* (мягкие вещества: воск, парафин; вода и т. д.), понижающие чувствительность.

Чувствительность ВВ к тепловому импульсу характеризуется *температурой вспышки*.

Механическая чувствительность к удару ВВ (который не вызывает ударной волны со специфическими для нее механизмами возбуждения и развития взрыва) характеризуется частотой взрывов при определенной энергии падающего груза или максимальной высотой при его (взрыва) полном отсутствии при сбрасывании груза массой 10 кг (ГОСТ 4545-88). Чувствительность к трению определяется с помощью различных методик и, как правило, характеризуется давлением сжатия навески или пуансона.

Длительная практика обращения со взрывчатыми веществами позволила установить относительную взрывоопасность, связанную с их чувствительностью к механическим воздействиям, и расположить их в так называемый опорный ряд по мере возрастания взрывоопасности (чувствительности) при их изготовлении и применении. Данный опорный ряд выглядит так: ртуть, азид свинца, тринитрорезорцинат свинца (ТНРС), тетразен, ТЭН, гексоген, тетрил, тротил. Однако разные методы оценки с применением различных типов испытательных приборов и устройств часто дают неодинаковые ряды чувствительности, не совпадающие с опорным рядом. Причинами такого несоответствия являются разные условия нагружения взрывчатых веществ, что приводит к различию деформационно-силовых механизмов их нагружения.

Механическая чувствительность зависит от химической структуры ВВ (от состава и строения ВВ), агрегатного состояния, полиморфной формы, дисперсности ВВ и его начальной температуры (как правило, с ее ростом механическая чувствительность резко увеличивается). Зависит чувствительность ВВ и от объемной теплоты взрыва, ее рост ведет к повышению чувствительности и, как следствие, к снижению безопасности, как технологической, так и эксплуатационной.

Существуют тепловая и нетепловая теории возбуждения взрыва при механических воздействиях. Согласно тепловой теории, механи-

ческое воздействие вызывает разогрев ВВ, который и приводит в результате к взрыву. Однако с учетом того, что энергии механического воздействия (удара, например), которая вызывает взрыв, для нагрева всего объема ВВ недостаточно, была выдвинута гипотеза локальности разогрева заряда в его определенных локальных зонах (очагах), в которых происходит начальное термическое разложение, переходящее впоследствии на весь заряд.

По нетепловой теории основной причиной инициирования взрыва является активирование и разрушение химических связей под действием относительного сдвига молекул. В настоящее время данная теория находит применение в основном только при рассмотрении механических воздействий на органические ВВ и экстремально чувствительные вещества, такие как, например, йодистый азот NJ_3 .

Ударно-волновая чувствительность, одна из наиболее важных видов чувствительности, имеет наибольшее количество критериев, ни один из которых не может претендовать на полное описание поведения ВВ при ударно-волновых нагрузках. Можно указать на следующие критерии, которые нашли или находят наибольшее количество приверженцев: минимальное критическое давление, минимальная энергия инициирующего импульса и др. (всего около 20 критериев).

Чувствительность к электрическому импульсу ввиду достаточно слабой изученности процесса инициирования ВВ (и его применения) высоковольтным разрядом или при помощи взрыва электрического проводника не имеет строго стандартизированной методики определения. Это связано в первую очередь с неоднозначностью трактовки механизма инициирования ЭНМ высоковольтным электрическим разрядом.

Что же происходит с ЭНМ при его инициировании электрическим разрядом? При электрическом разряде в заряде ВВ между электродами возникает так называемый пробой вещества и образуется плазменный канал диаметром ~ 1 нм. В канале достигается сверхвысокая концентрация энергии, температуры плазмы достигает 10 000 К. Такое резкое повышение температуры в совокупности со стремлением плазмы к расширению приводит к соответствующему резкому увеличению давления и, как следствие, к образованию ударной волны, расходящейся от канала плазмы.

Максимальное значение давления при этом можно оценить по соотношению, которое следует из уравнения состояния Ми — Грюнайзена:

$$p_{\max} = \Gamma \frac{E}{W}, \quad (1.10)$$

где Γ — коэффициент Грюнайзена взрывчатого вещества; $E = \alpha E_f$ — энергия, вложенная во взрыв проводника; E_f — энергия, запасенная на емкостном накопителе энергии; $\alpha = 0,06 - 0,08$ — коэффициент преобразования электрической энергии в механическую; W — объем канала разряда. Зная соответствующие параметры взрывчатого вещества и накопителя энергии, по зависимости (1.10) можно получить либо значения давления, либо необходимую энергию на конденсаторном накопителе.

Большинство исследователей ставит на первое место тепловые эффекты, связанные с развитием канала разряда, в том числе с воздействием на ЭНМ расходящейся от плазменного канала ударной волны, и показывает, что инициирование взрывчатого превращения происходит только в том случае, когда в искровом канале выделяется некоторая минимальная энергия. Также полагается, что первоначальный процесс зажигания ЭНМ возникает не в непосредственном соприкосновении вещества с каналом разряда, а на поверхности раздела при удалении ее на некоторое эффективное расстояние r_{eff} и достижении некой оптимальной плотности энергии ϵ_{opt} . В других работах на первый план выходят быстрые реакции возбуждения частиц и нетепловой механизм возбуждения ВП. Одним из способов увеличения чувствительности ЭНМ к электрическому разряду является введение в заряд небольшого количества электропроводящего нанопорошка с целью достижения так называемого перколяционного предела проводимости вещества (диэлектрик \rightarrow проводник).

Аналогично электрическому разряду при инициировании ВВ с помощью электрического взрыва проводника также образуется канал плазмы, состоящий из ионизированных частиц материала проводника. При этом начальный диаметр плазменного канала равен диаметру проводника, а температура канала составляет не более 3000 К. Соответственно давление, возникающее в плазменном канале, ниже, чем в случае электрического разряда, однако длительность воздействия в этом случае составляет несколько микросекунд.

Как правило, чувствительность к электрическому импульсу характеризуется нижним и верхним значениями энергии электрического разряда, при которых происходят стопроцентные срабатывания заряда ВВ.

1.4.2. Ударно-волновая чувствительность ВВ и влияние на нее различных факторов

Ввиду исключительной важности ударно-волнового способа инициирования ВВ рассмотрим более подробно их ударно-волновую чувствительность (УВЧ) и, в частности, те факторы, которые на нее влияют.

Исторически первым критерием ударно-волновой чувствительности было значение критического значения давления в ударной волне $p \geq p_{cr}$. Однако с середины 70-х гг. прошлого века в литературе с разной степенью полноты охвата обсуждается критерий, созданный на основе концепции критической энергии, необходимой для возбуждения детонации в различных видах ВВ, в том числе и гетерогенных. Энергетический критерий записывается в следующих вытекающих друг из друга формах:

$$put = const, \frac{p^2 t}{\rho_0 D} = const, p^2 t = const, \quad (1.11)$$

где p — значение приложенного импульсного давления; t — длительность импульса давления; ρ_0 — плотность заряда ВВ; u — массовая скорость частиц ВВ; D — скорость ударной волны (УВ) (скорость детонации) в заряде ВВ при давлении p .

Однако критерии вида (1.11) пригодны (при строгом подходе) только для прямоугольного инициирующего импульса. Поэтому для импульса давления любой формы предложен критерий УВЧ, связанный с понятием инкубационного времени (t_{inc}) (независимой от условий эксперимента постоянной ВВ). Критерий записывается в следующем виде:

$$\int_{t=t_{inc}}^t \left(\frac{p(s)}{p_{cr}} \right)^\alpha ds \leq t_{inc}, \quad (1.12)$$

где $p(t)$ — импульсное давление, прикладываемое к инициируемому ВВ; t и s — глобальное и локальное время; α — константа. Инкубационное время определяется соотношением

$$t_{inc} = \frac{d_{cr}}{c_0},$$

здесь d_{cr} — критический диаметр инициируемого заряда ВВ; c_0 — объемная скорость звука в твердом ВВ.

Кроме критерия (1.12), который применим для инициирующего импульса любой формы, предложен критерий критического ускорения, также не зависящий от формы импульса. Согласно этому критерию эволюция массовой скорости инициирующей ударной волны с критическим ускорением a_{cr} связана соотношением

$$\frac{du}{dt} = (1-v) \left(1 + \frac{2v}{1-2k} \right)^{-4} \left(\frac{du}{dt} - a_{cr} \right), \quad (1.13)$$

где $k = \frac{D^2}{V_0 p'_n(V)}$; $p'_n(V)$ — производная по объему вдоль ударной адиабаты твердого взрывчатого вещества; V_0, V — начальный и текущий удельные объемы заряда ВВ.

Критическое ускорение зависит от физических свойств ВВ, по которому распространяется ударная волна, кинетики реакций за фронтом УВ и описывается выражением

$$a_{cr} = \left(DyQ \frac{da}{dt} \right) / c_v \rho_0 (1-v) c^2, \quad (1.14)$$

где $y = \frac{dp}{dT}$; Q — теплота реакции; $v = \frac{D^2}{c^2}$; c — продольная скорость звука в ВВ; c_v — удельная теплоемкость при постоянном объеме; T — температура.

Из (1.14) следует, что если $\frac{du}{dt} > a_{cr}$, то инициирующая волна ускоряется, при $\frac{du}{dt} < a_{cr}$ замедляется и при $\frac{du}{dt} = a_{cr}$ выходит на стационарный режим.

Существуют и другие критерии УВЧ, отличные от (1.11)–(1.13). Так, в настоящее время их насчитывается, как уже было сказано выше, более двадцати.

Для гетерогенных ВВ ударное инициирование всегда начинается с инициирования (воспламенения) отдельных зерен независимо от природы этого воспламенения: будь то зажигание путем трансляции тепла от локализованной области динамического перегрева (схлопнувшейся поры или же другого внутреннего микроскопического очага) или же оттого, что в результате быстрого деформирования некоторые зерна вследствие исходной структурной неоднородности оказываются в «сверхкритических» условиях, за счет чего и происходит их воспламенение, а от них процесс горения может перейти на весь

заряд. Следовательно, ударно-волновое возбуждение детонации в гетерогенных ВВ зависит от среднего расстояния между микроочагами реакции и скорости распространения волны горения между ними. В этом состоит принципиальное отличие механизмов детонации гетерогенных и гомогенных взрывчатых веществ.

В этом же состоит и принципиальное отличие инициирования жидких (гомогенных) и твердых (как правило, гетерогенных, исключения составляют бездефектные монокристаллы) взрывчатых веществ. В результате критические параметры ударно-волнового инициирования для однородных бездефектных систем существенно выше, чем для структурно-неоднородных с пористостью 1–3% и выше. Для гомогенных взрывчатых веществ необходимо в течение определенного времени прогреть объем за фронтом инициирующей ударной волны (УВ). Определение критических условий инициирования детонации для гомогенных ВВ сводится к задаче адиабатического теплового взрыва в условиях изменяющейся во времени температуры с заданным ее начальным значением, определяемым начальным давлением инициирующей УВ.

Из сказанного можно сделать вывод, что на ударно-волновую чувствительность будет оказывать влияние дисперсность взрывчатого вещества заряда. Так, согласно гипотезе Эйринга, очаги химического разогрева образуются за счет фрикционного разогрева зерен или субзерен в процессе их сжатия ударной волной. Тогда концентрация N таких очагов в единице объема ВВ пропорциональна количеству зерен и соответственно их размеру d : $N \propto d^{-3}$. То есть при уменьшении размера зерен их концентрация в единице объема существенно возрастает. Экспериментально увеличение ударно-волновой чувствительности с уменьшением размера зерен наблюдается для гексогена и для некоторых других ВВ. Однако в ряде случаев УВЧ ведет себя с уменьшением размера немонотонно, сначала увеличивается, затем, начиная с некоторого размера, начинает уменьшаться. Объяснение этому эффекту найдено в рамках резонансного критерия ударного инициирования ВВ, полученного в рамках нелокальной теории неравновесных процессов переноса.

Отметим также, что прессованные заряды чувствительнее литых, что замечено всеми методами исследования при применении различных критериев УВЧ. Поскольку такое поведение невозможно объяснить в рамках гипотезы фрикционного разогрева или схлопыва-

ния пор, было высказано предположение, что локальные очаги химической реакции разложения ВВ образуются при полной или частичной аннигиляции дислокаций, которые находятся внутри частиц ВВ (дислокация — микроскопический линейный дефект материала).

1.4.3. Чувствительность ВВ к тепловому воздействию

Чувствительность взрывчатых веществ к тепловому воздействию имеет исключительную важность с точки зрения их производства, хранения и практического применения. Понятно, что в процессе эксплуатации при инициировании ВВ можно обеспечить тепловой импульс практически любой интенсивности и тем самым обеспечить практическое применение ВВ.

Обычно тепловые воздействия подразделяются на: гомогенный — равномерный подогрев всей массы взрывчатого вещества до некоторой критической температуры с развитием процесса разложения ВВ по законам теплового взрыва, и локальный нагрев в виде поджигания со значительным градиентом температуры. Соответственно определяют чувствительность ВВ к нагреву и зажиганию (воспламеняемость).

Мерой чувствительности взрывчатого вещества к нагреву на практике (при проведении приемосдаточных испытаний партий ВВ и при их сравнении по чувствительности к нагреву) обычно служит температура их вспышки, устанавливаемая при определенных условиях опыта. Если поместить навеску ВВ в объем с достаточно высокой постоянной или медленно возрастающей температурой, то через некоторое время вещество прогревается до температуры окружающей среды и может произойти вспышка. Механизм вспышки в этих условиях соответствует механизму *теплового взрыва* и определяется соотношением теплоподвода в результате экзотермических химических реакций в нагретом веществе и теплоотвода в окружающую среду.

В теории теплового взрыва при тепловых воздействиях обычно рассматривают реакционную зону (заряд ВВ) в виде плоскопараллельного слоя, цилиндра или сферы с начальной температурой T_0 . При описании теплового процесса предполагается, что:

1) заряд ВВ внезапно попадает в некий теплоноситель (окружающую среду) с температурой T_1 , как правило, имеющей постоянное значение во времени;

2) передача тепла в заряде происходит за счет теплопроводности;

3) теплообмен с теплоносителем происходит по закону Ньютона, т. е. тепловой поток через единицу площади в окружающую среду равен $\alpha(T_i - T_1)$ (α — коэффициент теплоотдачи, T_i — текущая температура реакционной зоны).

Как правило, рассматривается система 2 уравнений, состоящей из уравнения теплопроводности и уравнения кинетики:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_{ex} \left(\frac{m}{x} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + Q\rho W, \quad (1.15)$$

$$W = \frac{dw}{dt} = f_w(w)z \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (1.16)$$

с начальными условиями: $t = 0$; $T = T_0$; $w = 0$ и граничными условиями: $x = 0$, $\frac{\partial T}{\partial x}$, $x = r$, $-\lambda_{ex} \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_i - T_1)$.

Здесь c, λ_{ex}, ρ — удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности и плотность заряда ВВ; Q и W — удельный тепловой эффект (теплота взрыва) и скорость реакции; $f_w(w)$ — кинетическая функция, характеризующая зависимость скорости реакции от ее глубины w ; E и z — энергия активации и предэкспоненциальный множитель.

Различные условия теплового взрыва и решения системы уравнений (1.15), (1.16) рассмотрены советскими и российскими учеными Н. Н. Семеновым, Д. А. Франк-Каменецким, А. Г. Мержановым и В. В. Барзыкиным.

Зажигание взрывчатых веществ может осуществляться за счет внешнего интенсивного теплового источника. В настоящее время известны две теории зажигания: тепловая и газодиффузионная.

Тепловая теория зажигания исходит из ведущей роли реакции в конденсированной фазе, а критическое условие воспламенения (зажигания) принимается в виде достижения равенства плотности теплового потока от внутреннего химического тепловыделения в ВВ поверхностной плотности теплового потока, отводимого из зоны реакции вглубь прогреваемого ВВ в момент зажигания.

Для легко газифицирующихся взрывчатых веществ газодиффузионная теория полагает, что для воспламенения ВВ достаточно разогреть поверхность заряда до температуры газификации. Количество тепла, затрачиваемое на воспламенение газовой фазы ВВ, полагается малым по сравнению с теплом, идущим на прогрев конденсированной фазы после достижения температуры газификации.

Как было сказано выше, мерой чувствительности взрывчатого вещества к нагреву является температура вспышки. Для ее определения в основном используются два метода. Первый метод заключается в следующем. В теплоноситель – легкоплавкий металл (сплав Вуда, например) или масло с фиксированной температурой 100°C — помещают пробирку со стандартной навеской взрывчатого вещества (как правило, 0,5 г или 0,1 г для ВВ, дающих детонацию). Начинают нагревать теплоноситель со скоростью 20°C в минуту, фиксируя температуру, при которой ВВ вспыхивает либо начинает бурно разлагаться с шипящим звуком. Если разложение протекает спокойно, то нагрев прекращают после 360°C и полагают отсутствие вспышки.

При втором способе навеску ВВ массой 0,05 г внезапно вводят в контакт со стенкой термостатированного сосуда. Испытания проводят до определения значений температуры сосуда, при которых задержка вспышки составляет 5 и 300 с. Существуют и другие способы определения температуры вспышки взрывчатых веществ.

Для определения воспламеняемости ВВ существует ряд методов, которые позволяют определить те или иные величины, определяющие режим горения при постоянном значении теплового источника. К таким методам относятся: определение чувствительности взрывчатого вещества к лучу огня от огнепроводного шнура, определение критического диаметра горения, определение минимального давления поджигания, при котором исследуемое ВВ поджигается и устойчиво горит, и ряд других методов.

1.5. Некоторые современные способы снижения чувствительности ВВ к внешним воздействиям

В настоящее время перед разработчиками взрывчатых веществ стоит задача снижения их чувствительности, что обеспечит повышение безопасности при производстве и употреблении изделий, использующих эти ВВ. Существует несколько направлений решения данной задачи.

Первое — традиционное, связано с флегматизацией ВВ и ВС, об этом направлении, видах флегматизаторов и способах их нанесения речь пойдет в разделах 2.2.2–2.2.4.

Второе направление связано с заменой существующих более чувствительных ВВ и ВС (в частности, на основе тринитротолуола

и гексогена) на малочувствительные, что достигается либо синтезом новых соединений, либо модификацией традиционных веществ путем их модификации, например, за счет изменения структуры кристаллов и придания им сферической или сфероподобной формы. Как правило, модификация ВВ приводит к увеличению критического диаметра в $\sim 1,5$ раза. Исследования также показали, что наиболее безопасными являются составы на основе малодефектных кристаллов мощных ВВ, имеющие нулевую или близкую к ней пористость.

С последним поднаправлением связана замена традиционных технологий изготовления существующих ВВ более совершенными, например, их перекристаллизацией в растворителе другой природы.

И, наконец, третье направление основано на введении в существующие составы новых инертных или активных добавок (вместо используемых в настоящее время), например использование во взрывчатых составах полимерных связующих. По сути, последние ВС (с полимерными связующими) приближаются как по природе, так и по опасности к твердым ракетным топливам. Эти составы получили название литьевые взрывчатые составы с полимерным связующим. Использование полимерного связующего позволяет увеличивать в составах содержание энергоемких материалов и тем самым повышать эффективность изделий. Такие изделия могут снаряжаться методом заливки, что понижает опасность и повышает технологичность снаряжения.

В настоящее время за рубежом (Франция, Швеция, Финляндия) существует большой набор ВС с полимерными связующими для литьевого снаряжения. При получении этих резиноподобных ВС с высоким содержанием наполнителя разработчики широко применяют достижения технологии твердых ракетных топлив.

Вопросы к главе 1

1. Понятие о горении. Виды горения. Нормальная и массовая скорости горения.
2. Цепное горение. Критическая температура цепного горения. Период индукции при цепном горении.
3. Понятия о взрыве и детонации. Гидродинамическая теория детонации Зельдовича — Неймана — Деринга.
4. Поле взрыва. Бризантное действие взрыва. Фугасное действие взрыва. Тротиловый эквивалент.
5. Понятие о чувствительности взрывчатых веществ.

6. Ударно-волновая чувствительность и ее критерии.
7. Физические основы ударно-волновой чувствительности. Зависимость ударно-волновой чувствительности от физико-механических характеристик ВВ и заряда.
8. Чувствительность ВВ к тепловому воздействию
9. Температура вспышки и методы ее определения.

Список литературы к главе 1

1. Физика взрыва : в 2 т. Т. 1 / под ред. Л. П. Орленко. — М. : Физматлит, 2002. — 832 с.
2. *Чельшев, В. П.* Основы теории взрыва и горения. — М. : Изд-во МО СССР, 1981. — 212 с.
3. *Зельдович, Я. Б.* Математическая теория горения и взрыва / Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблатт, Г. М. Либрович [и др.]. — М. : Наука, 1980. — 478 с.
4. *Гремячкин, В. М.* Гетерогенное горение частиц твердых топлив. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 230 с.
5. *Мержанов, А. Г.* Теория волн горения в гомогенных средах / А. Г. Мержанов, Б. И. Хайкин. — Черноголовка : Ин-т структурной макрокинетики, 1992. — 161 с.
6. *Андреев, К. К.* Теория взрывчатых веществ / К. К. Андреев, А. Ф. Беляев. — М. : Оборонгиз, 1960. — 596 с.
7. *Афанасьев, Г. Т.* Инициирование твердых взрывчатых веществ ударом / Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболев. — М. : Наука, 1968. — 172 с.
8. *Дубнов, Л. В.* Промышленные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревиц, А. И. Романов. — М. : Недра, 1988. — 358 с.
9. *Новиков, С. А.* Полезные взрывы. — Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000. — 293 с.
10. Взрывчатые вещества : в 3 т. Т. I: Поведение твердых взрывчатых веществ при механических нагрузках / под ред. С. А. Новикова. — Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2001. — 415 с.
11. *Жилин, В. Ф.* Малочувствительные взрывчатые вещества / В. Ф. Жилин, В. Л. Збарский, Н. В. Юдин. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2008. — 172 с.
12. *Илюшин, М. А.* Металлокомплексы в высокоэнергетических композициях / М. А. Илюшин, И. В. Целинский, А. М. Судариков. — СПб. : ЛГУ им. А. С. Пушкина, 2010. — 178 с.

ГЛАВА 2

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ВВ

2.1. Общие вопросы классификации

Любая классификация тех или иных элементов некой всеобщей системы веществ, материалов, предметов и т.д. достаточно условна, как правило, отражает личные взгляды и пристрастия автора или авторов и не может претендовать на всеобщую полноту и завершенность.

Под *взрывчатыми веществами* в настоящем учебном пособии будут пониматься *класс энергонасыщенных материалов, представляющих собой индивидуальные химические соединения или их смеси, способных под действием внешнего импульса к быстрому химическому превращению, протекающему с выделением большого количества тепла и газов, и предназначенных главным образом для совершения механической работы разрушения.*

Таким образом, мы сознательно исключили из группы взрывчатых веществ такие энергонасыщенные материалы (которые некоторыми авторами тем не менее включаются в понятие «взрывчатые вещества»), как пороха, ракетные топлива и пиротехнические составы. Исключение будет сделано в главе 4, когда мы будем рассматривать промышленные взрывчатые вещества на основе утилизируемых порохов и ракетных топлив.

В нашей классификации взрывчатые вещества подразделяются по применению на две группы: *инициирующие (или первичные) и бризантные (или вторичные).* Вторичные ВВ обладают наибольшей бризантностью и фугасностью.

Предметом настоящего курса являются *бризантные и иницирующие* взрывчатые вещества или взрывчатые составы по своему агрегатному состоянию, относящиеся к *твердым взрывчатым веществам и составам.* В некоторых случаях мы будем касаться и жидких взрывчатых веществ, таких как нитрометан.

Бризантные твердые взрывчатые вещества подразделяются на *промышленные ВВ (ВС) и ВВ (ВС), предназначенные для*

боеприпасов, боевых частей ракетного оружия и боевых зарядных отделений морского подводного оружия.

Важнейшими представителями твердых бризантных взрывчатых веществ являются следующие:

1. Нитраты или сложные эфиры азотной кислоты. К представителям этой группы относятся и имеют важное значение как в группе промышленных ВВ, так и в группе ВВ военного назначения нитроглицерин (глицеринтринитрат) $C_3H_5(ONO_2)_3$, ТЭН (тетранитропентаэритрит) $C(CH_2ONO_2)_4$ и нитраты целлюлозы.

2. Нитросоединения. Данные химические соединения подразделяются на нитросоединения ароматического ряда и неароматические нитросоединения. К первым относятся: тротил (тринитротолуол) $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$, пикриновая кислота (тринитрофенол) $C_6H_2(NO_2)_3OH$, тринитробензол (ТНБ) $C_6H_3(NO_2)_3$. Представителями второй группы являются такие ВВ, как гексоген ($C_3H_6O_6N_6$), октоген (CH_2NO_2)₄.

К нитросоединениям относятся также некоторые важные бризантные взрывчатые составы, такие как аммониты, динамиты, сплавы тротила с гексогеном и др.

Исходным сырьем при синтезе бризантных ВВ являются ароматические углеводороды и фенолы, алифатические предельные углеводороды, алифатические непредельные углеводороды, алифатические спирты, углеводы, ароматические и алифатические амины, аминоспирты и др.

Наиболее доступным сырьем являются продукты, получаемые промышленностью переработки каменного угля, нефтехимического и основного органического синтеза (алифатические и ароматические углеводороды и др.). Кроме органического сырья, в производстве ВВ также используется и минеральное сырье: азотная и серная кислоты и др. Поэтому объем производства и стоимость сырья определяются не только природными запасами нефти и каменного угля, но и степенью развития различных отраслей химической промышленности.

2.2. Взрывчатые вещества общего назначения

2.2.1. Общие сведения

Используемые для общих, в том числе военных, целей взрывчатые вещества можно подразделить на индивидуальные ВВ и взрывчатые составы. Сразу же отметим, что промышленные ВВ и ВС, яв-

ляющиеся предметом настоящего курса, образуют с военными веществами и составами взаимосвязанную группу. Отличия состоят в том, что по очевидным причинам промышленные ВВ должны быть более экологически безопасны, иметь меньшую чувствительность и быть существенно дешевле. Как правило, индивидуальные ВВ в настоящее время применяются для снаряжения боеприпасов (БП) и других средств поражения (СП) достаточно редко.

Из индивидуальных бризантных ВВ, применяющихся в военном деле, можно выделить два представителя этой группы: тетранитропентаэритрит (ТЭН), являющийся самым чувствительным из бризантных веществ, и тринитротолуол (или тротил). Главное преимущество тротила состоит в том, что, являясь достаточно мощным бризантным ВВ, он обладает сравнительно малой чувствительностью к механическим воздействиям. Кроме того, тротил обладает высокой химической стойкостью. Так, например, длительное нагревание при температурах до 130°C почти не меняет его химический состав.

Два других известных индивидуальных ВВ (одни из наиболее мощных бризантных взрывчатых веществ) — гексоген и октоген в чистом виде в боеприпасах и средствах поражения применяются крайне редко. Оба этих ВВ имеют высокую чувствительность к механическим воздействиям, поэтому с целью снижения чувствительности их флегматизируют воскоподобными веществами (воск, стеарин, церезин). Свойства всех четырех вышеперечисленных индивидуальных ВВ приведены в таблице 2.1.

Отметим, что все четыре ВВ по токсичности относятся к ядовитым веществам 2-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76.

Таблица 2.1

Свойства индивидуальных взрывчатых веществ

Показатели	Тротил	Гексоген	Октоген	ТЭН
Температура плавления, °С	80,6–80,9	204–205	281–284	139–141,3
Температура вспышки (при задержке 5/30 с), °С	390/300	270/230	310/278	(210–215)/195
Плотность монокристалла, г/см ³	1,663	1,806	1,904	1,770
Энтальпия образования ккал/кг, (кДж/кг)	–44,0 (–283,7)	76,6 (315,6)	70,9 (296,4)	–389,2 (–1629,9)

Продолжение табл. 2.1

Показатели	Тротил	Гексоген	Октоген	ТЭН
Удельная теплота взрыва, ккал/кг (кДж/кг) (вода — газ)	1010 (4228)	1290 (5392)	1354 (5668)	1400 (5866)
Скорость детонации, (при плотности монокристалла), км/с	7,0	8,85	9,25	8,35
Чувствительность к удару по ГОСТ 4545-88, %	4–8	80	84–96	100
Фугасность, см ³	300	480	480	523
Бризантность, мм при плотности г/см ³ и массе заряда, г	18	24	24	16
	1,2	1,3	1,0	1,0
	50	25	25	25

Применяемые же для снаряжения БПиСП взрывчатые составы подразделяются на мощные бризантные составы, мощные фугасные составы и бризантно-фугасные составы. В зависимости от требований по параметрам и условиям применения составы могут быть термостойкими, малочувствительными, низкоимпульсными и т. д.

Указанные взрывчатые составы создаются по следующим принципам.

1. Мощные бризантные составы содержат в качестве основного компонента гексоген или октоген, которые флегматизируются соответствующим связующим, если они прессованные, или, если они литевые, содержат в требуемом количестве тротил.

2. Мощные фугасные составы содержат тротил, гексоген, металл (порошкообразный алюминий) и флегматизатор. Для улучшения кислородного баланса в состав может вводиться добавка окислителя.

3. Бризантно-фугасные составы, как правило, содержат те же самые компоненты, которые указаны выше, но с отличающимися процентными соотношениями, что позволяет растянуть энерговыделение, например при осколкообразовании.

Термостойкие взрывчатые составы, которые должны в течение длительного времени выдерживать температуры 250–280°C, могут относиться к любой из трех приведенных групп, но создаются они исходя из следующих принципов.

1. Индивидуальные ВВ или композиция из нескольких ВВ являются сами по себе термостойкими.

2. Содержат высокоэнергетическую добавку, позволяющую за счет высокой теплопроводности выравнивать тепловое поле в заряде.

3. Один из компонентов должен иметь высокую теплоту и низкую температуру плавления.

Малоустойчивые составы, предназначенные для снаряжения малоустойчивых боеприпасов, должны иметь пониженную чувствительность к любым видам несанкционированного внешнего воздействия и пониженную опасность в технологическом цикле. Существует несколько способов и средств достижения указанных свойств. К ним относятся:

1) во взрывчатый состав включается в качестве компонента низкочувствительное ВВ, как правило, ТАТБ (триаминотринитробензол);

2) увеличение процентного содержания флегматизирующей (связующей) добавки;

3) варьирование плотности, пористости и дисперсности компонентного состава.

Низкоимпульсность взрывчатого состава достигается следующими мероприятиями.

1. В качестве основного энергетического компонента выбирается вещество с низкой (ниже насыпной) плотностью.

2. Во взрывчатый состав в качестве компонента включается инертный материал.

3. Взрывчатый состав вспенивается или осаждается на стенках пористой матрицы.

2.2.2. Флегматизированные порошкообразные ВВ

Простейшие представители взрывчатых составов — порошкообразные флегматизированные ВВ. Необходимость во флегматизации возникла в связи с тем, что мощные ВВ имеют высокую чувствительность к внешним механическим воздействиям и ударной волне, кроме того, они плохо прессуются. Выше мы уже говорили, что чувствительность БВВ зависит от строения молекул веществ, структуры и размеров кристаллов ВВ. В этом плане флегматизация является одним из основных способов регулирования чувствительности ВВ и ВС.

Поскольку флегматизация, в принципе, снижает энергетические характеристики взрывчатых веществ и составов, то необходимо стремиться к минимальному содержанию флегматизаторов, а значит, су-

существует проблема поиска более эффективных флегматизаторов с учетом не только их физических и механических свойств, но и химического состава.

Прессуемость же определяется только физическим состоянием кристаллов и условиями приложения внешних сил.

В природе не существует идеальных кристаллов. Они всегда имеют дефекты и дислокации. Поэтому при действии на кристаллы или зерна, из которых состоит заряд, внешних сил энергия в массе заряда распределяется неравномерно, достигая в отдельных зонах (дефектах, поверхностных дислокациях или зернах) больших значений. Если время действия внешних сил мало по сравнению со временем отвода тепла, то в системе в целом температура будет повышаться скачкообразно. Некоторые локальные участки заряда ВВ нагреваются до температуры выше температуры вспышки, которые называются горячими точками. Горячие точки, как было сказано выше, приводят к инициированию (воспламенению) отдельных зерен. В дальнейшем горение может перейти в один из видов горения или детонации и в результате вызвать взрыв всего заряда. Возможными механизмами инициирования отдельного зерна являются: тепловой взрыв, механохимическое инициирование, трибомеханическое инициирование, пироэлектрическое и пьезоэлектрическое виды инициирования. Независимо от механизма инициирования отдельного зерна в порошкообразном ВВ при ударном или ударно-волновом инициировании происходят следующие явления.

1. При определенных условиях (достижение критической скорости удара или интенсивности ударной волны и скорости деформации (нагружения)) в заряде возникает система мезоскопических очагов — первоначально воспламенившихся зерен, от которых процесс горения может разойтись по всему заряду. Горение системы изолированных очагов (как крайний случай — одного очага) может либо затухнуть, если энергия очага окажется меньше критического, либо перейти в горение всего заряда и (при определенных условиях) в детонацию, если энергия первичных очагов (очага) будет больше критической.

2. При некоторой концентрации первичных очагов волны реакции от отдельных очагов будут объединяться, образуя сплошную область реакции. В этом случае возможно воспламенение заряда ВВ от первичных очагов, даже если их энергия будет существенно меньше критической, т. е. существует некоторая критическая концентрация

очагов, которая зависит от их энергии, выше которой происходит воспламенение всего заряда порошкообразного ВВ. Эта критическая концентрация тем меньше, чем ближе энергия очагов к критической. Если энергия очага много больше критической, то воспламенение возможно даже от одиночного очага.

3. Появление первичных очагов инициирования при ударном (ударно-волновом) воздействии на заряд ВВ определяется как условиями инициирования, так и параметрами самого заряда. Поэтому концентрация первичных очагов зависит от интенсивности воздействия, характеристик ВВ и плотности заряда.

Исходя из вышеизложенного, назначение флегматизатора сводится к следующему.

1. Заполнить неровности и трещины в частицах ВВ.
2. Уменьшить трение между частицами ВВ.
3. Поглотить часть энергии удара, уменьшая внешние перегревы.
4. Увеличить пластичность в системе в целом.
5. Препятствовать распространению взрыва от очагов, возникших при действии внешних сил, к соседним слоям ВВ.

Для снижения чувствительности БВВ используются два вида флегматизаторов:

- 1) поверхностно-активные вещества (ПАВ), образующие вокруг частиц ВВ защитные оболочки;
- 2) флегматизаторы — инертные вещества, которые уменьшают чувствительность ВВ вследствие его разбавления.

Флегматизация ПАВ является физико-химическим процессом, основанным на понижении поверхностной энергии частиц ВВ. Флегматизация разбавителями — преимущественно механический процесс смешения компонентов.

При флегматизации порошкообразных ВВ на поверхности их частиц и, вероятно, в трещинах и порах создается адсорбционная пленка (активный слой) и гидродинамический (инактивный) расклинивающий слой. Совокупность этих слоев является защитной оболочкой из флегматизатора на поверхности частиц ВВ.

Адсорбционный слой создается в результате образования двойного электрического слоя. При этом молекулы флегматизатора ориентируются так, что положительно заряженная часть ПАВ присоединяется к отрицательно заряженной поверхности ВВ, а отрицательно заряженная часть молекулы ПАВ направлена в противоположную

сторону. Толщина адсорбционного слоя около двух диаметров молекулы ПАВ. Для образования этого слоя, если флегматизируют полидисперсное ВВ заводского производства, расходуется примерно 0,2% флегматизатора от веса ВВ. По физико-химическим свойствам адсорбционный слой отличается от образовавшего его вещества. Его свойства определяются свойствами пограничного слоя — величиной электрических зарядов, характером связи функциональных групп и прочностью связи между молекулами ПАВ (когезией).

Таким образом, флегматизирующее действие является избирательным процессом, т. е. хороший флегматизатор для одного взрывчатого вещества не всегда пригоден для второго. Адсорбционный слой является важнейшим элементом защитной оболочки. Он образует эластично-пластичную прослойку между частицами, снижая трение между ними. Проникая в трещины и поры, флегматизатор создает адсорбционный слой, который отчасти устраняет избыток энергии в наиболее опасных зонах частиц ВВ.

Однако адсорбционный слой в силу своих небольших размеров не обеспечивает устойчивого и значительного снижения чувствительности, так как легко повреждается. Для устранения этого недостатка необходим избыток ПАВ, который и находится в гидродинамическом слое. Молекулы флегматизатора, находящиеся в гидродинамическом слое, не связаны с поверхностью частиц ВВ или связаны очень слабо.

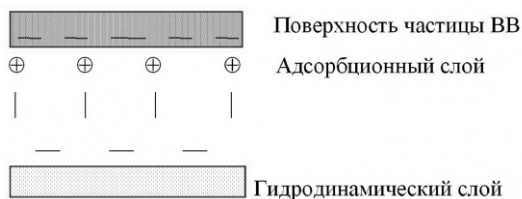


Рис. 2.1
Схема флегматизации ВВ

Физико-химические свойства гидродинамического слоя аналогичны свойствам флегматизатора. На образование гидродинамического слоя расходуется 4,5–4,8% ПАВ. Гидродинамический слой, являясь питательной базой адсорбционного слоя, нивелирует поверхность частиц, увеличивает поверхность контакта между частицами, поглощает значительное количество энергии при ударе, создает пре-

пятствия к распространению взрыва по массе заряда взрывчатого вещества.

Снизить чувствительность мощных ВВ можно введением 20% и более разбавителя. Естественно, что такой способ флегматизации достигает цели тогда, когда флегматизатор принимает активное участие во взрыве. В противном случае взрывчатая система утрачивает требуемую мощность и рациональнее окажется применять менее мощное ВВ с допустимой чувствительностью. Поэтому в качестве подобных флегматизаторов применяют, как правило, ВВ меньшей чувствительности, чем чувствительность основного ВВ. Это, например, тротил, динитросоединения и их сплавы.

Требования к флегматизаторам

Применяемые в промышленности флегматизаторы должны отвечать следующим основным требованиям:

- 1) не должен химически взаимодействовать с ВВ при хранении, с конструкционными материалами и не растворяться в воде;
- 2) должен обладать высокопластичными свойствами и способностью образовывать прочную адсорбционную пленку;
- 3) должен обладать низкой прочностью при механических воздействиях и низким коэффициентом внешнего трения;
- 4) не должен быть летучим;
- 5) должен быть физически и химически стабильным;
- 6) иметь достаточно невысокую температуру плавления (чуть выше 70–80°C);
- 7) иметь высокую температуру воспламенения;
- 8) одновременно являться пластификатором и цементатором;
- 9) должен быть доступным и сравнительно дешевым.

Поскольку флегматизатор образует тепловой барьер, препятствующий передаче тепла от кристалла к кристаллу, то определяющей характеристикой флегматизатора считается теплопроводность.

Флегматизаторы могут быть полярными и неполярными. Полярные флегматизаторы — это жирные кислоты, воски, органические галоидные соединения; неполярные — парафин, церезин, ароматические соединения. Перспективными ПАВ для ВВ являются также синтетические смолы, каучуки, эфиры многоатомных спиртов (глицерина, пентаэритрита) и органических кислот.

Наиболее широкое применение в качестве флегматизаторов нашли: парафин, церезин, стеарин, оксизин и их сплавы, а также головакс.

Отметим, что добавление в ВВ инертных веществ в качестве флегматизаторов даже в количестве (3–5 масс. %) существенно снижает их энергетические характеристики (скорость детонации, теплоту взрыва, бризантность и работоспособность), что снижает эффективность применения таких ВВ и ВС на практике. Поэтому существует проблема поиска более эффективных флегматизаторов для твердых ВВ и ВС с учетом не только их физических и механических свойств, но и химического состава флегматизатора. Кроме того, есть некоторые эффекты, связанные с флегматизацией ВВ, которые необходимо учитывать на практике. Так, увеличение содержания парафина до 5% в гексоген снижает его чувствительность к удару, а при большей концентрации (до 10%) чувствительность повышается.

Синтетический парафин имеет $T_{пл} = 80\text{--}110^\circ\text{C}$. Стеарин ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$) плавится при температуре около 70°C . Церезин представляет собой смесь твердых углеводородов метанового ряда со средней молекулярной массой $\text{C}_{27}\text{H}_{54}$. Получается при обработке и очистке озокерита. Для флегматизации ВВ используется церезин с $T_{пл} = 80\text{--}100^\circ\text{C}$. При окислении церезина получается оксизин с температурой плавления около 100°C .

Для флегматизации взрывчатых веществ широкое распространение получил сплав Е. Г. Ледина, предложенный в 1941 г. Состав данного флегматизатора следующий:

- церезин — 60%;
- стеарин — 38,8%;
- краситель жирорастворимый (судан) — 1,2%.

Другим широко применяемым флегматизатором является головакс. Головакс состоит из смеси три- и тетрахлорнафталинов. Получают его хлорированием нафталина при температуре $135\text{--}145^\circ\text{C}$. Температура плавления головакса $100\text{--}110^\circ\text{C}$.

Взрывчатые вещества и флегматизаторы связаны между собой силами Ван-дер-Ваальса, которые состоят из ориентационного, индукционного, дисперсионного взаимодействий. Ориентационное взаимодействие жестких диполей вызвано наличием в молекулах дипольных моментов $\mu = e \cdot r$, где e — заряд, r — расстояние между молекулами вещества (флегматизатора). Энергия ориентационного взаимодействия определяется соотношением

$$U_{or} = -\frac{2\mu_1^2 \cdot \mu_2^2}{3kTR^6},$$

где $\mu_{1,2}$ — дипольные моменты; k — постоянная Больцмана; R — расстояние между диполями вещества и флегматизатора.

Индукционное взаимодействие происходит за счет наведенных диполей, то есть за счет смещения центров тяжести электрических зарядов молекул под действием внешнего электрического поля. Энергия индукционного взаимодействия:

$$U_{ind} = -\alpha \frac{\mu^2}{R^6},$$

где α — коэффициент поляризации, μ — дипольный момент.

Так как любая молекула не имеет постоянного во времени электрического центра тяжести, обусловленного электронными оболочками, то имеет также место дисперсионное взаимодействие (силы Лондона) между молекулами. Электрический центр тяжести молекулы, меняя свое положение, образует мгновенные диполи. Лондон показал, что между двумя нейтральными и неполярными молекулами будет наблюдаться пространственная ориентация, энергия которой пропорциональна потенциалу ионизации атомов:

$$U_{disp} = -\frac{3I_1I_2}{(I_1 + I_2)} \cdot \frac{\alpha_1\alpha_2}{R^6}.$$

Следовательно, энергию дисперсионного взаимодействия частиц можно выразить через коэффициент поляризации и потенциал ионизации. Полная энергия ван-дер-ваальсового взаимодействия равна

$$U_s = U_{or} + U_{ind} + U_{disp}.$$

Таким образом, взаимодействие между веществами тем сильнее, чем выше дипольный момент. У гексогена $\mu = 6,2$ Дебая, у октогена $\mu = 10,9$ Дебаев, у тротила $\mu = 1,2$ Дебая. У церезина и парафина $\mu = 0$. Для ряда полярных ПАВ $\mu = (2 - 5)$ Дебаев. Энергия кристаллической решетки также имеет большое значение для флегматизации. Поэтому ПАВ для флегматизации подбираются индивидуально.

Способы нанесения флегматизаторов

В настоящее время существует два основных метода нанесения флегматизаторов.

1. Нанесение флегматизатора из органического растворителя. По этому способу ВВ суспендируют в растворе флегматизатора в легколетучем растворителе (ацетоне, бензоле, бензине, дихлорэтане и т. п.). Смесь перемешивают при температуре 50–55°C до почти полного удаления растворителя. При этом флегматизатор высажива-

ется на поверхности порошка ВВ. Затем полученный состав ВВ фильтруют и сушат. Данный метод пожароопасен и в настоящее время имеет ограниченное применение.

2. Водно-эмульсионное смешение. При водно-эмульсионном смешении защитная оболочка формируется в две стадии: на первой происходит образование эмульсии масло в воде, на второй — взаимодействие образовавшейся эмульсии с поверхностью ВВ, заключающейся в разрушении эмульсии и закреплении флегматизатора (дисперсной фазы) на поверхности частиц.

Эмульсия получается, если величина поверхностного натяжения расплавленного флегматизатора (σ_f) больше величины поверхностного натяжения дисперсной среды (воды) с учетом растворенного в ней эмульгатора, например щелочи (σ_e). Движущей силой образования эмульсии (F) единицы поверхности мономолекулярного слоя является разность между этими величинами:

$$F = \sigma_f - \sigma_e.$$

Твердая частица будет взаимодействовать с эмульсией при условии, если смачивание ПАВ ВВ будет больше смачивания водой. При этих условиях частица ВВ будет находиться на границе раздела фаз, то есть в наиболее активной зоне, где она станет стремиться погружаться в масляную фазу.

Для равномерного распределения флегматизатора на поверхности твердой частицы ВВ необходимо, чтобы капиллярное давление (P_c) на кривой поверхности частицы было больше P_0 на плоской поверхности. Иначе углы кристалла не будут покрыты флегматизатором. На рисунке 2.2 приведена описанная вторая схема флегматизации ВВ.

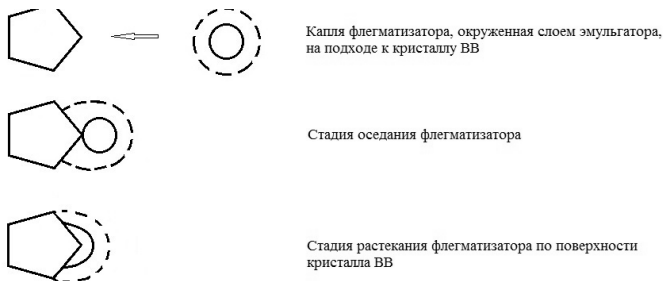


Рис. 2.2
Вторая схема флегматизации ВВ

Состав и свойства флегматизированных ВВ

Наибольшее распространение в России получили флегматизированные ВВ на основе гексогена. В таблице 2.2 даны основные характеристики наиболее широко распространенных флегматизированных композиций.

Таблица 2.2

Свойства флегматизированных ВВ

Индекс	Состав, %	Скорость детонации, км/с	Чувствительность к удару, %	Бризантность по Гессу, мм	Плотность заряда, г/см ³
A-IX-1	Гексоген — 95, сплав Ледина — 5	8,3	24	23	1,67
A-IX-2	Гексоген — 76, сплав Ледина — 4, алюминий — 20	8,4	50	22	1,81
A-IX-3	Гексоген — 90, сплав Ледина — 10	8,0	12	20	1,62
Окфол	Октоген — 96, оксизин — 4	8,75	24	24	1,80

Составы типа A-IX-1 применяются для снаряжения кумулятивных боеприпасов и приготовления состава A-IX-2.

Окфол также главным образом применяется для снаряжения кумулятивных боеприпасов.

Составы на основе флегматизированного гексогена и алюминия (подобные составу A-IX-2) обладают сильным фугасным ($\Phi = 530$ мл), достаточно мощным дробящим и сравнительно высоким зажигательным действиями. Поэтому они в основном применяются для снаряжения осколочно-фугасных, осколочно-зажигательных и бронебойных боеприпасов.

Отметим, что флегматизированные ВВ обладают рядом недостатков, к важнейшим из них относятся: относительно низкая температура их эксплуатации, которая не превышает 100°C, малая механическая прочность зарядов и, естественно, пониженная по сравнению с такими же ВВ, но без флегматизатора энергетика.

2.2.3. Термостойкие флегматизированные ВВ

Развитие военной техники поставило ряд проблем перед производством ВВ и боеприпасов. К числу таких проблем относится снижение чувствительности и повышение термостойкости зарядов ВВ.

Недостаточная термостабильность зарядов флегматизированных ВВ является следствием легкоплавкости флегматизатора. При температуре выше температуры плавления флегматизатор начинает вытекать из заряда, нарушая тем самым сплошность состава, что может привести как к отказам, так и к преждевременным взрывам при выстреле. Основное же взрывчатое вещество может эксплуатироваться и при более высокой температуре. Для гексогена это около 170°C, для октогена — 200°C. Для снижения чувствительности ВС взрывчатый состав должен обладать высокой плотностью (низкой пористостью — не выше 0,5%) и высоким содержанием полимерного флегматизатора (12–20 масс. %). В зависимости от назначения составы этой группы могут также содержать алюминий, перхлорат аммония (ПХА), различные энергетические и технологические добавки.

Решить проблему повышения термостабильности флегматизированных ВВ можно несколькими способами. Это введение в штатные ВВ высокомолекулярных соединений с высокой термической стабильностью и хорошей адгезией к ВВ или замена части традиционного флегматизатора на термостойкое пластичное вещество. На практике большее распространение получил второй метод флегматизации как более дешевый.

Имеется два класса каучуков, обладающих повышенной термостойкостью — это силиконовые и фторированные каучуки. Силиконовые каучуки в неотвержденном состоянии имеют низкие механические характеристики и плохую совместимость со штатными взрывчатыми веществами. Более привлекательны — фторполимеры. Эти высокомолекулярные соединения химически инертны по отношению к ВВ и конструкционным материалам, поверхностно активны, термостабильны. Введение нескольких процентов фторполимера в гексоген или октоген резко снижает чувствительность этих ВВ к механическим воздействиям. Термостойкость полученных составов определяется природой наполнителя. По взрывчатым характеристикам они близки А-IX-1 и окфолу соответственно.

По второму способу получения термостойких флегматизированных составов в основное вещество вводят такое количество оксизина, которого более чем достаточно для создания адсорбционного слоя. Гидродинамический слой создается путем введения нескольких процентов графита — пластичного и термостойкого вещества, который закрепляется на поверхности ВВ оксизином. По термостойкости и по

взрывчатым свойствам эти составы, носящие название гекфит и окфит, аналогичны составам с фторполимером.

Флегматизированные ВВ после расснаряжения устаревших боеприпасов успешно используются в горнодобывающей промышленности при проведении буровзрывных работ.

2.2.4. Технология приготовления флегматизированных ВВ

Технология приготовления всех перечисленных выше продуктов одинакова и включает в себя следующие основные стадии:

- 1) транспортировка компонентов и хранение;
- 2) подготовка компонентов;
- 3) приготовление флегматизатора;
- 4) приготовление эмульсии флегматизатора;
- 5) флегматизация ВВ;
- 6) фильтрация суспензии флегматизированного состава;
- 7) сушка состава;
- 8) просеивание, контроль, укупорка состава ВВ.

Рассмотрим все эти операции, начиная со второй и заканчивая седьмой операцией, поскольку первая и восьмая операции являются тривиальными и не требуют специальных пояснений. Технологический процесс изображен на рисунке 2.3.

Приготовление сплава флегматизатора. В реактор (1), обогреваемый через рубашку, загружаются куски флегматизатора, температуру при этом поднимают до 100°C. После плавления кусков в аппарат загружается навеска красителя. Содержимое аппарата перемешивается до получения однородной массы. Готовый окрашенный флегматизатор через нижний слив аппарата через сито выливается на алюминиевые противни (2). Еще неокончательно остывший флегматизатор режут на куски и упаковывают в бумажные мешки.

Приготовление эмульсии флегматизатора. В эмульгатор (3) (аппарат с мешалкой) заливают через мерник (4) профильтрованную воду, затем вручную загружают навеску флегматизатора. Температуру в аппарате повышают до 95–98°C подачей пара в рубашку для создания эмульсии типа масло в воде. После этого в эмульгатор медленно приливают расчетное количество водного раствора едкого натра из мерника (5) для улучшения эмульгирования. После прилива NaOH

содержимое аппарата при температуре 95–98°C выдерживают в течение 15–20 минут.

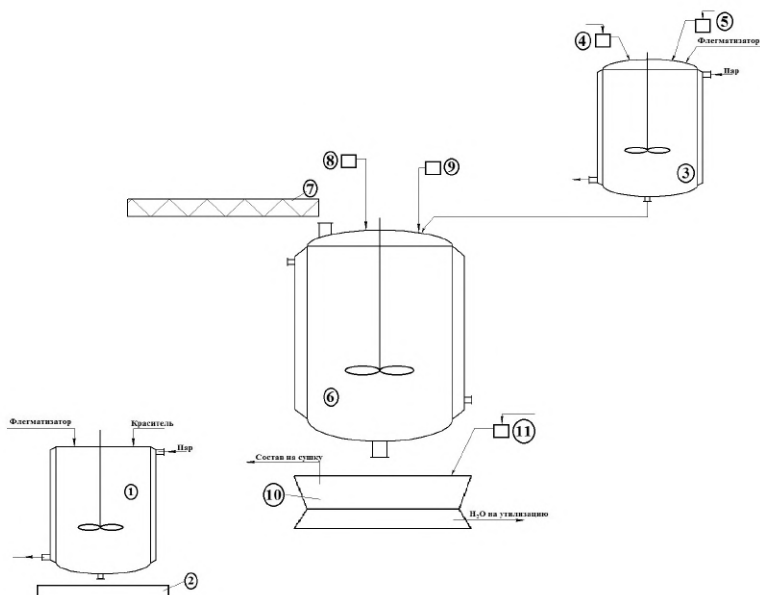


Рис. 2.3

Схема технологического процесса изготовления флегматизированного ВВ

Флегматизация. В аппарат-флегматизатор (6) из мерника (8) заливают профильтрованную воду. Затем при помощи вибродозатора (7) загружают в аппарат навеску увлажненного флегматизируемого ВВ. Включают мешалку и содержимое аппарата подогревают до температуры 94–96°C подачей пара в рубашку. При этой температуре из эмульгатора (3) подают эмульсию флегматизатора с температурой не ниже 95°C. Содержимое аппарата (6) перемешивают в течение 15–20 минут при температуре 94–96°C, затем охлаждают до 60–65°C подачей охлаждающей воды в рубашку. Происходит осаждение флегматизатора на кристаллах ВВ. Для окончательного разрушения эмульсии и закрепления флегматизатора на поверхности кристаллов ВВ приливают в аппарат (6) из мерника (9) избыток водного раствора азотной кислоты сверх расчетного количества. По окончании подачи азотной

кислоты содержимое аппарата перемешивают еще 10 минут. После чего отбирают пробу на прозрачность воды. При положительном результате анализа суспензию флегматизированного ВВ охлаждают до 35–40°C и сливают при перемешивании на вакуум-воронку (100).

Фильтрация. На вакуум-воронке (10) отжимают воду при остаточном давлении 500–600 мм рт. ст. Затем производят двойную водную промывку осадка из мерника (11). Продукт перегружают на противни и направляют на сушку. Фильтрат через вакуум-приемник направляют в хранилище. Из хранилища фильтрат по мере надобности используют для следующих операций. Избыток оборотной воды сливают в специальные емкости и отправляют на утилизацию.

Сушка. Сушка составов флегматизированных ВВ производится при повышенной температуре в статических или динамических условиях. Так, на продувных вакуум-воронках составы сушат горячим воздухом, который подается сверху на продукт или снизу под продукт. В вакуум-сушильных шкафах продукты сушат за счет повышенной температуры стенок и полок шкафа. Наибольшую производительность имеют сушилки кипящего слоя. В них составы сушат в псевдоожиженном слое током горячего воздуха

2.3. Сплавы ВВ

Сплавами ВВ называют сложные взрывчатые составы, образованные из нескольких расплавленных и взаимно растворенных индивидуальных ВВ, между которыми нет четкой границы раздела. На основе сплавов из отдельно взятых индивидуальных ВВ могут быть созданы сложные составы с лучшими свойствами, чем исходные. В технологии снаряжения боеприпасов сплавы ВВ дают возможность применять более простые способы снаряжения зарядов сложной конфигурации. Сплавы позволяют применять более мощные неплавкие ВВ в сочетании с легкоплавкими для приготовления физически однородных разрывных зарядов.

Сплавы классифицируются на следующие виды:

1) сплавы — механические смеси коллоидных зерен входящих в него компонентов. Соотношение компонентов в смеси может принимать любое значение;

2) сплавы — химические соединения. Соотношение между компонентами вполне определено. Они образуют одну фазу, имеют общую кристаллическую решетку;

3) сплавы — твердые растворы. Растворы однофазные, у них одна кристаллическая решетка. Они существуют в определенном интервале концентраций компонентов. Бывают твердые растворы замещения, когда молекулы одного вещества замещают молекулы другого вещества в кристаллической решетке. В твердых растворах внедрения молекулы одного вещества внедряются в кристаллическую решетку между молекулами другого.

Количественные и качественные изменения, происходящие в сплавах при изменении концентраций компонентов и внешних условий, подчиняются закону равновесия фаз (правило фаз Гиббса), который формулируется следующим образом: сумма числа фаз (Φ) системы и числа степеней свободы (C) равна числу компонентов (K), увеличенному на единицу:

$$\Phi + C = K + 1, C = K + 1 - \Phi.$$

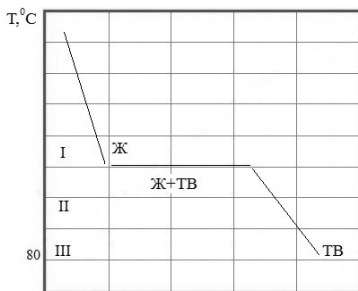


Рис. 2.4

Диаграмма застывания тротила

В качестве примера рассмотрим диаграмму застывания тротила (рис. 2.4).

В зоне I тротил находится в жидком состоянии. В этом случае количество степеней свободы (C) будет равно $C = K + 1 - \Phi = 1 - 1 + 1 = 1$, т. е. во время охлаждения расплава тротила происходит изменение температуры.

В области фазового перехода II при кристаллизации тротила (температура около 80°C), где одновременно присутствуют жидкая и твердая фаза число степеней свободы равно $C = 1 - 2 + 1 = 0$. Следовательно, тротил должен кристаллизоваться при постоянной температуре, что и наблюдается в действительности. В зоне III присутст-

вует только твердая фаза тротила и так же, как в зоне I, число степеней свободы $S = 1$.

При смешении веществ происходит снижение температуры плавления. Величину снижения температуры плавления сплава двух веществ можно рассчитать по уравнению Шредера:

$$\lg N = \frac{\lambda(T - T_f)}{4,75T \cdot T_f},$$

где N — молярная доля избыточного компонента, образующего сплав; λ — скрытая теплота плавления компонента; T — температура плавления избыточного компонента; T_f — ожидаемая температура плавления сплава.

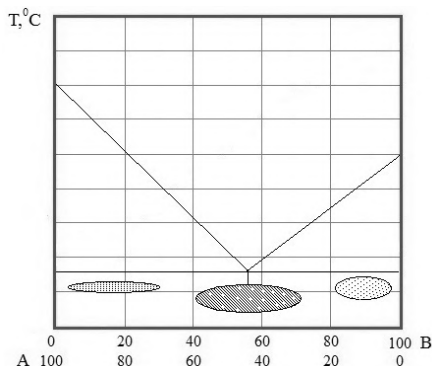


Рис. 2.5

Диаграмма состояния сплава

Графическим выражением закона равновесия фаз является диаграмма состояния (рис. 2.5).

В сплавах структура заряда ВВ влияет на восприимчивость к ударной волне, на критический диаметр детонации, чувствительность к удару. Диаграмма состояния позволяет предсказать кристаллическую структуру сплавов после охлаждения. Прочность сплавов ВВ зависит от их состава. Наибольшая прочность и наименьший размер кристаллов у эвтектических сплавов.

Сплавы на основе тротила и гексогена (сплавы ТГ)

Гексоген растворяется в расплавленном тротиле в очень незначительных количествах, при этом образуется бинарная простая эвтек-

тика: 97% тротила и 3% гексогена; с температурой кристаллизации 78,6°С (рис. 2.6).

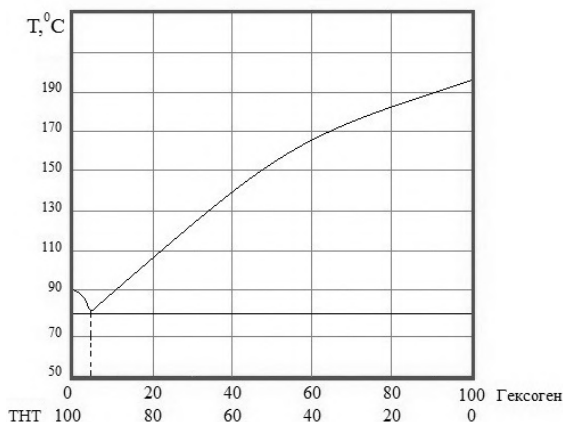


Рис. 2.6

Диаграмма состояния сплава «тротил — гексоген»

Сплавы ТГ стали применяться в технике снаряжения боеприпасов с начала Второй мировой войны, причем главным образом для снаряжения кумулятивных боеприпасов. В настоящее время эти сплавы являются одним из наиболее распространенных видов сложных ВВ как в военной, так и мирной технике (табл. 2.3). Они применяются для снаряжения ответственных боеприпасов самого различного назначения, особенно там, где зарядные камеры имеют сложную форму и сечение.

Таблица 2.3

Основные свойства сплавов ТГ

Т/Г, %	Плотность литых зарядов, г/см ³	Чувстви- тельность к удару, %	Скорость детонации, м/с	Бризант- ность по Гессу, мм	Фугас- ность, мл	$T_{всп},$ °С
99/1	1,60	6	6800	16,0	300	320
95/5	1,61	14	7000	16,6	306	310
90/10	1,62	14	7100	17,4	316	302
80/20	1,63	20	7200	17,7	321	298
75/25	1,63	20	7300	18,0	330	295
70/30	1,64	22	7400	18,9	353	280

Т/Г, %	Плотность литых зарядов, г/см ³	Чувстви- тельность к удару, %	Скорость детонации, м/с	Бризант- ность по Гессу, мм	Фугас- ность, мл	$T_{всп}$, °С
60/40	1,67	22	7500	22,2	358	231
50/50	1,70	24	7600	22,7	368	226
40/60	1,70	30	7700	23,5	388	225
30/70	1,71	31	7800	24,2	400	225
20/80	1,72	40	8300	24,5	440	315

Наиболее широко применяются сплавы ТГ с соотношением 40/60, 50/50, 60/40, 70/30, 80/20. Все сплавы тротила и гексогена негигроскопичны и обладают достаточно высокой химической стойкостью.

Поскольку допустимое напряжение для этих сплавов при выстреле 70–75 МПа, то сплавы ТГ без флегматизаторов можно применять только в боеприпасах, испытывающих малые ускорения.

При увеличении содержания гексогена увеличивается скорость детонации, бризантность, фугасность сплавов. Однако при этом растет и чувствительность к удару. Причем последняя зависимость имеет нелинейный характер (рис. 2.7).

Сплавы с содержанием до 50% гексогена отливаются в однородные изделия свободным литьем, сплавы с содержанием гексогена 80% легко уплотняются вибрацией, трамбовкой прессованием. Выпускаемые промышленностью составы имеют индекс: ТГ-50, где Т — тротил, Г — гексоген, 50 — содержание тротила в сплаве в процентах.

Сплав ТГ-50 применяется для снаряжения осколочных и кумулятивных боеприпасов. Сплав ТГ-40 применяется для снаряжения тех же боеприпасов среднего и крупного калибра. Сплав ТГ-20 применяется для снаряжения кумулятивных и осколочно-фугасных боеприпасов.

Тротил-гексогеновые смеси используются в армии США и их союзников по НАТО для снаряжения бронебойных, кумулятивных и других видов боеприпасов. Так, американский сплав В₃ близок по составу смеси ТГ-0 и используется для снаряжения таких же осколочных и кумулятивных боеприпасов среднего и крупного калибров.

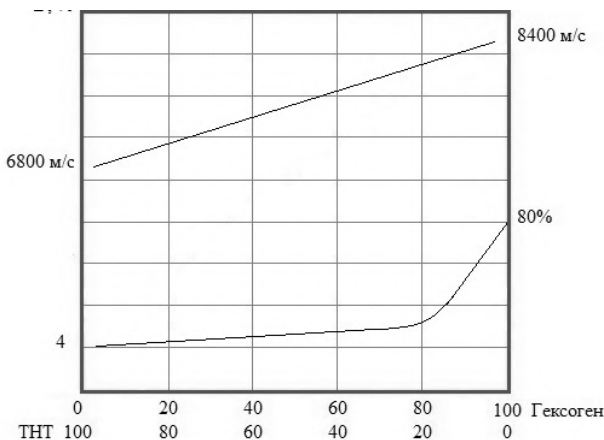


Рис. 2.7

Диаграмма изменения скорости детонации и чувствительности к удару сплавов ТГ в зависимости от содержания гексогена

Сплавы тротила с ТЭНом

Система «тротил — ТЭН» принадлежит к типу двухкомпонентных сплавов с простой эвтектикой. Эвтектика имеет температуру плавления $76,1^{\circ}\text{C}$ и содержит 13% ТЭНа (рис. 2.8).

Сплавы тротила с ТЭНом во Вторую мировую войну применялись для снаряжения кумулятивных боеприпасов в Германии, США и Венгрии. Сплавы с содержанием ТЭНа около 50% носят название пентолитов. Они свободно не льются, а при повышенной температуре приобретают сравнительно высокие термопластические свойства.

Сплавы тротила с ТЭНом по мощности мало отличаются от сплавов тротила с гексогеном. Однако они более чувствительны к внешним воздействиям, поэтому в настоящее время не находят практического применения при снаряжении боеприпасов.

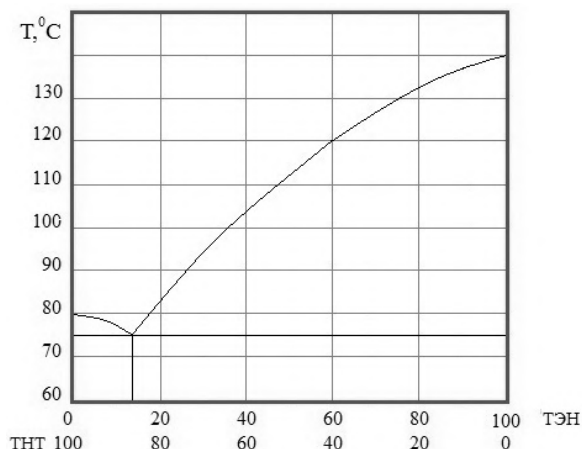


Рис. 2.8

Диаграмма состояния сплава «тротил — ТЭН»

Таблица 2.4

Свойства сплавов тротила с ТЭНом

Тро- тил/ ТЭН, %	Плот- ность зарядов, г/см ³	Чувстви- тель- ность, %	Скорость детонации, м/с	Бризант- ность по Гес- су, мм	Фугас- ность, мл	$T_{всп}$ °C
95/5	1,61	8	6900	17,3	310	300
90/10	1,63	21	7100	18,5	347	396
80/20	1,64	22	7100	20,5	364	294
70/30	1,67	32	7200	21,0	391	272
60/40	1,68	37	7700	21,0	401	270
50/50	1,68	48	7700	21,0	406	265
40/60	1,71	51	7800	21,0	415	264

Кроме того, эти сплавы уступают по химической стойкости аналогичным сплавам на основе гексогена. Экспериментально установлено, что при добавлении к ТЭНу ароматических нитросоединений химическая стойкость композиций уменьшается. Особенно низкую химическую стойкость имеет эвтектика, которая разлагается при 100°C. Установлено, что сплавы тротила с ТЭНом при нагревании начинают разлагаться с выделением оксидов азота уже при 90–100°C. Указанные недостатки, конечно, полностью не исключают возмож-

ность применения этих сплавов, особенно в военное время. Эти сплавы используются, хотя и достаточно редко, в качестве инициирующих зарядов (боевиков) для возбуждения детонации в малочувствительных промышленных ВВ.

Сплавы тротила с динитронафталином

Технический динитронафталин состоит из 1,8-динитронафталина (около 68%), 1,5-динитронафталина (около 28%), 1,3-динитронафталина с незначительной примесью мононитронафталина (рис. 2.9). Таким образом, сплавы тротила с техническим динитронафталином образуют сложную систему из четырех компонентов. Сами изомеры 1,8- и 1,5-динитронафталина образуют простую двойную эвтектику с температурой кристаллизации 146°C и с содержанием 23% 1,5-динитронафталина. 1,8-динитронафталин (ДНН) с тротилом образует молекулярное соединение, разлагающееся при 71,5°C.

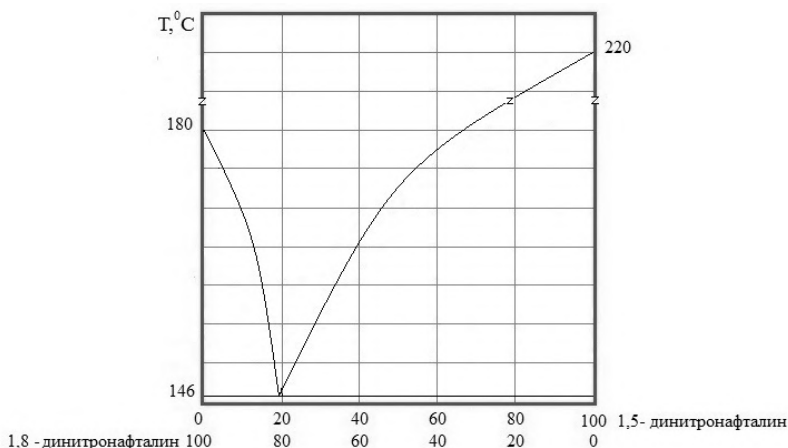


Рис. 2.9

Диаграмма состояния системы 1,8- и 1,5-динитронафталинов

Молекулярному соединению соответствует состав 25% 1,8-динитронафталина и 75% тротила (диаграмма состояния приведена на рис. 2.10).

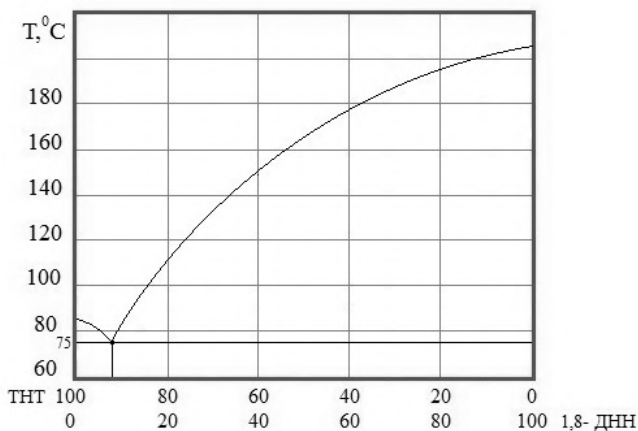


Рис. 2.10

Диаграмма состояния системы тротил-1,8-динитронафталин

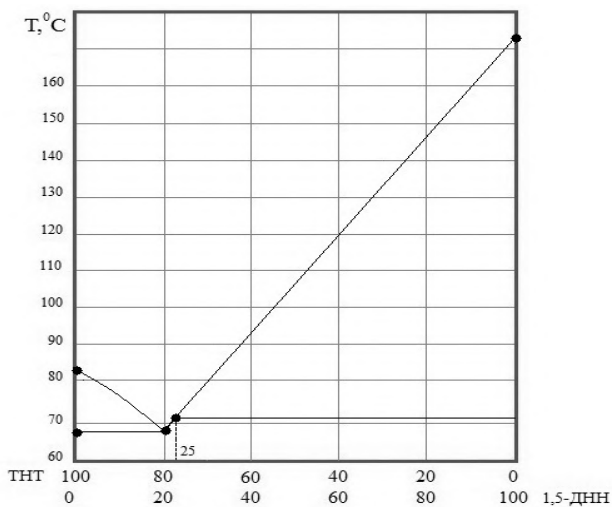


Рис. 2.11

Диаграмма состояния системы тротил-1,5-динитронафталин

С 1,5-динитронафталином тротил образует двойную систему с эвтектикой, содержащей 7% 1,5-ДНН и 93% тротила с температурой кристаллизации 75°C (рис. 2.11).

Молекулярное соединение с тротилом образует эвтектику с содержанием 20% 1,8-динитронафталина с температурой кристаллизации 63,4°C.

Технический ДНН имеет температуру затвердевания 150–160°C. Для инженерных расчетов часто принимают, что система «тротил — технический ДНН» имеет одну эвтектику, содержащую 83% тротила и 17% ДНН и имеющую температуру кристаллизации 71°C. На самом деле их две. Одна имеет $T_{cr} = 50^\circ\text{C}$ и содержит 70% тротила, вторая содержит 90% тротила и кристаллизуется при 71°C.

Для снаряжения осколочных и осколочно-фугасных боеприпасов нашли применение ряд сплавов и механических смесей тротила — ДНН. Это сплавы 90/10 (К-2), 84/16 (К-3) и механическая смесь для шнекования 50/50. Их скорость детонации около 6000 м/с. Кроме того, нашли применение сплавы ТД-50, ТД-60 (цифра соответствует содержанию тротила в сплаве).

Таблица 2.5

Свойства смесей тротил — ДНН

Индекс состава	Плотность, г/см ³	Чувствительность к удару, %	Скорость детонации, м/с
ДНН	1.45	0	1200
ТД-50	1.54	6	5750
ТД-60	1.50	4	5930

Составы с ДНН имеют пониженную восприимчивость к детонации и пониженную по сравнению с тротилом скорость детонации. Для инициирования требуют мощного детонатора. Взрывчатые составы с ДНН применялись для снаряжения боеприпасов (в основном мин), корпуса которых изготавливались из сталистого чугуна (чугун с добавлением стального лома) с целью избежания излишнего дробления корпусов при взрыве.

Сплавы тротила и 2,4-динитротолуола

Эти сплавы непосредственного значения для снаряжения боеприпасов не имеют. Непригодность их связана с низкоплавкостью эвтектики (рис. 2.12), которая в летние жаркие дни переходит в жидкое состояние.

Благодаря увеличению объема заряда при плавлении эвтектика выдавливается из основного заряда, который утрачивает свою первоначальную физическую структуру и изменяет взрывчатые свойства.

Поэтому эксудация (способность выделять из своего состава жидкие или легкоплавкие компоненты) эвтектики может послужить причиной отказа детонации. В реальных условиях в тротиле допускается содержание не более 0,2–0,3% 2,4-динитротолуола (2,4-ДНТ). Тем не менее сплавы тротила с 2,4-ДНТ, которые обладают сравнительно высокой пластичностью, находят применение в производстве пластичных ВВ для горнорудной промышленности.

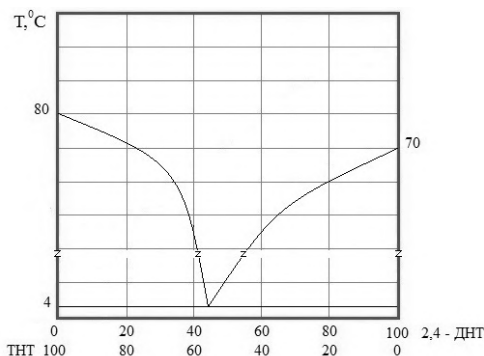


Рис. 2.12

Диаграмма состояния системы «тротил — 2,4-ДНТ»

Для технологических расчетов можно принять без большой погрешности, что сплав тротила с 2,4-ДНТ простой бинарный. Температура плавления эвтектики 44,6°C и она содержит 53% ДНТ.

Сплавы тротила и 2,4-динитротолуола маловосприимчивы к возбуждению детонации (т. е. являются малочувствительными ВС) и поэтому нуждаются в мощном детонаторе.

Сплавы тротила с динитробензолом

В самостоятельном виде эти сплавы не применялись, но в сочетании с некоторыми окислителями, например с нитратом аммония NH_4NO_3 или нитратом кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, употреблялись главным образом в Германии в обеих мировых войнах для снаряжения авиа-

бомб. Использование динитробензола было связано с нехваткой тротила. Благодаря присутствию динитробензола (ДНБ) сплавы токсичны и могут применяться при крайней необходимости. Они малочувствительны к экстремальным внешним воздействиям. Заряды из этих сплавов менее мощные, чем заряды из чистого тротила, маловосприимчивы к детонации. Диаграмма состояния «тротил — динитробензол» приведена на рисунке 2.13. Из диаграммы видно, что температура плавления эвтектик невелика, что также является недостатком этого сплава.

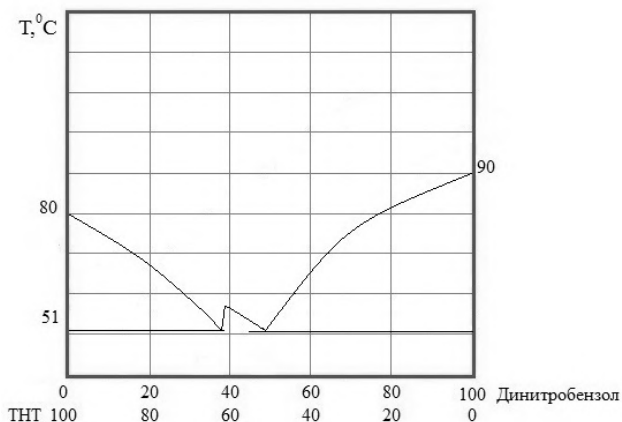


Рис. 2.13

Диаграмма состояния системы «тротил — динитробензол»

В России в Первую мировую войну сплавы тротила с небольшим содержанием ДНБ, флегматизированные нафталином, применялись для снаряжения морских бронебойных снарядов. Они известны как русские бронебойные смеси. Применялся, например, состав: тротил — 84,5%, ДНБ — 2,8%, нафталин — 12,7%.

Сплавы тротила с октогеном

Из сплавов тротила с октогеном практическое применение нашел сплав, содержащий 20% тротила. Он имеет индекс ТОК-20, его плотность $1,81 \text{ г/см}^3$, скорость детонации превышает 8400 м/с . Сплав ТОК-20 более мощный ВВ по сравнению со сплавами ТГ.

Сплав имеет удовлетворительную чувствительность к удару и используется для снаряжения противотанковых управляемых реактивных снарядов (ПТУРС) и зенитных управляемых реактивных снарядов (ЗУРС).

Сплавы тротила с тринитроксилолом

Эта система образует простую эвтектику, состоящую из 7,5% тринитроксилола (ТНК) и 92,5% тротила (ТНТ). По взрывчатым свойствам сплавы «ТНТ — ТНК» несколько уступают литому тротилу. Так, скорость детонации литых зарядов из сплава ТНТ — ТНК с плотностью $1,57 \text{ г/см}^3$ при содержании в сплаве до 30% ТНК лежит в пределах 6400–6700 м/с, работоспособность (фугасность) 260–290 см^3 . Сплавы, содержащие более 30% ТНК, имеют скорость детонации 6200–6500 м/с, их работоспособность 250–260 см^3 . Сплавы более чувствительны к удару, чем тротил. Среднее значение их чувствительности по стандартной пробе 22–28%.

Характерной особенностью сплавов тротила с ТНК является то, что из них образуются прочные мелкокристаллические отливки с равномерным распределением кристаллов компонентов по всей массе заряда. Профессором Ленинградского технологического института Я. И. Лейманом был разработан сплав, состоящий из 95% ТНТ и 5% ТНК. Сплав получил название «сплав Л». Он оказался чувствительным к импульсу маломощного детонатора и применялся во Вторую мировую войну для снаряжения ручных гранат методом заливки. Для снаряжения артиллерийских боеприпасов отливкой и шнекованием профессор Холево из Казанского химико-технологического института перед войной предложил составы, состоящие из 80–90% тротила и 10–20% тринитроксилола.

Сплавы тротила с тринитробензолом

Тротил с тринитробензолом (ТНБ) образует простую бинарную эвтектику с температурой кристаллизации $51,5^\circ\text{C}$ и содержащую 32,6% ТНБ и 67,4% ТНТ (рис. 2.14).

По фугасности данный сплав превосходит тротил, однако его трудно получать в промышленных масштабах вследствие проблем, связанных с промышленным получением ТНБ из ДНБ. Поэтому тринитробензол производится в небольших количествах из тротила (окислением группы CH_3 и последующим декарбоксилированием).

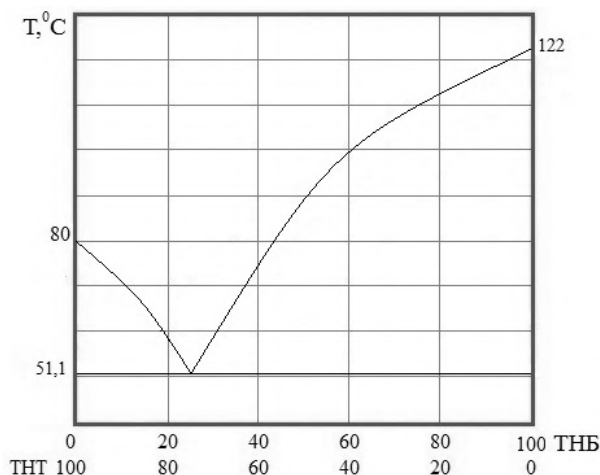


Рис. 2.14

Диаграмма состояния системы «ТНТ — ТНБ»

Сплавы тротила с тетрилом

Система образует диаграмму первого рода. Эвтектика содержит 40% тетрила и 60% тротила и имеет температуру кристаллизации $61,1^\circ\text{C}$ (рис. 2.15).

Сплавы тротила с тетрилом применялись в ограниченном количестве в России в период Первой мировой войны для изготовления дополнительных детонаторов к минно-торпедным боеприпасам. В США для этих целей применяется сплав 70% тетрила и 30% тротила.

По взрывчатым свойствам сплавы тротил — тетрил превосходят тротил. Но уступают ему по безопасности, токсичности (очень токсичен тетрил, вследствие чего он снят с производства и применения) и химической стойкости.

Эвтектический сплав тротила с тетрилом использовался в качестве активного пластификатора для некоторых пластичных композиций. Сплавы обладают хорошей восприимчивостью к детонации и позволяют изготавливать дополнительные детонаторы обычной заливкой.

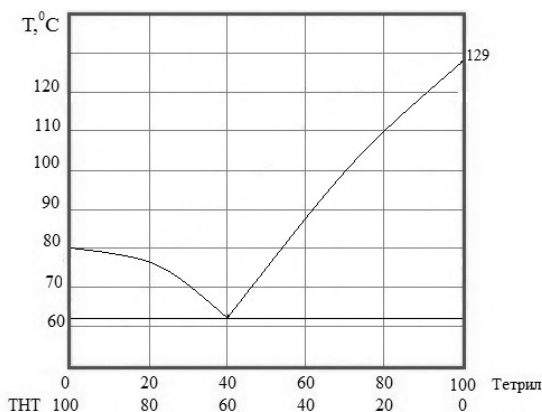


Рис. 2.15

Диаграмма состояния системы «тротил — тетрил»

Сплавы тротила с гексанитродифениламином (гексиллом)

В системе образуется эвтектика с температурой кристаллизации $78,2^\circ\text{C}$ и содержащая 90% тротила (рис. 2.16).

Эти сплавы широко применялись в двух мировых войнах для снаряжения мин и торпед. Наибольшее распространение сплавы получили в Германии и Японии. Для снаряжения применялись сплавы тротил/гексил 60/40, 65/35.

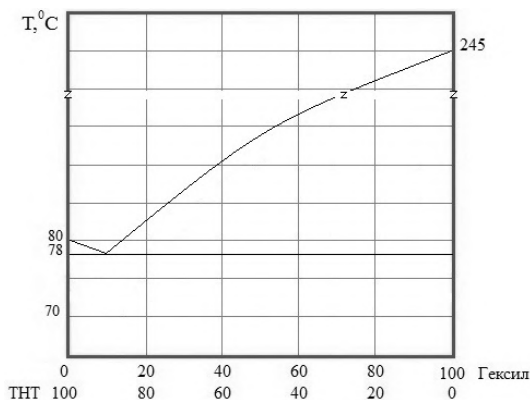


Рис. 2.16

Диаграмма состояния системы «тротил — гексил»

Они имели скорость детонации около 7100 м/с. В Швеции из сплава, содержащего 30–40% тротила и 60–70% гексила, изготовлялось термопластичное ВВ «Новат» с плотностью 1,7 г/см³ для снаряжения мин и торпед. По своим физико-химическим свойствам сплавы тротила с гексилом сходны с чистым гексилом. Они обладают повышенной токсичностью и химической активностью. Применение этих сплавов возможно в военное время.

Сплавы динитробензола с гексогеном

Из многочисленных сплавов динитробензола (ДНБ) заслуживают внимания лишь сплавы с гексогеном как резервные взрывчатые системы военного времени. В частности, они использовались в Германии во время Второй мировой войны для снаряжения авиабомб. Ввиду большой токсичности ДНБ снаряжение бомб проводили заливкой с мощной вентиляционной системой и полной герметизацией оборудования.

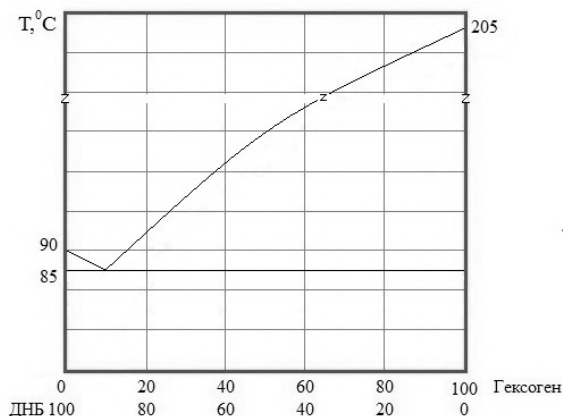


Рис. 2.17

Диаграмма состояния системы «динитробензол — гексоген»

В системе «динитробензол — гексоген» образуется простая эвтектика с температурой кристаллизации 85,1°C и содержанием гексогена 8,5% (рис. 2.17).

По своим взрывчатым характеристикам эти сплавы тождественны сплаву тротила с динитронафталином в отношении 80/20.

В таблице 2.6 приведены некоторые свойства сплавов динитробензола с гексогеном. Имеется еще несколько различных сплавов, и они все имеют второстепенное значение, поэтому не здесь рассматриваются.

Таблица 2.6

Основные характеристики сплавов ДНБ с гексогеном

ДНБ/ гексо- ген	Плот- ность, г/см ³	Чувстви- тельность, %	Бризант- ность, мм	Скорость детона- ции, м/с	Фугас- ность, мл
80/20	1,52	6	14–16	6500	306
70/30	1,55	10	14–16	6800	318
60/40	1,57	18	17–20	7050	335
50/50	1,58	34	17–20	7400	360
40/60	1,60	36	17–20	7750	374

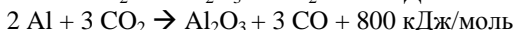
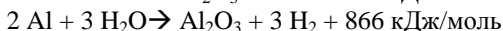
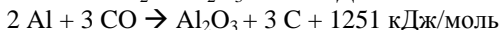
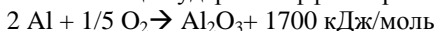
2.4. Плавкие взрывчатые композиции

Плавкими взрывчатыми композициями называются сложные ВВ, которые при температурах значительно ниже температур разложения данной системы содержат в своем составе один или несколько компонентов в расплавленном состоянии в количестве, достаточном для придания системе жидкотекучести, и один или несколько компонентов, частички которых находятся в твердом состоянии.

По физико-химической природе плавкие взрывчатые композиции (ВК) являются механическими смесями. При охлаждении расплавленные вещества, кристаллизуясь, цементируют в монолитные отливки все компоненты данной системы. Таким образом, плавкие компоненты являются связкой, позволяющей формировать отливкой разрывные заряды необходимой прочности, формы и величины.

Для повышения температуры и теплоты взрыва в состав ВК вводят высококалорийное металлическое горючее. Среди металлов выделяющих большое количество тепла при окислении, можно отметить Al, Mg, Be, В, Zr и некоторые другие. Наибольшее распространение во взрывчатых системах нашел алюминий. Этот металл плавится при температуре 660°C и кипит при 2500°C. Его оксид (Al₂O₃) имеет температуры плавления и кипения 2030 и 3000°C соответственно. Температура пламени при горении алюминия в токе кислорода превышает 3000°C. В условиях взрыва алюминий реагирует не только со свободным кислородом, но и с водой, а также с диоксидом углерода

да. Ниже приведены основные химические реакции с участием алюминия, обеспечивающие ударный эффект при взрыве:



Следует отметить, что изменения объема газа в двух последних реакциях не происходит. Скорость реакции окисления алюминия кислородом относительно низка. Еще ниже она при взаимодействии алюминия с водой и углекислым газом. Поэтому если скорость детонации алюминийсодержащего ВВ больше 5 км/с, то металл не успевает прореагировать в зоне детонации. Следовательно, алюминий в смеси со штатными ВВ ведет себя как инертная добавка. Он отнимает тепло в зоне химической реакции и, следовательно, снижает скорость детонации. Однако он реагирует за плоскостью Чепмена — Жуге с продуктами взрыва ВВ при их расширении и тем самым повышает фугасность заряда. То есть алюминий окисляется во вторую стадию взрыва. Во взрывчатых смесях используют алюминиевую пудру или алюминиевый порошок.

Плавкие ВВ на основе тротила и алюминия (ТА)

Плавкие смеси тротила с алюминием имеют некоторые преимущества по сравнению с тротилом. При их взрыве благодаря протеканию вторичных реакций продуктов взрыва с алюминием выделяется больше энергии, чем при взрыве тротила. То есть их работоспособность (фугасность) выше. Выше температура взрыва, больше пламенность и зажигательная способность. Дробящее действие этих плавких ВВ такое же, как и у тротила. Серьезным недостатком ТА является низкая восприимчивость к детонационному импульсу. Вторым недостатком — плохая жидкотекучесть. При отливке иногда наблюдается вспенивание, расслаивание системы, что приводит к недостаточной плотности зарядов и к неоднородности по механическим свойствам.

Композиции с содержанием (25–40)% алюминия малочувствительны к прострелу пульей. Чувствительность этих ВВ к удару зависит от количества и дисперсности алюминия. Наиболее чувствительны ВК с порошком алюминия, менее чувствительны с алюминиевой пудрой. В настоящее время плавкая смесь «тротил — алюминий» не нашла широкого применения для снаряжения боеприпасов. В принципе, ее можно использовать в осколочных или осколочно-фугасных боеприпасах

полевой ствольной и реактивной артиллерии и в некоторых видах авиабомб. Некоторые свойства плавких ВК приведены в таблице 2.7.

Из таблицы следует, что вводить в тротил более 20% алюминия нецелесообразно, так как фугасность начинает резко уменьшаться. Снижается и бризантность. Одновременно начинает расти чувствительность к удару.

Таблица 2.7

Плавкие взрывчатые композиции ТА

ТНТ/ Al %	Плотность г/см³	Чувствительность %	Бризантность по Гессу, мм	Скорость детонации, м/с	Фугасность мл
90/10	1,65	4	15,4	6600	328
84/16	1,63	4	15,6	6400	381
82/18	1,60	4	15,8	6400	390
80/20	1,60	4	15,8	5900	390
75/25	1,54	16	11,4	5600	305
70/30	1,54	22	9,6	5400	280

В ряде современных работ показано, что введение широко известного наноразмерного алюминия Alex в систему ТНТ/Al приводит к заметному росту как скорости детонации, так и удельной теплоты взрыва.

Широкое применение смеси ТА нашли в горнорудной промышленности под названием алюмотол. Алюмотол применяется в сыпном виде для заряжания обводненных скважин, особенно с проточной водой без ограничения времени пребывания в скважинах без потери или снижения взрывчатых свойств. Гранулы алюмотола с плотностью 1,52–1,68 г/см³ хорошо тонут в воде, компактно укладываются в зарядной емкости. При детонации алюмотола в воде на второй стадии взрыва алюминий восстанавливает также некоторое количество воды, находящейся в скважине. Поэтому содержание металла в смеси может превышать оптимальное количество, вычисленное для сухой ВК.

Применение алюмотола в сухих скважинах нецелесообразно как с экономической точки зрения, так и с позиции рационального использования энергии взрыва.

Плавкие взрывчатые композиции на основе тротила, гексогена и алюминия (ТГА)

Одной из наиболее широко применяемых сложных взрывчатых композиций являются плавкие ВВ на основе тротила, гексогена и алюминия. Впервые использование алюминия для улучшения

взрывчатых характеристик смесевых литых ВВ было запатентовано в Германии в 1900 г. Указанные композиции используются для снаряжения большинства крупнокалиберных боеприпасов.

В этих системах содержание диспергированного алюминия определяется возможностью принимать участие во вторичных реакциях. Оптимальное содержание металла во взрывчатых композициях составляет 16–20%.

Сегодня в мире (и, разумеется, в России) имеются алюминиевые порошки различных форм и размеров — от хлопьев до сферических частиц (<10 мкм). В последнее время повышенный интерес вызывает наноразмерный алюминий. Исследование процессов детонации бризантных алюминизированных составов на взрывные характеристики композиций показало, что характер влияния алюминия на взрывные характеристики зависит главным образом от природы ВВ и размера частиц алюминия. Алюминий, реагирующий на поверхности Чепмена — Жуге, имеет возможность поддерживать детонационный фронт. Можно ожидать, что мелкие частицы алюминия быстрее расходуются в зоне реакции с участием элементов С, Н, N, О, чем более крупные частицы.

Детальные исследования показали, что скорость детонации литевых зарядов непрерывно убывает при добавке алюминия свыше 20%. Установлено, что теплота взрыва растет с увеличением содержания алюминия, в то время как объем газообразных продуктов убывает. Величина QV достигает максимума при введении 18% Al, а его оптимальное содержание принято равным 20%.

Содержание гексогена может колебаться и в более широких пределах: от 18 до 70%. Увеличение содержания гексогена приводит к повышению мощности ВК. Однако количество гексогена при почти постоянном содержании алюминия ограничивается технологическими возможностями переработки. ВК, в которых тротила менее 20%, теряют свои реологические свойства. Практическое значение имеют ВК с содержанием 20–60% гексогена и 16–20% алюминия.

Плавкая смесь состава «ТНТ — гексоген — Al 60/24/16» применялась в СССР еще до Второй мировой войны для снаряжения торпед и донных мин. Примерно в тот же период составы ТГА были приняты на вооружение в армиях США, Германии, Англии. Для тех же целей за рубежом созданы ВК на основе ТЭНа (США) и на основе гексила (Германия, Япония) В послевоенный период в СССР

свойства взрывчатых композиций ТГА были значительно улучшены. В частности, понижена их чувствительность к механическим воздействиям и введены на вооружение составы, содержащие 50–60% гексогена. В таблице 2.8 представлены свойства некоторых составов ТГА.

Все смеси ТГА имеют достаточно высокую чувствительность к удару. До настоящего времени используется для снаряжения противотанковых мин состав ТГА-16 (см. табл. 2.8, п. 2). Высокую чувствительность систем ТГА можно понизить введением в их состав небольшого количества флегматизатора.

По первому способу флегматизатор растворяется в тротиле и флегматизирует весь состав. Экспериментально доказано, что лучшими флегматизаторами для ТГА являются: головакс, β -нафтол, фенантрен и некоторые эфиры жирных кислот. С меньшим успехом может применяться антрацен (он плохо растворяется в тротиле), динитронафталин и нафталин.

Таблица 2.8

Плавкие смеси «тротил — гексоген — алюминий»

ТНТ/Г/ Al, %	Плотность г/см ³	Чувствительность к удару, %	Скорость детонации, м/с	Бризантность по Гессу, мм	Фугасность, см ³
70/15/15	1,72	24	6950	16,8	380
60/24/16	1,68	36	7200	20,0	440
50/25/25	1,80	30	7700	20,8	440
60/20/20	1,79	36	7100	18,6	420
40/40/20	1,68	44	7800	23,2	480
30/54/16	1,70	45	7900	23,4	480
20/60/20	1,72	46	8050	24,2	485

По другому методу флегматизируют не весь состав, а только наиболее чувствительный компонент — гексоген. В этом случае температура плавления флегматизатора должна быть выше температуры плавления тротила. В СССР для флегматизации ВВ на основе тротила — гексогена — алюминия применяли главным образом головакс. Это достаточно хороший флегматизатор с сильным пламягасящим действием, но он обладает довольно сильными токсическими свойствами. При длительной работе с ним появляются серьезные кожные заболевания.

Все составы ТГА имеют высокую химическую стойкость: начало термического распада 160–270°C, интенсивный распад при 190–200°C. Заряды практически негигроскопичны и выдерживают длительное хранение. Ряд флегматизированных систем ТГА представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Состав и свойства флегматизированных систем ТГА

Индекс	ТНТ, %	А-IX-1, %	Гексо- ген, %	АI, %	Флег- матиза- тор, %	Фугас- ность, мл	Бризант- ность, мм	D, м/с
МС	19	64	—	17	—	490	21	<u>7500</u> 1,7
ТГАГ-5	60	—	24	16	5	480	18	<u>7200</u> 1,68
ТГАФ-5	40	—	40	15	5	485	19	<u>7350</u> 1,69

Флегматизатор у ТГАФ-5 — церезин, у ТГАГ-5 — головакс, которого берут 5% сверх 100%. Морская смесь (МС) применяется для снаряжения морских боеприпасов: торпед, мин и т. д. Составы ТГАГ-5, ТГАФ-5 применяются для снаряжения БЧ реактивной артиллерии и ряда других боеприпасов.

Технология приготовления плавких взрывчатых композиций

Суть приготовления литьевых взрывчатых композиций сводится к расплавлению плавких компонентов и последующего их соединения с кристаллическими наполнителями. Как правило, эти операции совмещаются в одном аппарате.

Существует несколько типов смесителей. Рассмотрим возможность их применения:

- перемешивание в смесителях с вращающимися механическими перемешивающими устройствами: якорными и рамными мешалками, шнековые смесители и т. д. Несмотря на возможность создания высокопроизводительных, непрерывных процессов смешения применение представляет большую опасность. К сожалению, практика показала, что наибольший процент взрывов при смешении ВК происходит при использовании смесителей с механическими перемешивающими устройствами;

– перемешивание в смесителях инерционного типа, в которых смешение осуществляется перемешиванием компонентов при вращении корпуса аппарата.

К смесителям инерционного типа относятся такие широко распространенные смесители, как так называемая «пьяная бочка». Достоинствами таких смесителей являются: отсутствие застойных зон и органов принудительного перемешивания, что повышает безопасность процесса. Метод достаточно прост. Недостатком является периодичность процесса и, как следствие, невысокая производительность.

Приготовление смесей в смесителях инерционного типа «пьяная бочка» — на примере МС

Весь процесс изготовления плавких взрывчатых композиций (ПВК) складывается по сути из дела из трех основных операций.

1. Подготовка компонентов смеси.
2. Смешение.
3. Заливка готовых изделий.

Подготовка компонентов заключается в просеивании компонентов через сита и взятии навесок.

Смешение: в смеситель, нагретый предварительно до 50–60°C, загружают компоненты. Для того чтобы осела пыль взрывчатых и невзрывчатых компонентов, после загрузки дается 5-минутная выдержка. Затем, закрыв крышку загрузочного люка, через штуцер смесь вакуумируется до остаточного давления 10–15 мм рт. ст. При достижении заданного вакуума вакуумный шланг пережимается, отключается вакуум-насос и смеситель приводится во вращение, вначале осуществляется сухое перемешивание компонентов при температуре 50–60°C в течение 5–10 мин. Затем температура поднимается до 90°C и производится перемешивание в расплавленном тротиле. Процесс смешения длится 2–2,5 часа.

Время пребывания смеси в смесителе не должно превышать 3 часов, максимальная температура, которую выдерживают плавкие взрывчатые композиции, — 90°C. При перемешивании постоянно осуществляется контроль за значением остаточного давления. Допускается продолжение перемешивания при возрастании давления в смесителе до 300–400 мм рт. ст. После приготовления МС ее, как правило, заливают в боевые зарядные отделения торпед или в морские мины.

Вопросы к главе 2

1. Классификация взрывчатых веществ по составу и характеру применения.
2. Свойства штатных бризантных взрывчатых веществ. Недостатки штатных бризантных взрывчатых веществ.
3. Принципы флегматизации бризантных ВВ. Виды флегматизаторов.
4. Состав и свойства флегматизированных ВВ. Термостойкие флегматизированные ВВ.
5. Сплавы ВВ. Виды сплавов. Правило фаз Гиббса.
6. Сплавы на основе тротила и гексогена. Влияние состава сплавов ТГ на их свойства.
7. Сплавы на основе тротила и ТЭНа.
8. Плавкие взрывчатые композиции. Плавкие ВВ на основе тротила и алюминия.
9. Роль алюминия в составе сложных ВВ.
10. Плавкие ВВ на основе тротила-гексогена-алюминия (ТГА). Флегматизированные составы ТГА.
11. Основы технологии приготовления плавких взрывчатых композиций.

Список литературы к главе 2

1. Физика взрыва : в 2 т. Т. 1 / под ред. Л. П. Орленко. — М. : Физматлит, 2002. — 832 с.
2. Дубнов, Л. В. Промышленные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахареви́ч, А. И. Романов. — М. : Недра, 1988. — 358 с.
3. Взрывчатые вещества : в 3 т. Т. II: Основные свойства. Технология изготовления и переработки / под ред. Л. В. Фомичевой. — Саратов : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2007. — 452 с.
4. Энергетические конденсированные системы / под ред. Б. П. Жукова. — М. : Янус-К, 2000. — 596 с.
5. Добрынин, А. А. Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность. — М. : ИД Академии Жуковского, 2014. — 528 с.
6. Илюшин, М. А. Металлокомплексы в высокоэнергетических композициях / М. А. Илюшин, И. В. Целинский, А. М. Судариков. — СПб. : ЛГУ им. А. С. Пушкина, 2010. — 178 с.

ГЛАВА 3

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

3.1. Классификация промышленных ВВ

В настоящее время все промышленные ВВ классифицируют по целому ряду признаков в зависимости от целей классификации: по типичной форме химического превращения в условиях штатной эксплуатации, химической природе и составу, физическому (агрегатному) состоянию, условиям применения, чувствительности к различным видам воздействия, по области использования.

Кроме того, в основу классификации промышленных ВВ (ПВВ) могут быть положены требования по безопасности и промышленной санитарии.

По *физическому (агрегатному) состоянию* ПВВ разделяют на твердые, пластичные и жидкие.

Промышленные ВВ по *области использования* делятся на три класса.

1. Для открытых работ.

Можно использовать любые ВВ. Единственное ограничение — безопасность в обращении.

2. Для подземных работ в шахтах не опасных по газу и пыли.

Дополнительное ограничение — количество ядовитых газов, выделяющихся при взрыве. Применяются ВВ с нулевым кислородным балансом. Использовать тротил и алюмотол (смесь тротила с алюминием) нельзя, так как в их продуктах взрыва содержится большое количество окиси углерода.

3. Для шахт, опасных по газу и пыли.

Кроме предыдущих требований, добавляется антигризутность (предохранительность). ВВ должны обладать пониженной воспламеняющей способностью относительно той или иной шахтной атмосферы.

По *составу* промышленные ВВ бывают: индивидуальные химические соединения и смеси любой природы. Однако необходимо отметить, что практически все промышленные ВВ (за исключением тротила и изделий из него) представляют собой смеси, состоящие из окислителя, горючего, компонентов различного целевого назначения,

которые формируют определенные свойства и структуру ВВ. Например, добавки, повышающие водоустойчивость, снижающие слеживаемость, увеличивающие энергию взрыва, понижающие температуру продуктов взрыва и др.

Окислители содержат избыточный кислород, который при взрывчатом превращении расходуется на окисление горючих элементов (водорода, углерода, алюминия). В качестве окислителя в ПВВ применяют селитры, главным образом аммиачную, реже как вспомогательные используют калиевую, натриевую, кальциевую селитры. Совсем редко в СССР и России, в связи с их высокой чувствительностью к механическим воздействиям, применяли хлораты и перхлораты аммония, калия и натрия.

К окислителю, используемому в ПВВ, предъявляется ряд требований: он должен иметь сравнительно большое содержание избыточного кислорода, который легко выделяется в процессе взрыва, обеспечивая максимальные скорость и количество тепла при взрывчатом превращении, должен давать наибольшее количество газов и не содержать твердых продуктов. Рецептуры ПВВ на его основе должны иметь приемлемые чувствительность к механическим воздействиям, гигроскопичность, достаточную восприимчивость к детонационному импульсу. Для его производства должна иметься дешевая отечественная сырьевая база, он должен быть дешевым и доступным. И, наконец, желательно, чтобы сам окислитель был взрывчатым веществом, именно вследствие этого положения аммиачная селитра обладает большей предпочтительностью перед селитрами калия, натрия и кальция, которые содержат в два с лишним раза больше избыточного кислорода по сравнению с нею и, кроме того, имеют повышенную плотность. Однако при их разложении образуется мало газов и много твердых окислов, на нагрев и испарение которых тратится значительное количество тепла. Разложение указанных селитр происходит при высокой температуре и с поглощением большого количества тепла. Имеются у них и другие недостатки: повышенные пожароопасность и чувствительность к механическим воздействиям, а также более высокая стоимость по сравнению с аммиачной селитрой и меньшая технологичность изготовления порошков.

Применяются эти селитры в ПВВ как добавки для управления кислородным балансом смесей, повышения плотности, пластичности,

некоторого понижения температуры замерзания водосодержащих рецептур.

К смесевым ПВВ принадлежат практически все наиболее типичные аммиачно-селитряные взрывчатые вещества.

1. Динамоны — простейшие (т. е. без индивидуальных нитросоединений) двухкомпонентные смеси, содержащие только окислитель (аммиачную селитру) в порошкообразном виде и горючие невзрывчатые жидкие или твердые вещества.

2. Аммониты — механические смеси порошкообразной селитры и нитросоединений (чаще всего чешуирированного или порошкообразного тротила).

3. Нитроэфирные ВВ — аммиачно-селитряные ВВ, в состав которых введено определенное количество нитроэфиров.

4. Водонаполненные ВВ — содержат определенное количество ВВ и загустителя со структурирующими добавками для повышения вязкости рецептур.

5. Предохранительные ВВ — к ВВ данного класса относятся любые ПВВ с определенными добавками, способствующими их предохранительности (например, в рецептуру предохранительных аммонитов вводят соли — ингибиторы).

По условиям применения (*предохранительности*) в горнодобывающей промышленности и строительстве ПВВ классифицируются по классам следующим образом.

I класс — непредохранительные ВВ, предназначенные для взрывания только на земной поверхности.

II класс — непредохранительные ВВ для взрывания на земной поверхности и в забоях подземных выработок, в которых либо отсутствует выделение горючих газов или пыли, либо применяется инертизация призабойного пространства, исключающая воспламенение взрывоопасной среды при взрывных работах.

III класс — предохранительные ВВ для взрывания только по породе в подземных выработках, в которых выделяется метан, но отсутствует взрывчатая угольная смесь.

IV класс — предохранительные ВВ для взрывания по углю и породе в подземных выработках, проводимых по пласту, опасному по взрыву пыли, в которых есть выделение метана, кроме выработок с повышенным выделением горючих газов; для сотрясательного взрывания в забоях подземных выработок угольных шахт.

V класс — предохранительные ВВ для взрывания по углю и породе в подземных выработках с повышенным выделением газов, проводимых по пласту, опасному по взрыву пыли (особо опасных).

VI класс — высокопредохранительные ВВ (повышенной предохранительности) для взрывания по углю и породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых в условиях, когда возможен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газозвушной смесью, находящейся в пересекающих шпур трещинах горного массива либо в выработке; для взрывания в угольных и смешанных забоях восстающих (с углом более 10°) выработок, в которых выделяется горючий газ, при длине более 20 м и проведения без предварительно пробуренных скважин, обеспечивающих проветривание за счет общешахтной депрессии.

VII класс — высокопредохранительные ВВ для ведения специальных взрывных работ: взрывного перебивания деревянных стоек при посадке кровли, при ликвидации зависаний горной массы в углепусковых выработках для дробления негабаритов в забоях подземных выработок и др;

Специальный класс (С) — высокопредохранительные ВВ для взрывных работ в шахтах, опасных по взрыву серной пыли, водорода и тяжелых углеводородов.

3.2. Параметры детонации промышленных ВВ

Основным процессом, приводящим к получению полезной работы с применением промышленных ВВ, является их детонация. В результате детонации ВВ создаются высокие давления продуктов взрыва, ударные волны, волны напряжений и волны разрежения в окружающей среде, которые во многом определяют объем и характер разрушения.

Определение давления детонации ПВВ является необходимым условием их применения. Для взрывчатых веществ или их смесей, не содержащих инертные добавки, значение давления может быть рассчитано исходя из известной скорости детонации D по соотношению, полученному в рамках теории детонации:

$$p = \frac{\rho_0 D^2}{n + 1}, \quad (3.1)$$

где ρ — плотность ВВ; n — показатель политропы взрывчатого вещества.

Однако ПВВ, как правило, имеют в своем составе и инертные наполнители, поэтому для расчета давления можно воспользоваться полуэмпирической формулой:

$$p = \frac{\rho_0 D^2}{n+1} \left(1 - \alpha \frac{\rho_0}{\rho_1} \right), \quad (3.2)$$

где α — содержание инертной добавки; ρ_1 — ее плотность.

Результаты расчета хорошо совпадают с экспериментальными данными при содержании добавки до 50%. Если учитывать зависимость показателя политропы продуктов взрыва активного компонента ПВВ от удельной плотности этого компонента в смеси, то формула (3.2) применима для любого содержания инертной добавки.

Скорость детонации ПВВ с инертной добавкой может быть определена по соотношению

$$D = D_0 \rho^{2/3} \sqrt{\frac{n^2 - 1}{n_1^2} (1 - \alpha)}, \quad (3.3)$$

здесь D_0 — скорость детонации активного компонента; ρ — плотность заряда ПВВ; n и n_1 — показатели политропы продуктов взрыва активного компонента соответственно при его удельной плотности в составе и плотности 1 г/см^3 .

Для сравнительной оценки ПВВ в горнодобывающей, нефтегазовой и других отраслях промышленности до настоящего времени широко используются косвенные характеристики: теплота взрыва, работоспособность, бризантность и скорость детонации. Все эти характеристики определяются в рамках стандартных испытаний, сведения о которых приведены в главе 5. Однако в литературе часто отмечается, что принятые стандартные испытания работоспособности и бризантности нередко не соответствуют практическим условиям проведения эксперимента, что приводит к несопоставимости стандартных и практических результатов. Наряду с этим названные относительные характеристики могут быть искажены из-за ограниченности размеров зарядов, их малой массы и влияния свойств среды, в которой производятся испытания.

К настоящему времени стало возможным и реальным получать экспериментальные данные не только по скорости детонации, но и массовой скорости, давлению, показателю политропы продуктов детонации и времени химической реакции. Очевидно, что если названные характеристики определены в идеальной или близких к ним ус-

ловиях, то они являются характеристиками ВВ, не связанными с влиянием окружающей среды. Такие характеристики абсолютны и могут быть использованы не только для сравнения ВВ между собой, но и для расчета различных форм работы взрыва.

В настоящем разделе рассмотрим влияние различных характеристик зарядов ПВВ на параметры детонации взрывчатых веществ.

Многочисленные исследования показали, что такие параметры детонации промышленных ВВ, как скорость детонации, массовая скорость ПД и давление ударной волны, повышаются с увеличением диаметра заряда. Степень роста различна для каждого ВВ. В общем можно отметить быстрое насыщение параметров с ростом диаметра заряда в мелкодисперсных ВВ и медленный рост параметров в гранулированных ВВ. В водонаполненных составах параметры очень слабо зависят от диаметра заряда. Показатель политропы, как правило, уменьшается при увеличении заряда, несмотря на рост давления. Такое изменение показателя связано с изменением состава продуктов детонации. Как правило, при плотности ПВВ 1 г/см^3 показатель политропы близок к двум.

Для большинства ПВВ увеличение плотности от начального (насыпного) значения до некоторого порогового значения приводит к значительному повышению давления при любом диаметре заряда. Однако после порогового значения плотности в зарядах диаметром более 100 мм скорость детонации практически не увеличивается. Аналогично ведет себя и массовая плотность. Можно отметить, что параметры детонации для одного и того же ПВВ могут существенно изменяться от партии к партии (при сравнительно небольших диаметрах заряда). Низкие значения параметров в отдельных партиях могут привести к ослаблению полезного действия на практике и затруднить сравнительную оценку характеристик ВВ в зарядах конечного диаметра.

Наличие и свойства оболочки также существенно влияют на параметры детонации ПВВ. Очевидно, что для устранения влияния диаметра заряда, наличия и свойств оболочки целесообразно сравнивать ВВ по параметрам детонации при диаметре заряда $d \rightarrow \infty$.

Принципиальной особенностью характеристик детонации по параметрам детонации при $d \rightarrow \infty$ по сравнению с косвенными считается то, что параметры детонации являются абсолютными величинами. Зная давление и ударную адиабату продуктов детонации данного ВВ,

можно рассчитать давление на границе раздела с любой средой, ударная адиабата которой известна. Основная трудность при этом состоит в получении уравнения состояния продуктов детонации и расчета на его основе ударной адиабаты продуктов взрыва.

3.3. Основы технологических процессов производства промышленных взрывчатых веществ

3.3.1. Общие сведения

Производство промышленных ВВ имеет свои специфические особенности, связанные с потенциальной возможностью взрыва и наличием в отдельных случаях элементов токсичности. Это выдвигает требования к организации, построению и эксплуатации производства.

Общие требования. Поточность производства, максимальная автоматизация всех звеньев техпроцесса с дистанционным управлением и автоматическим регулированием его хода при отсутствии людей в опасных зонах.

Стадии технологических процессов. При сохранении общей поточности производство промышленных ВВ подразделяют на ряд технологических стадий.

1. Подготовка компонентов и вспомогательных материалов.
2. Смешение компонентов.

3. Патронирование ВВ или расфасовка и упаковка в непатронированном состоянии.

Эти стадии дополняются вспомогательными производственными фазами и отдельными операциями: складирование, хранение и транспортировка сырья, полуфабрикатов и готового ВВ, подготовка упаковочных материалов и тары, пофазный контроль техпроцесса, приемочные испытания готового продукта.

Фаза складирования включает контрольные операции на соответствие сырья паспортным данным поставщика, операции по обеспечению сохранности в процессе хранения, учет при расходовании.

Стадия подготовки компонентов включает измельчение, сушку, просейку. Для гранулированных ВВ АС подвергают легкому дроблению и просейке. Затем АС сушат. Тротил и гексоген просеивают, алюминий просеивают. Нитроэфиры не перевозят, ВВ готовят на месте получения НЭ.

Смешение компонентов. Целью операции является обеспечение гомогенности и однородности получаемого ВВ, от которых зависят его характеристики. Другими операциями этой стадии являются дозирование и загрузка компонентов в аппарат смешения, выгрузка готовой смеси и передача ее на следующую стадию. При изготовлении большинства аммонитов компоненты в процессе смешения подвергаются дополнительному измельчению. При наличии высокочувствительных (гексогена, нитроэфиров) или гранулированных компонентов допускается только простое смешение без воздействия на смесь измельчающих элементов. Качество смешения и, следовательно, продукции, зависит от тщательности подготовки компонентов, способа их смешения, конструкции смесителя и технологии смешения.

Патронирование производится в отдельном здании. Цель – придать зарядам ВВ форму и размеры, удобные для применения во взрывных работах, и обеспечить безопасность заряжания шпуров и скважин. Патронирование осуществляют тремя способами:

- шнекование в бумажные гильзы со сравнительно небольшим уплотнением (с гексогеном смеси не шнекуют из-за опасности взрыва);
- свободная засыпка ВВ с виброуплотнением;
- прессование зарядов ВВ с последующим завертыванием в бумагу.

Патроны диаметром до 36 мм относят к малому калибру, диаметром более 36 мм — к крупному калибру. Патроны малого калибра пакетируют по 10 штук в пачку, если при этом использовалась бумага, то на пачку наносится влагоизолирующее покрытие (патроны крупного калибра не пакетируют).

Последняя стадия — *испытания готовой продукции.*

3.3.2. Основы технологических процессов производства промышленных ВВ

Производство промышленных ВВ осуществляется в зданиях категории А с обваловкой и категории Б без обваловки. Предварительные операции (хранения, измельчения, сушки, просейки) осуществляются для АС в здании категории Б, для тротила, гексогена, нитроэфиров — в помещениях категории А.

За обваловкой проводятся следующие операции (А):

- смешение аммонитов в шаровых мельницах;
- смешение всех гексоген- и нитроэфирсодержащих ВВ;

- получение гранулированных ВВ из расплавленного тротила;
- патронирование ВВ.

Операции холодного смешения и укупорки в зданиях категории Б. Аммиачную селитру (АС) можно дробить в любых аппаратах – мельницах со стальными шарами, кулачковых дробилках, дезинтеграторах. Сушка аммиачной селитры проводится при температуре 100–120°C в сушилках кипящего слоя (КС) до 140°C. Запыленность помещения сушки опасна — может произойти взрыв, поэтому необходима вентиляция помещения.

Гексоген нельзя измельчать и сушить, можно только просеивать на ситах из цветного металла. Нитроэфиры после отделения от воды фильтруют от механических примесей.

Тротил измельчают в футерованных шаровых мельницах деревянными шарами. Операцию проводят в отдельном обвалованном помещении в отсутствие людей. Так как тротил токсичен и при измельчении пылит, то часто смешение совмещают с измельчением. Для смешения с тротилом разрешается применять вибромельницы со стальными шарами. На бегунах можно обрабатывать смеси с динитронафталином и невзрывчатыми компонентами. Смеси с гексогеном можно делать в смесителях без механического воздействия на обрабатываемую смесь, например в смесителях с приварными лопатками. Холодное смешение гранулированных ВВ более безопасно.

3.4. Физико-химические и взрывчатые свойства аммиачной селитры

Аммиачная селитра (АС) — основная составляющая АС ВВ, которые составляют большой класс ПВВ, была известна Глауберу еще в 1658 г. В настоящее время АС получают в огромных количествах путем нейтрализации аммиаком 50–55% раствора азотной кислоты, с последующим упариванием раствора, кристаллизацией и сушкой селитры.

Химически чистый нитрат аммония представляет собой кристаллический порошок белого цвета. Кристаллы не содержат кристаллизационной воды. Технический продукт имеет вид кристаллов, чешуек, гранул, часто обладающих розовато-желтой окраской из-за присутствия солей и окислов железа. На вкус АС солоновато-горькая. Разъедает раны, но заметного влияния на организм человека не оказывает.

Аммиачная селитра обладает полиморфизмом и существует в пяти кристаллических формах — α : ниже -18°C — гексагональная кристаллическая решетка; β : от -18 до $+32,3^{\circ}\text{C}$, α -ромбическая кристаллическая решетка; γ : от $+32,3$ до $+84,2^{\circ}\text{C}$, β -ромбическая решетка; σ : от $+84,2$ до $+125,2^{\circ}\text{C}$, тетрагональная решетка; ϵ : от $+125,2$ до $+169,6^{\circ}\text{C}$, кубическая решетка; выше 170°C — жидкая форма решетки; выше 170°C — жидкая форма (рис. 3.1).

Из всех модификаций нитрата аммония (NH_4NO_3) наиболее отрицательное значение имеет переход $\beta \rightarrow \gamma$, происходящий при 32°C . Это относительно низкая температура, поэтому нитрат аммония, находящийся в стадии технологической обработки, неизбежно проходит через эту температуру. При этом происходит наибольшее изменение объема кристаллов (на 3,3%).

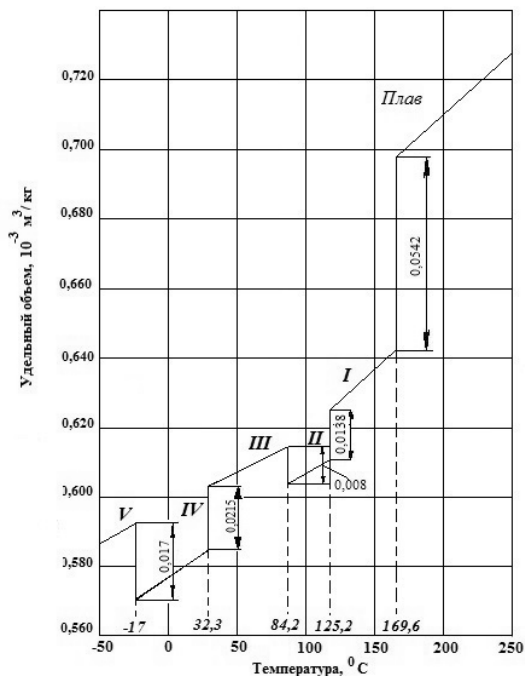


Рис. 3.1

Изменение удельного объема АС в зависимости от температуры

Следствием такого изменения объема является:

а) литьевые составы (например, аммотол (40 (АС) / 60 (ТНТ)) при остывании растрескиваются. Поэтому в случае необходимости его применения в БП его можно использовать только в фугасных авиабомбах, т. е. в боеприпасах, не испытывающих сильных толчков;

б) переход из одной модификации в другую происходит с температурной задержкой, при которой селитра существует как в стабильной, так и в метастабильной формах. При таком состоянии АС имеет повышенную растворимость. Растворяется метастабильная модификация, а выпадает стабильная. Поэтому заряды АС ВВ могут расти во времени и слеживаться.

Рассмотрим природу проявления полиморфизма в аммиачной селитре.

Превращение АС является следствием перестройки кристаллической решетки, а перестройка, в свою очередь, объясняется возникающим при изменении температуры одного из двух или обоих комплексных ионов, образующих АС, — $[\text{NH}_4][\text{NO}_3]$. Переход от колебательного движения атомов около средних положений в кристаллической решетке в свободное вращение всей группы атомов данного иона вокруг одной или нескольких осей.

Поскольку ион NO_3^- — плоский, а ион NH_4^+ — тетраэдрический, то вращение ионов, особенно плоского NO_3^- , изменяет форму и размеры кристаллической решетки, также меняется объем кристаллов и теплоемкость АС. Стабилизация АС может быть достигнута введением иона калия или магния. Однако магний повышает гигроскопичность АС, а присутствие калия может привести к преждевременным взрывам боеприпасов при выстреле. В нашей стране эти способы стабилизации не применяются.

Растворимость АС в воде очень велика и возрастает с повышением температуры (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Растворимость АС в 100 г воды

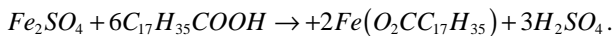
Температура, °С	0	12	25	30	50	70	100
Растворимость, г	118	153	214	242	344	499	871
%	55,5	60	68	70	77,2	83,4	90,9

АС слабо растворяется в ацетоне, метиловом спирте. Растворяется в водном аммиаке. Большим недостатком АС является ее гигроскопичность. Оставленная на воздухе, она быстро увлажняется и через некоторое время растекается, превращаясь в раствор. Поглощение паров воды АС происходит тогда, когда относительная влажность в окружающей среде больше, чем относительная влажность над насыщенным раствором АС при той же температуре. Если эта относительная влажность воздуха (или упругость пара) меньше относительной влажности (или упругости пара) над насыщенным раствором АС, то последняя будет подсыхать. Следовательно, зная упругость пара над насыщенным раствором АС, можно предугадать ее поведение. Гигроскопическая точка аммиачной селитры 75,3% при 10°C, 62,7% при 25°C и 48,4% при 50°C. Наличие примесей в аммиачной селитре увеличивает ее гигроскопичность.

Другим существенным недостатком аммиачной селитры является ее слеживаемость, и даже спекание. Слеживаемость определяется давлением верхних слоев вещества на нижние, в результате чего кристаллы ближе соприкасаются друг с другом и происходит как бы сцепление кристаллов. Этому процессу содействуют переходы селитры из одной кристаллической формы в другую, однако указанные причины не приводят к спеканию соли. Спекание соли является следствием периодического изменения растворимости аммиачной селитры, происходящего даже при незначительных колебаниях температуры. Следы влаги, располагаясь на поверхности кристалла, то растворяют, то выделяют селитру, в результате чего вся аммиачная селитра превращается в монолитную массу. Этому процессу также способствует полиморфизм (метастабильные модификации лучше растворяются) аммиачной селитры. С целью уменьшения слеживаемости (за счет уменьшения прочности кристаллов), как правило, в аммиачную селитру добавляют в небольших количествах фуксин.

Для приготовления промышленных ВВ используют пористую селитру, гранулированную селитру и кристаллическую железненую аммиачную селитру.

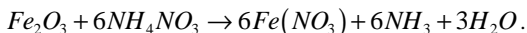
Железнение селитры заключается в образовании на ее поверхности гидрофобного слоя солей стеариновой кислоты. Такая селитра обладает определенной водоустойчивостью. Реакцию проводят по схеме:



Кроме стеариновой кислоты, в качестве дополнительного гидрофобизатора к аммиачной селитре добавляют некоторое количество парафина.

Химические свойства аммиачной селитры

Сухая селитра легко взаимодействует с окислами металлов (Fe_2O_3 , PbO_2 , Al_2O_3) с выделением аммиака и образованием воды, например:

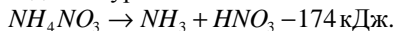


Аммиак может прореагировать с тротилом аммотола. В результате получаются соли тротила — тротилаты, которые по чувствительности приближаются к ИВВ и могут стать причиной преждевременных разрывов снарядов в канале ствола оружия или заряда, предназначенного для производства взрыва (например, в горнорудной промышленности). Поэтому аммотолы следует изолировать от металлического корпуса снаряда или оболочки заряда лакировкой или картонным стаканом.

С чистыми металлами сухая АС взаимодействует очень медленно. С повышением влажности ее действие на металлы увеличивается. Наименьшей сопротивляемостью к действию аммиачной селитры обладает цинк, наибольшей — олово и алюминий.

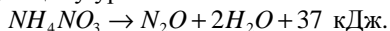
Химическая стойкость аммиачной селитры

Химическая стойкость АС довольно низкая. Даже при нормальной температуре она диссоциирует, хотя и очень медленно, выделяя аммиак и азотную кислоту. Аммиак менее растворим в расплаве, чем азотная кислота, поэтому легче выделяется из системы. Кислотность селитры повышается до равновесного значения ~ 0,1 моль %, или 6% весовых. Диссоциация становится заметной при 130°C. Реакция диссоциирования происходит по уравнению

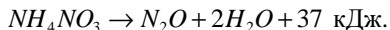


Эта реакция идет с поглощением тепла. Наличие в расплаве азотной кислоты обуславливает автокаталитический характер термораспада.

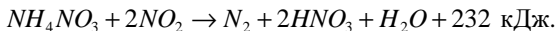
При осторожном нагревании до 260–280°C аммиачная селитра разлагается с выделением закиси азота (веселящий газ), воды и тепла. Получение веселящего газа было первым применением аммиачной селитры в XIX в. для наркоза при операциях. Реакция разложения происходит по следующему уравнению:



При быстром нагревании до 400°C, а также под действием мощной ударной волны аммиачная селитра разлагается с выделением кислорода:



При взаимодействии диоксида азота с АС образуется азотная кислота, вода и азот:



Таким образом, можно полагать, что в закисленной аммиачной селитре даже при обычных температурах происходит самопроизвольное термическое разложение вследствие сильной экзотермической реакции взаимодействия с диоксидом азота. При большой массе селитры может произойти ее бурное разложение, так как продукты не удаляются из расплава и катализируют распад.

Приведенные в настоящем подразделе уравнения являются уравнениями основных реакций.

Взрывчатые свойства аммиачной селитры

Долгое время аммиачную селитру не считали взрывчатым веществом. Все имеющиеся в начале века методы определения взрывчатых свойств показывали полную инертность АС как ВВ. Так продолжалось до весны 1921 г., пока в городке Оппау (Германия) не произошел взрыв 4500 тонн смеси нитрата и сульфата аммония ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). В результате образовалась воронка 90×170×20 м. Это был крупнейший химический взрыв за всю доядерную историю человечества. До трагедии на этом заводе, производящем сельскохозяйственную селитру, было проведено более 20 000 взрывов слежавшейся селитры. Все они прошли успешно — селитра только дробилась, но не взрывалась. Оказалось, что АС имеет значительно больший критический диаметр, чем использовавшиеся в то время ВВ (примерно в 100 раз).

Критический диаметр аммиачной селитры в сильной степени зависит от размеров частиц, плотности и влажности. Для АС, применяемой в качестве удобрений, при комнатной температуре он составляет 250–1000 мм. В стальных трубах — 50 мм. В тонкодисперсной пыли критический диаметр составляет 20–30 мм.

При повышении температуры критический диаметр снижается, восприимчивость к начальному импульсу повышается. При 165°C АС детонирует от удара пули, летящей со скоростью 1 км/с.

Скорость детонации АС зависит от температуры окружающей среды. Например, в стальной трубе при плотности $0,8 \text{ г/см}^3$ при 15°C скорость детонации равна 1140 м/с ; при 100°C — 1380 м/с , при 140°C — 1560 м/с . То есть по взрывчатым характеристикам аммиачная селитра существенно уступает тротилу. Долгое время считали, что горение у аммиачной селитры не переходит во взрыв (детонацию). Однако это не так. Аммиачная селитра является взрывоопасным продуктом, особенно если содержит горючее (например, дешевые и доступные дизельные топлива различных марок, которые наиболее часто используют для приготовления ПВВ). Наиболее опасны пожары больших масс селитры в замкнутом объеме. Окончательно доказали опасность аммиачной селитры катастрофы, произошедшие с тремя пароходами в 1947–1953 гг. На каждом из них взорвалось в результате пожара в трюмах около 2000 тонн парафинированной сельскохозяйственной аммиачной селитры.

На детонационную способность аммиачной селитры влияет прочная оболочка. В неразрушающейся оболочке зарегистрирована устойчивая детонация в зарядах диаметром 5 мм.

Исходя из вышесказанного, аммиачная селитра была отнесена к классу взрывчатых веществ (ее взрывчатые свойства приведены в табл. 3.2).

Аммиачная селитра по сравнению с тротилом обладает низкой теплотой взрыва, в то же время выделяет повышенное количество газов (на 40% больше, чем тротил). Поэтому температура взрыва аммиачной селитры низка, а критический диаметр велик.

Однако аммиачная селитра выделяет при взрыве 20% свободного кислорода. Использование свободного кислорода приводит к повышению температуры взрыва, росту давления в зоне детонации и, следовательно, к увеличению скорости детонации.

Таблица 3.2

Взрывчатые свойства аммиачной селитры

Характеристики ВВ	Нитрат аммония	Тротил
Плотность заряда	1,1	1,6
Кислородный баланс, %	+20	-74
Теплота взрыва, кДж/кг	1460	4200
Объем газа, л/кг	960	700
Температура взрыва, К	1200	2800

Характеристики ВВ	Нитрат аммония	Тротил
Скорость детонации (км/с) при плотности заряда 1,0 г/см ³	1500	5000
Критический диаметр (мм) при плотности 0,8 г/см ³	100	6

Максимальной теплотой взрыва обладают смеси с нулевым кислородным балансом. Скорость детонации и температура взрыва зависят от качества горючего (см. табл. 3.3).

При введении горючего температура взрыва возрастает примерно в два раза, скорость детонации — более чем в два раза. С повышением мощности горючего критический диаметр уменьшается, хотя температура взрыва меняется незначительно.

Таблица 3.3

Свойства смесей АС с горючими (0 КБ)

Аммиачная селитра, %	Горючее, %	Температура взрыва, К	Скорость детонации, км/с
100	—	1230	1500
94	Нафталин, 6	2120	3500
91	МНН, 9	2170	3700
87	ДНН, 13	2230	4000
83	ТНН, 17	2300	4200
79	ТНТ, 21	2350	4500
—	ТНТ, 100	2800	5000

3.5. Аммиачно-селитряные взрывчатые вещества

Аммиачно-селитряными ВВ называются механические смеси и сплавы, основным компонентом которых является аммиачная селитра (нитрат аммония). В этих композициях и смесевых взрывчатых веществах нитрат аммония выступает в качестве окислителя. Аммиачно-селитряные взрывчатые вещества (АС ВВ) могут быть порошкообразными, прессованными, гранулированными, пластичными, сплавами, водонаполненными. Аммиачно-селитряные взрывчатые вещества применяются как для снаряжения боеприпасов, так и в гражданских

отраслях промышленности. АС ВВ (аммониты) впервые были применены в горной промышленности. Горнорудная промышленность, бурно развивавшаяся во второй половине XIX в., требовала огромного количества ВВ. Применявшийся для этой цели черный порох обладал низкой мощностью и вызывал воспламенение рудничного газа, поэтому возникла необходимость изыскания новых безопасных, дешевых ВВ.

Изучение свойств нитроглицерина и изобретение динамита русскими учеными Зининым и Петрушевским в 1858–1860 гг. послужило толчком для разработки промышленных ВВ, отличных по своему составу и мощности от черного пороха. Используя изобретение Зинина и Петрушевского, шведский инженер А. Нобель тщательно разработал составы динамитов и открыл ряд производств для их изготовления. В 1867 г. шведы Норбин и Ольсон взяли патент на изготовление, хранение и воспламенение ВВ, содержащих в своем составе аммиачную селитру и древесный уголь. Альфред Нобель, предвидя большое будущее АС ВВ и опасаясь конкуренции своим динамитам, купил патент Норбина и Ольсена и законсервировал аммониты, выпустив в продажу так называемый аммонжелатиндинамит, содержащий до 76% нитроглицерина.

Аммиачно-селитряные ВВ без нитроглицерина в течение чуть менее 20 лет не применялись почти нигде кроме Германии. Первая попытка применения аммонитов для снаряжения боеприпасов была сделана в 1886 г. в России Чельцовым. Он предложил снаряжать снаряды вместо черного пороха смесью, состоящей из 72,3% АС и 27,7% пикрата аммония, названной им громобоем. Результаты полигонных испытаний были хорошими, однако руководство морским и военным ведомствами царской России отказалось от громобоя, сославшись на его высокую гигроскопичность.

В начале XX в. в ряде европейских стран были запатентованы и приняты на вооружение и в производство смеси АС с тротилом, с тринитроксиллом, динитронафталином, тринитронафталином. Во время Первой мировой войны все воевавшие страны применяли смеси с тринитротолуолом, динитронафталином, и даже с динитробензолом. Во Второй мировой войне АС ВВ получили еще большее распространение. В настоящее время АС ВВ представляют собой основу промышленных ВВ. Их производят миллионами тонн в год.

Отметим преимущества и недостатки аммиачно-селитряных взрывчатых веществ. К их преимуществам следует отнести:

- 1) высокие взрывчатые свойства;
- 2) гибкое регулирование взрывчатых характеристик путем изменения состава и дисперсности;
- 3) дешевизна и доступность сырья;
- 4) низкая чувствительность к механическим воздействиям.

Аммиачно-селитряные ВВ обладают следующими недостатками.

1. Низкая физическая стойкость. Благодаря этому порошкообразные аммиачно-селитряные ВВ слеживаются, а прессованные растрескиваются.

2. Низкая гигроскопичность. АС ВВ нуждается в защите не только от грунтовых вод, но и от атмосферной влаги.

При разработке смесевых аммиачно-селитряных взрывчатых веществ, исходя из свойств аммиачной селитры и особенностей детонации гетерогенных взрывчатых смесей, следует руководствоваться следующими соображениями.

1. Смеси должны составляться на нулевой кислородной баланс. При этом достигается максимальное тепловыделение при взрыве и наибольшая скорость детонации.

2. Горючее не должно реагировать с аммиачной селитрой.

3. Горючее должно легко зажигаться и легко гореть. Поэтому, например, каменный уголь не годится в качестве горючего для ВВ рассматриваемого типа, поскольку каменный уголь, имея высокую теплотворную способность, трудно горит.

4. Допустимо пересыщение смесевых ВВ сенсibiliзирующим взрывчатым веществом, которое легче по сравнению с АС разлагается в ударной волне (например, тротил).

5. Для флегматизации смесевых ВВ возможна его перегрузка инертным горючим в сторону отрицательного кислородного баланса.

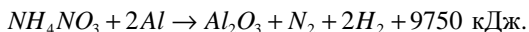
6. Дисперсность компонентов смеси должна обеспечивать критическую плотность заряда.

Рассмотрим *влияние алюминия на свойства АС ВВ*. Добавление к АС ВВ приводит к существенному увеличению теплоты взрыва и работоспособности ВВ. Бризантное действие при этом остается на уровне исходного ВВ. Свойства алюминизированных ВВ зависят от его дисперсности. Скорость окисления частиц алюминия тем выше, чем выше их дисперсность и чем больше температура, в которой они

находятся. Это связано с тем, что температура определяет скорость диффузионных процессов, а высокая дисперсность приводит к увеличению реакционной способности. В АС ВВ насыпной плотности с нулевым кислородным балансом алюминий успевает участвовать в химических реакциях в зоне детонации, увеличивая скорость детонации АС в 3–4 раза.

Металлизированные ВВ при взрыве образуют твердые окислы, которые повышают среднюю теплотемкость продуктов взрыва и снижают коэффициент полезного действия взрыва. Металлизированные ВВ имеют высокую расчетную температуру взрыва, что на практике вызывает диссоциацию продуктов взрыва. Так, например, при взаимодействии алюминия с кислородом развивается температура 5000°C, при этом расход энергии на диссоциацию и испарение твердых и жидких продуктов сгорания может составлять до 67% от теплоты сгорания алюминия в кислороде. При расчетах также необходимо учитывать, что энергия, расходуемая на диссоциацию, плавление и испарение твердых частиц, возвращается в виде продукта взрывчатого превращения на поздних стадиях их расширения.

В качестве примера приведем реакцию разложения при взрыве аммонала, содержащего 40% алюминия и имеющего нулевой кислородный баланс:



Недостатком алюминизированных ПВВ является их относительно высокая стоимость.

3.6. Промышленные ВВ на основе аммиачной селитры

Рассмотрим некоторые, наиболее распространенные промышленные взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры. При этом выделим в отдельный раздел 3.7 сведения о предохранительных ВВ. Также в конце настоящего раздела коротко коснемся имеющихся сведений, касающихся промышленных взрывчатых веществ за рубежом.

Динамоны. Динамоны (АС ДТ или AN FO) — это смеси аммиачной селитры с невзрывчатыми горючими материалами (торф, опилки, мох, сосновая кора, нефтепродукты). Взрывчатые свойства динамонов зависят от состава и технологии изготовления. К недостаткам

динамонов относятся сильная зависимость детонационной способности от физического состояния заряда (влажности, слеживаемости и др.), что объясняется отсутствием взрывчатого сенсibilизатора в их составе. Все динамоны гигроскопичны. Следовательно, недостатками динамонов являются:

- неводоустойчивость (более 5% влаги в АС ВВ приводят к потере детонационной способности);
- недостаточная физическая стабильность (жидкое горючее стекает в подошву заряда). Впитывающая способность АС зависит от влажности. Так, АС, содержащая 0,19% воды, способна удерживать 13% ДТ, а с влажностью 0,26% только 1,5% ДТ;
- недостаточно высокое детонационное давление, что не позволяет их использовать для разрушения прочных горных пород.

Таблица 3.4

Взрывчатые свойства динамона-8

Теплота взрыва, кДж/кг	5000
Критический диаметр, мм	20
Скорость детонации, км/с	4,4
Плотность, г/см ³	0,8–1,0

В состав современных динамонов входят АС, минеральное масло, алюминий. В качестве примера в таблице 3.4 приведены свойства динамона-8, в состав которого входят: АС ЖВК — 89%, минеральное масло — 3% и алюминиевая пудра — 8%.

Гранулированные динамоны. Гранулированные динамоны получили широкое распространение в связи с механизацией заряжания скважин. Грубодисперсная структура гранулированных динамонов обуславливает их пониженную скорость детонации и плохую восприимчивость к взрывному импульсу по сравнению с порошкообразными динамонами. Достоинствами гранулитов являются высокая сыпучесть, низкая чувствительность к механическим воздействиям, отсутствие пыления при заряджании.

Их можно готовить на месте взрывания. Первым отечественным гранулированным динамоном был игданит, изготавливаемый на горных предприятиях, позже появились ВВ заводского изготовления.

В таблице 3.5 приведены свойства гранулита АС-8, в состав которого входят: АС — 89%, машинное масло — 3%, алюминиевая пудра — 8%.

Таблица 3.5

Взрывчатые свойства гранулита АС-8

Теплота взрыва, кДж/кг	5000
Критический диаметр, мм	80–100
Скорость детонации, км/с	3,0–3,6
Плотность, г/см ³	1,1–1,2

Взрывчатые характеристики гранулитов зависят от размера гранул селитры, их влажности, впитывающей способности, прочности. Кроме того, на взрывчатые характеристики оказывает влияние вязкость горючего (машинного масла).

Аммониты. В аммонитах основными соединениями являются аммиачная селитра и нитросоединения, преимущественно тротил. Главное отличие аммонитов от динамонов состоит в том, что тротил в них является и горючим материалом (у него резко отрицательный кислородный баланс) и, поскольку он значительно легче и быстрее, чем АС, разлагается в детонационной волне, сенсibilизатором. Поэтому аммониты имеют более высокую детонационную способность, чем динамоны. Детонационные свойства аммонитов зависят от размера частиц компонентов, а также от процентного содержания тротила.

Основное назначение порошкообразных аммонитов — зарядные шпуров и скважин при подземных разработках. В этих условиях используются патроны от 32 до 90 мм. Современные аммониты изготавливают из аммиачной селитры марки ЖВК, благодаря чему они детонируют в обводненных шпурах и скважинах. Наиболее распространенным аммонитом для подземных работ является аммонит № 6 ЖВ. Аммонит этой марки состоит из 79% АС ЖВК и 21% тротила. Его теплота взрыва — 4200 кДж/кг, критический диаметр — 10–13 мм, скорость детонации — 3,6–4,8 км/с. Нижний предел чувствительности (максимальная высота падения груза на навеску ВВ массой 0,1 г, при которой из 25 испытаний не происходит ни одного взрыва) по ГОСТ 4545-88 в приборе № 2 — 200 мм, частость взрывов в приборе № 1 — 16%.

Для повышения детонационной способности аммонитов, например для получения ВВ с малым критическим диаметром и высоким давлением в продуктах взрыва, а также высокой плотностью, в них вводят дополнительный сенсibilизатор — гексоген. Такие ВВ применяются для разрушения прочных и особо прочных скальных пород, скальный аммонит № 1. В его состав входят: 66% АС ЖВК,

5% тротила, 24% гексогена и 5% алюминия. Он обладает следующими свойствами: теплота взрыва — 5450 кДж/кг, критический диаметр — 5–6 мм, скорость детонации — 4,8–5,3 км/с.

В состав аммонита данной марки тротил введен с единственной целью — создать буферную зону между гексогеном и аммиачной селитрой. Это связано с тем, что скорость разложения гексогена в детонационной волне гораздо выше, чем скорость разложения аммиачной селитры, и поэтому разложение АС не будет поспевать за распадом гексогена. Для создания растянутой зоны детонации и применяют буферное ВВ — тротил, который имеет меньшую скорость детонации, чем гексоген, а по скорости разложения занимает промежуточное положение между компонентами с резко выраженными кинетическими отличиями и служит для них как бы связующим мостиком. В результате аммиачная селитра успевает прореагировать в химике.

Для сварки (плакирования) листов металлов разработаны и применяются низкоскоростные взрывчатые смеси (аммониты), состоящие из тротила и аммиачной селитры в соотношении 3/97 (АТ-1), 5/95 (АТ-2), 7/93 (АТ-3). По внешнему виду они представляют собой желтый порошок, который упаковывается в бумажные мешки массой до 40 кг, при плотности 0,9 г/см³ аммониты данных марок имеют скорость детонации 1300–2500 м/с и критический диаметр 40 мм.

Граммониты. Наряду с тонкодисперсными порошкообразными аммонитами для заряжания скважин и минных камер применяются и грубодисперсные аммониты, иначе называемые граммониты, которые состоят из гранулированной селитры и чешуированного или гранулированного тротила. Размер гранул АС 2–3 мм. Тротил содержится в виде чешуек в аммоните 79/21, в виде гранул — в граммоните 30/70.

Наиболее распространенным промышленным ВВ (ПВВ) рассматриваемого класса является граммонит 79/21, состоящий из 21% тротила и 79% АС. Теплота взрыва данного граммонита — 4330 кДж/кг, критический диаметр в бумажной оболочке — 40–60 мм, скорость детонации — 4–4,6 км/с. Он не обладает водоустойчивостью и применяется для снаряжения сухих и слабообводненных скважин. Для скважин диаметром более 150 мм нет разницы, применяется ли аммонит № 6 ЖВ или граммонит 79/21, в обоих случаях скорость детонации ВВ будет около 4,6 км/с. Но граммонит мало пылит, хорошо сыпется, мало слеживается. И, кроме того, он существенно дешевле.

Водоустойчивые граммониты марки В получают разбрызгиванием расплавленного тротила на гранулы селитры в аппаратах кипящего слоя. Скорость детонации граммонитов сильно зависит от диаметра заряда. Зависимость становится слабее при взрывании в скважинах, пробуренных в крепких скальных породах, где потери энергии на разлет продуктов детонации меньше. Для полноценной детонации граммонитов требуется достаточно мощный начальный импульс. В качестве промежуточных детонаторов на горных предприятиях применяют тротиловые или пентолитовые шашки.

Нитроэфирные ВВ. Нитроэфирными (нитроглицериновыми) ВВ называют все виды ПВВ, которые содержат нитроэфиры (НЭ), независимо от природы и содержания других компонентов. Классифицируют нитроэфирные ВВ в зависимости от содержания нитроэфира.

Низкопроцентные составы содержат до 15% НЭ и называются *детонитами*. Детониты представляют собой порошкообразные ПВВ. Детониты производились в основном в СССР. Детониты по своим взрывчатым свойствам относятся к мощным промышленным ВВ и применяются для разрушения прочных и особо прочных скальных горных пород. Недостатком детонитов является их повышенная токсичность, свойственная всем нитроэфирным ВВ. Наиболее совершенным по физико-химическим свойствам является детонит М, имеющий следующий состав: 10% НЭ, 78% АС ЖВК, 10,7% АІ, 0,3% коллоксилина, 1% стеараты кальция или цинка, 0,2–0,3% соды (сверх 100%) и 0,2% машинного масла (сверх 100%). Свойства детонита М приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Свойства детонита М

Теплота взрыва, кДж/кг	5850
Критический диаметр, мм	8–10
Скорость детонации, км/с	4,8–5,0
Плотность в патронах, г/см ³	1,2–1,3
Чувствительность к удару	60%
Кислородный баланс	0%

Присутствующие в детоните М стеараты являются гидрофобизаторами (т. е. придают составу водоустойчивость), коллоксилин предназначен для желатинизации НЭ, сода способствует увеличению стойкости ВВ при хранении, поскольку нейтрализует окислы азота, выделяющиеся при распаде НЭ и катализирующее их дальнейшее

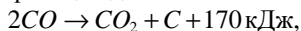
разложение. Машинное масло предотвращает слеживаемость состава и потерю вследствие этого детонационной способности. Роль остальных компонентов ясна.

Смеси с содержанием более 15% представляют собой пластичные или полупластичные ВВ, которые называются *динамитами* и в настоящее время в РФ не производятся как вследствие их опасности при обращении, так и высокой стоимости.

Водонаполненные ВВ. Стремление к повышению эффективности и безопасности взрывных работ, к снижению их себестоимости привело разработку к применению водосодержащих составов, получивших название *ифзанитов* (разработаны в Институте физики Земли АН СССР), *акватолов* и *акванитов* и др.

Такие составы отличаются от порошкообразных и гранулированных сыпучих ВВ пластичностью, более высокой объемной энергией взрыва, пониженной чувствительностью к механическим воздействиям. Кроме того, заполнение воздушных промежутков между частицами водой или другими сплошными малосжимаемыми средами повышает плотность продуктов взрыва в момент их образования, что увеличивает давление детонации, уменьшает критический диаметр детонации.

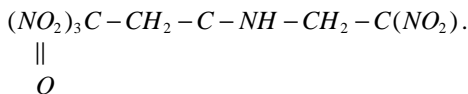
У ВВ с отрицательным кислородным балансом возрастает энергия взрыва. При плотности заряда водонаполненного ВВ (ВВВ) 1,3–1,5 г/см³ в нем протекает реакция доменного газа:



в результате чего энергия взрыва возрастает на 20–25%. Флегматизирующее действие воды проявляется тем сильнее, чем выше дисперсность ВВ. Поэтому для ВВВ наиболее подходят гранулированные ВВ. На практике вместо воды применяют водный раствор нитратов аммония или кальция. Установлено, что растворенная в воде селитра частично принимает участие в реакции взрыва и тем самым повышает его эффективность. Ввиду низкой чувствительности ВВВ для возбуждения в них детонации применяют дополнительный детонатор.

Для придания ВВВ приемлемой восприимчивости к инициирующему импульсу в их состав часто вводят взрывчатые или невзрывчатые сенсibilизаторы, такие как тротил или порошки вольфрама, цинка, сульфата бария и некоторые другие.

Иногда водонаполненные взрывчатые вещества содержат и водорастворимые ВВ, например бис-тринитроэтилмочевину:



Физическую стабильность ВВВ создают добавлением в раствор так называемых загустителей, которые замедляют вымывание селитры из обводненных скважин. К наиболее распространенным загустителям относятся натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), полиакриламид (ПАА) и гуаргам (природный полисахарид). Наиболее дешевым и самым распространенным загустителем является КМЦ $[C_6H_7O_2(O)_{3-x}(OCH_2COONa)_2]_n$.

Степень этерификации в КМЦ 80–85%. В зависимости от количества загустителя можно изменять вязкость водных растворов аммиачной селитры в широких пределах. Процесс набухания полимера связан с образованием вязкого коллоидного раствора. Набухание переходит в собственно растворение в том случае, если между макромолекулярными цепями отсутствуют поперечные химические связи. Но возможно достигнуть физической стабильности ВВВ и с малым содержанием загустителя путем превращения золя в гель, т. е. в результате образования сетчатой структуры между макромолекулами загустителя. Структурированные системы могут оказывать движущемуся телу большее сопротивление, чем вязкость. Такие системы имеют определенную механическую прочность. Требуется приложить дополнительное усилие (предельное напряжение сдвига), чтобы разрушить структуру системы. Для образования прочных структур с поперечными связями вводят специальные сшивающие агенты. Установлено, что эффективными сшивающими агентами для загустителей являются соли металлов переменной валентности, в частности сернистый хром — $Cr_2(SO_4)_3$. Содержание в ВВВ загустителя — 0,7–1,5%, воды — порядка 5–15%. Для ВВВ с алюминием, помимо физической, необходимо обеспечивать химическую стойкость.

ВВВ имеют ряд особенностей, отличающих их от других типов промышленных взрывчатых веществ.

1. Увеличение вязкости и потеря пластичности при низких температурах ограничивают область применения ВВВ. Для борьбы с этим недостатком в состав ВВВ вводят антифризы. Использование в водных растворах нитрата кальция вместо АС позволяет снизить температуру их замерзания до -58°C ;

2. Со снижением температуры падает восприимчивость к детонации. Причиной является увеличение вязкости системы;

3. Необходима аэрация ВВВ, так как они, особенно в отсутствие взрывчатого сенсibilизатора без пузырьков газа, мало восприимчивы к детонации.

Перед гранулированными взрывчатыми веществами ВВВ имеют ряд преимуществ.

1. Высокая плотность (1,3–1,5 г/см³).

2. Водоустойчивость.

3. Способность заполнять целиком зарядные емкости.

4. Безопасность в обращении.

5. ВВВ позволяют достигать концентрации энергии в зарядах в 1,8–2 раза выше, чем у патронированных ВВ.

ВВВ имеют и недостатки, сдерживающие их применение. К ним относятся:

1) многокомпонентность составов и часто наличие в них импортных веществ (например, гуаргама);

2) сложность технологического процесса изготовления ВВВ;

3) высокая стоимость составов (в 5–6 раз выше стоимости динамонов АС ДТ);

4) низкая восприимчивость к инициирующему импульсу.

Пластичные ВВВ — акваниты. Акваниты состоят из мелкодисперсных порошкообразных ВВ, воды и загустителей. Их производство возможно только на заводах-изготовителях ВВ. Акваниты выпускаются в виде патронов, которые применяются при шпуровом способе ведения взрывных работ и предназначены для разрушения скальных пород.

Пористость выпускаемых зарядов — 0%. При изготовлении акванитов вначале готовят раствор (желатин), например, следующего состава: 45% нитрата кальция, 10% КМЦ, 45% воды. Затем полученный желатин перемешивают с измельченным сенсibilизатором (гексогеном и тротилом) и АС ЖВК. В результате акванит может иметь состав: 35% гексогена, 40% АС ЖВК, 20% желатина, 5% тротила. Акванит с таким составом имеет плотность 1,45 г/см³ и бризантность 25 мм, т. е. больше, чем у гексогена.

Акваниты имеют два основных недостатка:

1) они плохо восприимчивы к внешнему инициирующему импульсу и поэтому нуждаются в дополнительном детонаторе;

2) составы твердеют при хранении, при этом ухудшаются их эксплуатационные свойства.

Льющиеся ВВВ — акватолы, ифзаниты и др. Представляют собой плотные нерасслаивающиеся суспензии, твердой фазой которых служит смесь гранулированной АС с гранулолом или алюмоломом. Жидкой фазой служит водный раствор АС, целиком заполняющий межгранульное пространство в заряде ВВ. Эти ВВВ можно изготавливать на месте взрыва.

Примером является ифзанит Т-60, состоящий из 72% АС, 20% гранулола и 6% воды. Он имеет следующие свойства: плотность — 1,4–1,45 г/см³, теплота взрыва — 3900 кДж/кг, критический диаметр — 100 мм, скорость детонации — 5–5,5 км/с, чувствительность к удару по ГОСТ 4545 (частота взрывов) — 0–4%.

Акватолы могут содержать вместо взрывчатого сенсibilизатора инертный, так, в ипконите его роль выполняет порошкообразный алюминий. Приведем в качестве примера состав и свойства ипконита А-10. Состав: 76% АС, 10% алюминия, 2% дизельного топлива, 10% воды, 2% загустителя ПАА, 0,05% сшивки, 0,05% ингибитора. Свойства: плотность — 1,5–1,55 г/см³, теплота взрыва — 4950 кДж/кг, критический диаметр — 300–350 мм, скорость детонации — 4–4,5 км/с, чувствительность к удару по ГОСТ 4545 (частота взрывов) — 8–12%. Отсутствие взрывчатого сенсibilизатора в ипконите привело к увеличению более чем в 3 раза критического диаметра по сравнению с ифзанитом Т-60. Нарушение технологического процесса изготовления ВВВ приводит к потере ими водостойкости и ухудшению взрывчатых характеристик.

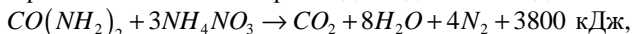
Поэтому были предложены составы заводского изготовления. На заводах производят сухую смесь, а на горных предприятиях добавляют необходимое количество горячей воды. Зарядание скважин производят специальными смесительно-зарядными машинами. Примером может служить акватол 65/35С. Его состав: 53% АС, 30% тротила, 2% КМЦ, 15% вода. Свойства: теплота взрыва — 3450 кДж/кг, критический диаметр — 90–100 мм, скорость детонации — 5–5,5 км/с, чувствительность к удару по ГОСТ 4545 — 0–4%.

Существуют также алюминийсодержащие акватолы заводского изготовления, например акватол АВМ. Его состав: 43% АС, 28% тротила, 15% алюминия, 3% этилцеллозольва, 2% загустителя ПАА, 0,1% сшивки, 0,05% ингибитора, остальное — вода. Он имеет следующие

свойства: плотность — 1,4–1,45 г/см³, теплота взрыва — 6000 кДж/кг, критический диаметр — 100–120 мм, скорость детонации — 4,5–5,0 км/с, чувствительность к удару по ГОСТ 4545 — 8–12%.

Интересным видом ВВВ являются *карбатылы*. Они изготавливаются из низкоплавкой, почти безводной эвтектики растворимых компонентов (АС и карбамида), которые по своей плотности мало отличаются от плотности гранулола. Это делает суспензию нерасслаивающейся. Обычно составы содержат загуститель, который вводится для обеспечения водоустойчивости заряда. Карбатылы — это ВВ горячего литья. После загрузки скважины заряды при остывании отверждаются. Типичным ВВВ этого класса является карбатол ГЛ-15Т, который состоит из: 68% АС, 15% тротила, 4% воды, 13% карбамида, 0,5% ПАА, 0,05% сшивки. Вместо ПАА можно использовать более дешевый КМЦ. Свойства ГЛ-15Т: плотность — 1,5–1,55 г/см³, теплота взрыва — 3500 кДж/кг, критический диаметр — 120–150 мм, скорость детонации — 4,5–4,8 км/с, чувствительность к удару по ГОСТ 4545 — 4–12%.

При взрыве смеси «АС — карбамид» выделяется вода:



поэтому в состав карбатов часто вводят металлическое горючее: алюминий, ферросилиций и т. п.

Наряду с карбатами нашли применение и водоустойчивые водосодержащие составы горячего литья, не содержащие карбамида. Например, ВВ ГЛТ-20, который имеет следующий состав: 70% АС, 20% гранулола, 7% воды, 3% КМЦ, 0,09% сшивки. Его свойства: плотность — 1,4–1,45 г/см³, теплота взрыва — 4000 кДж/кг, критический диаметр — 80–100 мм, скорость детонации — 4,5–5,0 км/с, чувствительность к удару по ГОСТ 4545 — 0–4%.

Эмульсионные ВВВ. Одним из прогрессивных направлений создания ВВВ является использование обратных эмульсий типа «вода — масло». Такие эмульсии могут быть устойчивыми на протяжении нескольких месяцев, не расслаиваться и не твердеть. Тротилсодержащие эмульсионные ВВВ водоустойчивы в течение длительного времени и предназначены для замены гранулола и алюмотола при проведении взрывных работ в обводненных скважинах. Их готовят горячим смешением расплавленного тротила с насыщенным водным раствором АС, содержащим машинное масло и эмульгатор. Примером эмульсионного ВВВ является гранитол-1, который имеет следующий состав:

33% АС, 58% тротила, 4% воды, 1% коллоксилина, 3% масла машинного, винипласта (сополимер винилхлорида и винилацетата) — 1%. Для повышения работоспособности (фугасности) в состав гранитолов вводят алюминий.

Эмульсионные ВВВ, не содержащие взрывчатого сенсibiliзатора, носят общее название *эмульты*. В России эмульты имеют торговое название *порэмнты*.

Порэмнты рекомендуются для взрывных работ с механизированным заряданием обводненных скважин на открытых взрывных работах. Эмульсии порэмнтов изготавливаются на прикарьерных установках, а получение вещества производится непосредственно в смесительно-зарядных машинах при зарядании скважин. Технические характеристики порэмнтов приведены в таблице 3.7. Для сравнения в этой же таблице приведены характеристики гранулотола и игданита.

Таблица 3.7

Технические характеристики порэмнтов

Наименование ВВ	Марка ВВ	Теплота взрыва, кДж/кг	Концентрация энергии, кДж/дм ³	Плотность заряжения, кг/м ³	Скорость детонации, км/с	Газовая вредность, л/кг
Порэмнт 1	ИМ-Н	2885	3605	1250	4,9–5,2	12,2
	ИМ-К	2900	3620	1250	4,9–5,2	12,4
	МТ-Н	2970	3705	1250	4,9–5,2	11,8
	МТ-К	3040	3800	1250	4,9–5,2	12,0
Порэмнт 1А		3015	3770	1200	4,9–5,1	40
Порэмнт М	4А	3645	4730	1300	4,8–5,1	42
	8А	4355	5860	1350	4,9–5,3	54
Порэмнт МК	8К	3810	5150	1350	4,8–5,2	40
	8КА	3770	4900	1300	4,8–5,1	46
Гранулотол Игданит		4100	4100	1000	5,0–5,2	275
		3850	3435	900	2,2–2,7	45

Порэмнты (эмульты) имеют неоспоримые преимущества перед другими классами промышленных ВВ.

1. Возможность выпуска широкой гаммы составов.

2. Отличная водостойчивость со сроком пребывания в скважине до 10–30 суток даже в проточной воде, что позволяет осуществить зарядку вслед за бурением.

3. Возможность регулирования мощности (концентрации энергии) от 3550 до 5850 кДж/дм³ за счет изменения плотности или введения в состав энергетических добавок.

4. Относительно невысокий уровень теплоты взрыва (по сравнению с предохранительными аммонитами и угленитами).

5. Крайне низкая чувствительность к механическим и тепловым внешним воздействиям и, следовательно, высокая безопасность в обращении.

6. Высокая устойчивость к выгоранию.

7. Экологически чистое безотходное производство, полная механизация зарядки скважин и низкая газовая вредность.

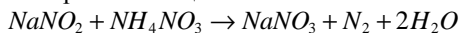
8. Низкая стоимость и доступность сырья и компонентов.

9. По мощности и эффективности практически охватывают весь спектр взрывных работ, проводимых в карьерах, угольных разрезах или в любом другом месте.

Принцип построения рецептур эмульсионных ВВ основан на получении «обратных» эмульсий высококонцентрированного раствора окислителей (аммиачная, натриевая, кальциевая селитры) в нефтепродукте (масло, мазут) в присутствии поверхностно-активных веществ (эмульгаторов). Гранулированная пластичная эмульсия этих ВВВ пожаро- и взрывобезопасна. Она не детонирует даже от мощного дополнительного детонатора. Чтобы придать смеси взрывчатые свойства, ее аэрируют, т. е. насыщают газом. Для этого в состав эмульсионного ВВВ:

1) вводят полые стеклянные или полимерные микросферы;

2) вводят газогенерирующую добавку, представляющую собой водный раствор нитрита натрия. В результате реакции с АС образуется азот, пузырьки которого насыщают ВВВ:



(нитрит аммония не существует).

Ввод микросфер существенно дороже, но при этом достигается более надежная аэрация. Газонасыщение эмульгатов осуществляют непосредственно перед заряданием скважин.

Несмотря на существенные преимущества порэммитов, следует отметить и их основной недостаток — сложность технологического процесса его изготовления. В основе его лежит процесс формирования мелкодисперсной структуры высококонцентрированной эмульсии при интенсивном перемешивании двух несмешивающихся жид-

костей при высокой температуре. Реализация такого процесса связана с большими капитальными затратами. Кроме того, многотоннажное производство, включающее переработку больших объемов агрессивных сред (окислителей), требует оснащения металлоемким оборудованием из дорогой нержавеющей стали.

Технологический процесс (см. схему на рис. 3.2) состоит из следующих основных стадий.

1. Растворение окислителей (селитры) и приготовление раствора необходимой концентрации.

2. Смешение индустриального масла и эмульгатора и получение горючей смеси.

3. Позирование раствора окислителей и горючей смеси в предварительный смеситель.

4. Получение эмульсии в аппарате эмульгирования.

5. Подготовка газогенерирующей добавки.

6. Изготовление патронов (подготовка перлитового песка, смешение его с эмульсией и наполнение оболочек).

Самой ответственной и основной в производстве эмульсии ВВ является стадия эмульгирования. Аппаратурное оформление этой стадии определяет возможность переработки того или иного вида сырья и качество и количество получаемой продукции. В предложенной технологии используется блок эмульгирования непрерывного действия, состоящий из предварительного смесителя, в котором производится перемешивание двух несмешивающихся жидкостей, и аппарата эмульгирования, в котором при очень высоких сдвиговых скоростях образуется устойчивая обратная эмульсия с размером дисперсных частиц 1–3 мкм. Операции подачи жидкой фазы в аппарат и отбора готовой эмульсии осуществляются без применения насоса, также самотеком производится загрузка смесительно-зарядной машины, что значительно повышает безопасность производства. Эмульсия перэмита выпускается с использованием эмульгатора ПТ собственного производства или промышленного эмульгатора ПГТ.

Приготовление раствора окислителей ведется по методу подачи гранул вещества под столб водного раствора окислителя вакуум-транспортом. Это предотвращает выделение пыли. Технологическая схема предусматривает операцию изготовления патронов путем смешения перлита с эмульсией в вакуумном смесителе СНД, к выходно-

му торцу шнека которого прикреплен конусный переходник с трубой для формования заряда.

Имеющаяся система приборов для контроля и регулирования дозировок, температуры, уровня и других параметров, а также приборы для определения основных характеристик порэмита, надежно обеспечивают контроль и управление процессом приготовления эмульсионных взрывчатых веществ. Высокая экономическая эффективность применения порэмита обеспечивается сравнительно низкой стоимостью эмульсии, которая в 2–3 раза меньше стоимости гранулола, для замены которого на взрывных работах предназначен порэмит.

Производство порэмитов полностью автоматизировано.

И, наконец, в заключение данного раздела приведем сведения, касающиеся имеющихся *промышленных ВВ за рубежом*.

До конца 50-х гг. за рубежом основными ВВ на открытых работах и в шахтах, не опасных по газу и пыли, были пластичные и полупластичные динамиты, а также АС ВВ с небольшим количеством нитроэфиров (4–12%). Их и сейчас еще применяют в подземных работах.

Производство порэмитов полностью автоматизировано. Наряду с динамитами в ряде европейских стран также продолжают применять патронированные аммониты. Гексоген в составах промышленных ВВ не применяют нигде.

В США в 60-х гг. применялись алюминизированные порошкообразные динамоны (типа АМ-8) в патронах диаметром 90–105 мм в свинчивающихся металлических оболочках. Со второй половины 50-х гг. в США стали использовать гранулированные АС-ДТ и АС-ДТ-А1, которые удобны для механического заряжания шпуров и скважин.

С начала 60-х гг. в США началось промышленное применение предлодных Куком водосодержащих ВВ (типа slurry). Эти льющиеся ВВВ изготавливались на месте взрывания.

Начиная с 70-х гг. прошлого века ВВВ нашли применение во всех странах. Ни в одной из стран Запада не нашли применения гранулированные смеси АС и тротила. Ни в одной стране мира не производят водоустойчивую АС для ВВ (т. е. типа нашей железной селитры марки АС ЖВК). За рубежом для увеличения впитывающей

способности ДТ до 5–6% выпускают пористые сорта аммиачной селитры.

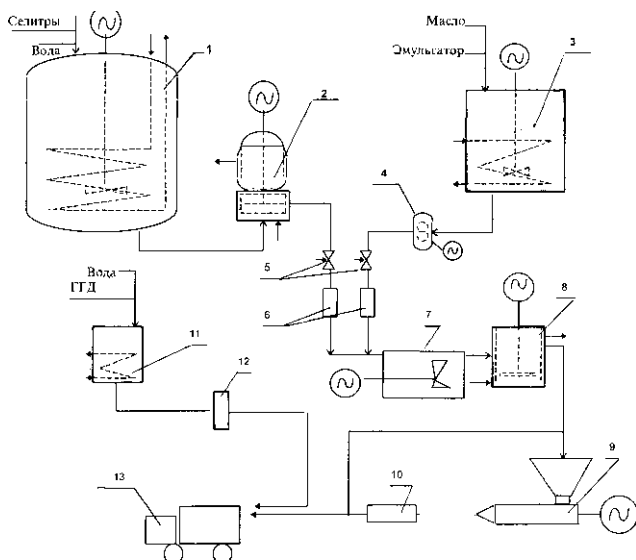


Рис. 3.2

Принципиальная технологическая схема получения порезитов:

1 — аппарат растворения; 2 — погружной насос; 3 — аппарат смешения; 4 — шестерчатый насос; 5 — ротаметры; 6, 10, 12 — винтовые насосы; 7, 9 — предварительные насосы; 8 — аппарат эмульгирования; 11 — емкость для газогенерирующей добавки; 13 — смесительно-зарядная машина.

К настоящему времени ВВВ в своем развитии прошли 4 этапа.

1-й этап — М. Куком предложены водосодержащие взрывчатые вещества, сенсibilизатором в которых служил тротил или бездымный зерненный порох.

2-й этап — эти ВВ были алюминизированы для повышения мощности.

3-й этап — М. Кук предложил пастообразные и гелеобразные ВВВ из невзрывчатых компонентов. Сенсibilизатором в них служил алюминий. Они стали чувствительны к взрыву КД № 8 и их критический диаметр в открытом заряде снизился до ~ 25 мм. Можно стало применять ВВВ на подземных работах.

4-й этап — фирма Дюпон внедрила новые ВВВ, в которых используется водный раствор нитрата метиламина. Они оказались дешевле динамитов, но дороже гранулированных АС-ДТ. Используются для взрывания скальных пород.

В 1980-х гг. в США производство и применение промышленных ВВ распределялось следующим образом: простейшие гранулированные ВВ (АС-ДТ) — 78%; ВВВ — 12%; динамиты — 10%.

3.7. Предохранительные ВВ

3.7.1. Общие сведения о предохранительных ВВ

Наиболее интересными промышленными взрывчатыми веществами с практической и теоретической (научной) точки зрения являются предохранительные (антигризутные) ВВ («гризу» — слово французское, переводится как болотный газ или метан). Действительно, проблема, связанная с тем, что газовоздушные и пылевоздушные смеси, которые детонируют от искры, пламени спички и т. д. и при этом не воспламеняются при детонации взрывчатых веществ, температура продуктов которых, как правило, превышает 1000°С, является довольно сложной задачей. Слишком много факторов влияет на воспламеняемость таких сред.

О том, что в этом вопросе не решены многие проблемы, свидетельствует ежегодная печальная статистика гибели шахтеров. Анализ взрывов в шахтах нашей страны показал, что 30% вызываются продуктами взрыва, 30% выгоранием заряда ВВ, 5% искрением во взрывных цепях, 35% по неустановленной причине. Не последнюю роль в гибели шахтеров играют шахтная атмосфера и ее особенности.

Наиболее распространенный газ в шахтах — метан. Наиболее важные критерии метановоздушной смеси — концентрационные пределы *взрываемости* и *горючести*. Концентрационные пределы горючести определяют границы состава метановоздушных смесей, внутри которых они способны к распространению пламени путем теплопередачи. Концентрационные пределы взрываемости определяют способность газовоздушной смеси к самовоспламенению при сжатии. Концентрационные пределы горючести для смеси метана с воздухом 5–15%, взрываемости несколько ниже. Эти пределы расширяются с ростом температуры и давления.

Шахты по количеству выделившегося метана на одну тонну добываемого угля подразделяются на категории:

- 1-я категория — до $5 \text{ м}^3/\text{т}$;
- 2-я категория — до $10 \text{ м}^3/\text{т}$;
- 3-я категория — до $15 \text{ м}^3/\text{т}$;
- сверхкатегорийные шахты — более $15 \text{ м}^3/\text{т}$.

Рассмотрим некоторые *теории предохранительных ВВ*.

Воспламенение метановоздушных смесей представляет цепной разветвленный радикальный процесс и происходит не сразу. Существует период индукции, т. е. время, в течение которого развивается реакция окисления горючего. Катализируют реакцию окисления метана формальдегид (CH_2O) и радикал диоксида азота (NO_2). Ингибируют процессы окисления горючего, обеспечивая обрыв цепей, галогены, органические соединения тяжелых металлов, галогениды металлов. Активность, например, галогенидов щелочных металлов располагается в ряд:

$$KF > KJ > KCl > NaCl.$$

Каталитические свойства ингибиторов зависят, кроме того, от поверхности и концентрации в газе.

Чувствительность газозвушных смесей к тепловому импульсу определяется:

- энергией активации реакции окисления горючего;
- тепловым эффектом реакции.

Чем больше энергия активации $E_{акт}$ и чем меньше тепловой эффект реакции Q , тем больший импульс требуется для возбуждения взрыва. То есть критерием чувствительности газовой смеси может служить отношение $E_{акт}/Q$.

Первую теорию предохранительных ВВ предложили французы Мальяр и Ле Шателье, которые обнаружили, что время индукции при воспламенении метановоздушной смеси зависит от температуры источника: $650^\circ\text{C} — 10 \text{ с}$; $1000^\circ\text{C} — 1 \text{ с}$; $2200^\circ\text{C} — 0,01 \text{ с}$.

То есть если в метановоздушную смесь внести источник с температурой 650°C , то она вспыхнет через 10 с. Понятие о периоде задержки воспламенения имело большое значение при создании теории антигизутности.

Было предложено использовать в шахтах взрывчатые вещества с ограниченной температурой взрыва, так предельное значение температуры взрыва ВВ в угольном пласте не должно превышать 1500°C , в породе — 1900°C . Продолжительность взрыва заряда ВВ должна быть меньше времени индукции воспламенения газозвушной

ной смеси. Предельная масса безопасного заряда определяется в опытном штреке. Он имеет следующую конструкцию (рис. 3.3).

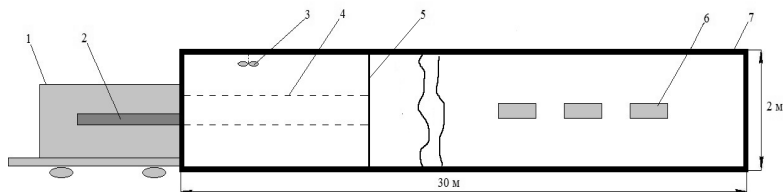


Схема опытного штрека

Рис. 3.3

Схема опытного штрека:

1 — мортар; 2 — заряд испытываемого предохранительного ВВ; 3 — вентилятор; 4 — полки для угольной пыли; 5 — бумажная мембрана; 6 — смотровые окна; 7 — стальная труба (корпус опытного штрека).

Теория Одибера. Поскольку теория Маляра — Ле Шателье, созданная в XIX в., не объясняла всех явлений, происходящих при взрыве зарядов ВВ, то ее многократно пытались улучшить. Все последующие теории не отменяли ни один принцип, принятый ранее, а только дополняли и уточняли существовавшую теорию. Одибером было обращено внимание на тот факт, что продукты взрыва смешиваются с метановоздушной смесью. При этом: 1) метановоздушная смесь разбавляется и 2) метановоздушная смесь разогревается. Если газовая смесь нагреется раньше, чем разбавится продуктами взрыва до нижнего предела взрываемости, то последует взрыв.

Поэтому для безопасности ВВ в первую очередь имеет значение теплота взрыва, а не вес заряда. Чем выше теплота взрыва ВВ, тем ниже его уровень безопасности относительно метановоздушной смеси.

Следовательно, температура взрыва и теплота взрыва должны быть наименьшими, чтобы разогретые продукты взрыва не воспламенили гризутную среду при смешении с ней.

С. Бейлинг обратил внимание на то, что источником взрыва могут быть несгоревшие частицы заряда. То есть необходимо обеспечивать полноту детонации заряда.

Газ самовоспламеняется от ударной волны. Следовательно, заряд ВВ не должен генерировать воздушную УВ такой амплитуды, чтобы в ее фронте происходило воспламенение (за счет сжатия) гризутной среды.

Л. В. Дубнов считал, что источником взрыва могут быть нагретые газы, ударная волна, раскаленные частицы при условии, что время действия факторов больше периода индукции. Кроме того, источником взрыва могут быть «карманы» на поверхности штрека. Здесь за счет отражения УВ возрастают температура и давление, в результате сокращается время индукции и возникает взрыв.

В настоящее время предохранительными ВВ являются преимущественно АС ВВ, так как они имеют наименьшую температуру взрыва и составлены на нулевой кислородный баланс. Прежде чем привести классификацию предохранительных ВВ, рассмотрим требования к зарядам из данных взрывчатых веществ. Таких требований не так много, а именно:

1) вес заряда не должен превышать определенную величину (предельную массу заряда определяют опытным путем), при этом продолжительность взрыва должна быть меньше периода индукции;

2) предохранительные ВВ должны содержать добавки, которые бы: *снижали* температуру взрыва, т. е. были бы пламегасителями; *препятствовали* воспламенению газовой смеси, т. е. увеличивали период индукции (добавки должны быть ингибиторами); *обеспечивали* полную детонацию заряда, чтобы устранить (исключить) разброс невзорвавшихся раскаленных частиц заряда, другими словами, добавки должны быть мелкодисперсными, хорошо восприимчивыми к детонации (в предохранительных ВВ нельзя применять алюминиевую пудру);

3) предохранительные ВВ должны быть по возможности слабыми, чтобы не создавать мощную ударную волну;

4) оптимальный состав предохранительного ВВ должен иметь некий баланс соотношения его характеристик, который отвечал бы классу предохранительности. Количественно этот баланс выражается следующим соотношением:

$$\Pi = \frac{m}{DV\sqrt{Q_v}},$$

где m — масса введенного в состав ингибитора, кг; D — скорость детонации; Q_v — удельная теплота взрыва ВВ, кДж/кг; V — объем газообразных продуктов взрыва, л/кг. Так, например, для широко известного ПВВ V класса марки угленит Э-6 расчетное значение показателя Π составляет $1,119 \cdot 10^3$.

3.7.2. Классификация предохранительных ВВ

К предохранительным ВВ относятся промышленные ВВ III–VII классов. В основе классификации предохранительных ВВ по области применения лежит опасность подземных взрывов газа и пыли при производстве взрывных работ, которая определяется химическим составом шахтной атмосферы, газоносностью добываемых полезных ископаемых, возможностью внезапных выбросов газа, характером взрывных работ и рядом других требований.

Современные предохранительные ВВ разделяются на *ВВ классического типа* и *селективно-детонирующие*.

ВВ классического типа представляют собой аммониты и порошкообразные нитроглицериновые ВВ — динамиты, в которые для снижения энергетических характеристик введены невзрывчатые соли-пламегасители (NaCl , KCl или другие соли щелочных металлов). Соли-пламегасители в предохранительных взрывчатых веществах, с одной стороны, поглощают часть тепла, выделяющегося при взрыве, снижая температуру газообразных продуктов взрыва и интенсивность ударных волн, возникающих в шахтной атмосфере. С другой стороны, попадая с продуктами взрыва в призабойное пространство, каталитически подавляют (ингибируют) реакцию окисления горючих газов, приводящую к подземному газовому взрыву.

Селективно-детонирующие ВВ состоят из смеси двух, реже — нескольких компонентов с малой реакционной способностью (например, NaNO_3 и NH_4Cl , способных при взрыве взаимодействовать друг с другом с выделением тепла) и небольшого количества мощного бризантного ВВ — сенсibilизатора, обычно нитроглицерина до 10%, придающего смеси способность к детонации. В США в качестве сенсibilизатора часто применяют нитрометан. При этом ВВ с нитрометаном полностью разлагается с максимальным выделением тепла только при взрыве в замкнутом объеме (например, в шпуре с внутренней забойкой) при медленном спаде давления в зарядной камере. Если же продукты взрыва имеют возможность свободно расширяться и давление в очаге быстро падает, то детонирует только сенсibilизатор. Ингибиторы в селективно-детонирующих ВВ образуются в процессе самого взрыва, например в виде твердых частиц NaCl как продукта взаимодействия NaNO_3 и NH_4Cl .

Таким образом, в селективно-детонирующих ВВ, в отличие от классических взрывчатых веществ, в системе кинетической неод-

нородности составных частей ВВ в условиях открытого заряда полное превращение претерпевают лишь наиболее активные компоненты, суммарное тепловыделение при этом невелико. В замкнутой камере, в условиях высокого внешнего давления, создаваемого продуктами взрывчатого превращения активных компонентов, последовательно реагируют менее активные компоненты. При этом суммарное тепловыделение отвечает потенциальной энергии взрывчатой смеси.

Достоинства таких систем очевидны. В наиболее опасных условиях (обнажение, открытые заряды) они выделяют малое количество тепла и поэтому безопасны.

В нормальных условиях взрывания (шпуры с забойкой) системы выделяют много тепла и характеризуются относительно высокой работоспособностью.

В шахтах и забоях низших категорий применяют ВВ с невысокой степенью предохранительности. III класс составляют так называемые породные ВВ, допущенные для работ в породных забоях, где отсутствуют угольная пыль и взрывоопасная концентрация метана. В число таких ВВ входят Победит ВП-4 и некоторые аммониты. Состав и свойства Победита ВП-4 следующие: 65% АС ЖВК, 12% тротила, 9% нитроэфиров, 2% древесной муки и 12% поваренной соли (NaCl); скорость детонации — 4,2 км/с, теплота взрыва — 3,8 МДж/кг, плотность — 1,1–1,3 г/см³.

Удельный вес потребления предохранительных ВВ III класса невысок и составляет ~ 5% от всех других предохранительных ВВ. Они имеют невысокие степень предохранительности и энергию взрыва, близкую к аммониту 6ЖВ, который тоже нередко применяют в породных забоях.

IV класс составляют предохранительные ВВ средней степени предохранительности и мощности. В качестве примера рассмотрим аммонит ПЖВ-20, который допущен для взрывания в забоях, опасных по взрыву угольной пыли. Аммонит ПЖВ-20 имеет следующий состав: 64% АС ЖВК, 16% тротила, 20% поваренной соли и обладает свойствами: скорость детонации — 3,8 км/с, теплота взрыва — 3,4 МДж/кг, плотность — 1,05–1,2 г/см³.

Аммонит ПЖВ-20 применяется с конца 50-х гг. В настоящее время предохранительные аммониты IV класса (ПЖВ-20 и его модификации) являются основными предохранительными ВВ. Их доля

достигает ~77% от веса всех предохранительных ВВ. По мощности аммонит ПЖВ-20 удовлетворяет потребителей. Он устойчиво детонирует в уплотненном состоянии до плотности 1,6–1,63 г/см³. Недостатком этого ВВ является повышенная горючесть.

Избавиться от этого недостатка позволяет использование ВВВ. Было разработано предохранительное водосодержащее пластичное ВВ IV класса карбопласт-4. Вода в нем призвана понизить горючесть, а вместе с хлористым натрием сыграть роль пламегасителя воспламенения метана. Карбопласт предполагается применять в непатронированном виде для сплошного заполнения зарядного объема шпура. Состав карбопласта-4 следующий: 25% АС, 22% нитрата кальция, 5% карбамида, 25% тротила, 10% поваренной соли, 10% воды, 3% загустителя (КМЦ). Он обладает свойствами: скорость детонации — 4–4,5 км/с, теплота взрыва — 2,9 МДж/кг, плотность — 1,1–1,3 г/см³, чувствительность к удару 0–8%.

В настоящее время объем потребления предохранительных ВВ составляет около 30 тыс. тонн, из которых 97% — аммониты III–IV классов.

К предохранительным ВВ V класса относятся такие ВВ, уровень предохранительности которых обеспечивает безопасное ведение работ в забоях, проводимых по углю и породе при одной обнаженной поверхности заряда. Типичным представителем ВВ V класса является угленит Э-6, разработанный около 40 лет назад. Его состав: 45% нитрата натрия, 30% хлорида аммония, 20% нитроэфиров и 5% древесной муки. Угленит Э-6 обладает следующими свойствами: скорость детонации — 2,0 км/с, теплота взрыва — 2,7 МДж/кг, плотность — 1,1–1,25 г/см³.

Угленит Э-6 является селективно-детонирующим ВВ. Патроны Э-6 полностью детонируют с максимальной работоспособностью в нормальных условиях. При случайном же обнажении заряда они детонируют не полностью (избирательно) с выделением энергии, недостаточной для воспламенения метана и выгорания угольной пыли. В таких условиях взрывания превращения в составе Э-6 и других ВВ затрагивают лишь нитроэфиры (НЭ) и частично окислители (нитраты). При этом выделяется незначительное количество тепла.

Все ВВ V (и VI, которые будут рассматриваться ниже) классов построены по принципу, предложенному в 50-х гг. в Германии. В отличие от прежней классической схемы построения предохра-

тельных ВВ, состоящих из окислителя — горючего — сенсibilизатора — пламегасителя, основу селективно-детонирующих ВВ (как было сказано выше) составляет ионообменная пара мелкодисперсных химически малоактивных солей NH_4Cl — $\text{Na}(\text{K})\text{NO}_3$, взятых в эквимолекулярном или близких к нему соотношениях и сенсibilизированных небольшим количеством (8–14%) жидких НЭ. В некоторых странах вместо композиции NH_4Cl — $\text{Na}(\text{K})\text{NO}_3$ применяются углекислые соли щелочноземельных металлов.

При детонации НЭ эти соли при достаточном измельчении вступают между собой в экзотермическую реакцию. В результате образуется на молекулярном уровне хлорид натрия (поваренная соль), который в таком состоянии обладает наибольшей теплопоглощающей и ингибирующей способностью, что и обеспечивает этим ВВ высокую степень предохранительности в отношении воспламенения метана. Из-за относительно медленного протекания реакции взрывчатого превращения ионнообменных солей и малой их калорийности ВВ детонируют с невысокой скоростью 1,5–2 км/с и небольшим 2000–2500 кДж/кг выделением тепла, что также обуславливает их высокие предохранительные свойства. Затухание детонации при переуплотнении таких слабых ВВ может привести к дефлаграции остатков ВВ, способных воспламенить метан или вызвать загорание угольной пыли. Для устранения дефлаграции в их состав вводят добавки антипиринов: карбонаты, оксалаты, формиаты и другие соли, разлагающиеся с большим теплопоглощением и выделением воды. В углените Э-6 такие добавки отсутствуют, поэтому он не удовлетворяет новым требованиям по горючести.

Селективной детонации ВВ можно достигнуть, применяя компоненты резко различной реакционной способности. Полная теплота взрыва выделяется тогда, когда есть сопротивление расширения газов, которое взрыв должен преодолеть. На это расходуется часть энергии взрыва, температура газов снижается и уменьшается возможность воспламенения метановоздушной смеси. Если заряд хотя бы частично оголен и газы могут попадать в атмосферу выработки без совершения работы, то и в этом случае они не представляют опасности, поскольку температура, достигаемая при детонации только реакционноспособных компонентов, низка, а остальная часть ВВ вследствие быстрого спада давления не будет реагировать, играя роль инертного теплопоглощающего компонента.

Примером такого взрывчатого вещества V класса является селектит № 1, имеющий следующий состав: 10% НЭ, 0,1% коллоксилина, 55% гранулированной АС, 5% древесной муки, 30% хлорида натрия.

В породе происходит взрыв всех компонентов ВВ (НЭ + АС + древесная мука) и энерговыделение максимально, в забое же при частичном обволакивании заряда детонируют только НЭ, а остальная часть ВВ является балластом. Энергия взрыва минимальна и продукты взрыва не способны воспламенить метан.

Увеличить время реакции (и тем самым увеличить работоспособность селективно-детонирующих ВВ) в детонационной волне можно путем увеличения размера частиц компонентов, например аммиачной селитры, применения гранул, совмещающих два или три компонента. Такие системы характеризуются, кроме всего прочего, хорошей сыпучестью, позволяющей применять ПВВ в полиэтиленовых шлангах, состоящих из отдельных секций.

К VI классу относятся предохранительные ВВ, обеспечивающие безопасность работ по углю и породе в особо опасных по газу забоях угольных и других шахт, где в процессе взрыва возможно обнажение зарядов с боковой поверхности непосредственно или трещинами, содержащими метан или другой горючий газ. Это патрон ПВП-1-У с аммонитом ПЖВ-20 или патрон СП-1 с угленитом Э-6 (рис. 3.4). Патроны ПВП-1-А и ПВП-1-У одностипны м патронами СП-1, но заполнены аммонитом ПЖВ-20 и имеют V класс предохранительности.

Рассмотрим патрон СП-1. Взрывчатое вещество (5) находится в оболочке, состоящей из корпуса (1) с двойными стенками, образованными двумя полиэтиленовыми (ПЭ) ампулами, между которыми для жесткости помещены центрирующие кольца (2) и крышка (4). Межампульное пространство шириной 4–5 мм заполнено раствором аммиачной селитры (50–60%). Раствор АС увеличивает фугасное действие взрыва и играет роль пламегасителя. Растворонаполненная ПЭ оболочка своим пламегасящим действием позволяет повысить класс предохранительности ВВ, обеспечивает высокую водостойкость, способствует более устойчивому и полному протеканию детонации ВВ, препятствует переуплотнению и выгоранию заряда.

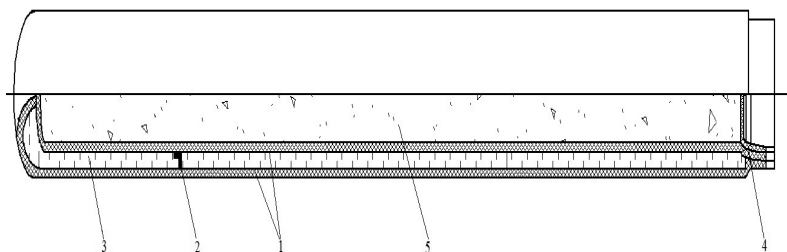


Рис. 3.4

Схема предохранительного патрона:

1 — корпус; 2 — центрирующие кольца; 3 — раствор аммиачной селитры; 4 — крышка; 5 — заряд ВВ.

Недостаток ввода ингибиторов в ВВ тот, что их разогрев происходит на ранней стадии взрыва. Тепло отнимается преждевременно, в результате чего снижается давление и температура газообразных продуктов взрыва, затрудняется распространение детонации. Надо создать условия, чтобы добавка вступала в действие после того, как закончатся химические реакции в ВВ. Отсюда возникли разного рода предохранительные оболочки. Патроны не нашли распространения из-за высокой стоимости и ненадежной передачи детонации от патрона к патрону. Поэтому чаще используются селективно-детонирующие ВВ, например угленит-7, который имеет следующий состав: 60% нитрата калия, 30% хлорида аммония (NH_4Cl), 8% нитроэфиров, 2% древесной муки. Его свойства: скорость детонации — 1,7 км/с, теплота взрыва — 1,8 МДж/кг, плотность — 1,2 г/см³.

VII класс составляют предохранительные ВВ, предназначенные для выполнения взрывных работ, проводимых в шахтах (взрывное разрушение древесных стоек при просадке кровли, разбучивание угля). Они еще более слабые, чем взрывчатые вещества VI класса.

Наиболее известен среди данных ВВ — ионит, который представляет собой типичное ионнообменное ВВ, состоящее из: 54% нитрата натрия, 34% хлорида аммония, 10% нитроэфиров, 2% КМЦ, стеаратов кальция и цинка, коллоксилина, талька, соды. Он имеет следующие свойства: скорость детонации — 1,6 км/с, теплота взрыва — 1,6 МДж/кг, плотность — 1,1–1,2 г/см³.

Ионит допущен к взрыванию в виде накладных зарядов: при пропуске угля (породы), застрявших в углепусковых выработках и дроблении негабаритных кусков породы (и горючего сланца), мас-

сой не более 600 г; при разрушении деревянных стоек, а также для взрывного способа распыления воды, находящейся в полиэтиленовых сосудах, — массой 150 г (для сосудов объемом 20 л) и 300 г (для сосудов объемом 40 л).

3.8. Производство высокопредохранительных взрывчатых веществ

Схема технологического процесса производства ВВ, реализованного в ФНПЦ «Алтай», который является единственным предприятием в России по выпуску высокопредохранительных ВВ, показана на рисунке 3.5 и включает в себя следующие основные фазы:

- получение нитроэфиров;
- подготовка порошкообразных компонентов;
- смешение ВВ;
- патронирование ВВ;
- нумерация;
- влагоизоляция;
- упаковка.

Все фазы производственно-технологического цикла территориально рассредоточены в отдельных технологических зданиях. Технологический процесс автоматизирован, управляется дистанционно с помощью управляющего вычислительного комплекса (УВК) с координацией на центральном диспетчерском пульте.

Фаза получения нитроэфиров. Технологический процесс получения нитроэфиров реализован на типовом малогабаритном технологическом оборудовании инжекторным способом с непрерывно-циклическим характером работы (200–250 циклов в год). Отработанные кислоты с фазы получения нитроэфиров могут использоваться для получения минерального удобрения — сульфат-нитратной смеси. В результате можно получать дополнительно 670 т минеральных удобрений ежегодно. Фаза получения нитроэфиров универсальна и позволяет производить нитроглицерин, динитраты этилен-, диэтилен- и триэтиленгликоли, динитрат пропиленгликоля-1,2, а также их смеси.

Фаза подготовки порошкообразных компонентов. К порошкообразным компонентам, входящим в состав гетерогенных взрывчатых систем, предъявляются высокие требования. Для каждого типа ВВ регламентируются гранулометрический состав, влажность и

температура подготовки сыпучих компонентов. Фаза подготовки состоит из семи участков, структурно объединенных в одном технологическом здании. Для сушки основных компонентов — натриевой селитры и хлористого аммония — используются непрерывно действующие сушилки КСВР-2М с кипящим слоем и вибрационной решеткой. Компоненты с небольшим процентным содержанием ВВ в составе сушат в вакуумных сушилках, измельчают на непрерывно действующих помольных установках кулачкового типа с механизированной загрузкой через питатели. Для обеспечения водоустойчивости патронов используется гелеобразующая добавка — натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы с высокой ($1500\text{--}3500\text{ см}^2/\text{г}$) удельной поверхностью, для подготовки которой используется специальная установка. Экологическая чистота технологического процесса подготовки порошков обеспечивается замкнутым водооборотом технологической воды, установкой многокамерных рукавных фильтров на сушильных аппаратах и мокрых фильтров на общих вентиляторных установках.

Фаза смешения компонентов взрывоопасна и осуществляется дистанционно. Однородность и безопасность смешения нитроэфиросодержащих ВВ традиционно обеспечивают аппараты периодического смешения лопастного типа с порционной загрузкой компонентов. В производстве высокопредохранительных ВВ процесс смешения компонентов осуществляется в специально доработанных для перемешивания взрывоопасных продуктов двухвальных смесителях типа «Вернер Пфлейдерер» с контейнерной загрузкой порошков, дистанционной заливкой нитроэфиров и контейнерной выгрузкой смешанной массы. Экологическая чистота процесса смешения обеспечивается технологическими приемами, снижающими пыление при загрузке сыпучих компонентов из контейнеров, и возвратом транспортной и промывной воды на фазу получения нитроэфиров.

Патронирование составов осуществляется на автоматах патронирования, разработанных на базе автомата патронирования Коростелева (АПК). Процесс патронирования дистанционный. Качество патронов (плотность, завертка, постоянство массы) и устойчивость работы автоматов во многом зависят от влажности состава и его сыпучести, для чего в помещениях накопления, транспортной галерее и кабинах патронирования кондиционерами поддерживаются постоянными температура и влажность воздуха.

Операции нумерации, влагоизоляции, пакетирования проводятся на автоматизированной линии нумерации и автомате пакетирования с автоматическим контролем технологических параметров влагоизолирующей смеси и управлением технологической линией. Экологическая чистота процесса достигается замкнутым оборотом влагоизолирующего состава и улавливанием выделяющихся газов конденсацией с последующим возвратом конденсата обратно в процесс.

Для координации работы технологических фаз производства ВВ организован диспетчерский пункт, оснащенный необходимыми видами связи. Контролируемые технологические параметры передаются по линии связи на центральный пункт УВК для формирования технологического паспорта, архивирования, фиксирования времени возникновения предаварийных и аварийных ситуаций. На фазах получения нитроэфиров, смешения, патронирования дополнительно предусмотрены средства теленаблюдения за особо важными узлами оборудования. Технологический комплекс универсален и способен выпускать все типы высокопредохранительных ВВ, а также мощные патронированные непредохранительные взрывчатые вещества типа детонита М.

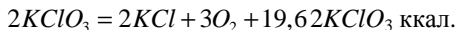
3.9. Промышленные ВВ на основе твердых и жидких окислителей

Кроме аммиачной селитры, в состав ВВ могут быть введены и другие соединения. Их относительную эффективность можно оценить по энергетическим характеристикам смесей стехиометрического состава, например с тротилом (табл. 3.8).

Можно отметить, что из приведенных в таблице 3.8 окислителей для промышленных ВВ применяют соли хлорной кислоты, нитраты натрия, калия, кальция.

Хлоратные и перхлоратные ВВ. Хлоратные ВВ или хлораты — механические смеси хлората калия (бертолетовой соли) с жидкими или твердыми органическими веществами. Известны составы и с другими хлоратами.

Хлорат калия или хлорноватокислый калий (бертолетова соль) является солью HClO_3 , богат кислородом и способен легко отдавать его при взрыве:



Поэтому его смеси с горючими веществами, взятыми в определенных пропорциях, являются взрывчатыми веществами.

Эффективность смесей окислителей с тротилом

Окислитель	Тротил, %	$Q_{взр}$, кДж/кг	Относительная эффективность к тротилу, %
N_2O_4	48	7400	166
$C(NO_2)_4$	40	7200	161
H_2O_2	41	7100	159
$HClO_4$	46	6600	148
HNO_3	46	6400	142
$N_2H_5ClO_4$	25	6100	140
NH_4ClO_4	31	5700	129
$NaClO_4$	40	5500	128
NH_4NO_3	21	4300	100
$NaNO_3$	39	4900	95
KNO_3	35	4400	82

Хлораты уже при нагревании могут выделять весь содержащийся в них кислород, поэтому для их разложения требуется меньший импульс, чем для азотных соединений. В связи с этим чувствительность хлоратных ВВ к механическому и тепловому воздействию гораздо выше, чем у азотнокислых солей.

В качестве горючих компонентов в хлоратных взрывчатых составах применялись: уголь, сера, скипидар, керосин, нефть, бензол, нитробензол, динитротолуол, касторовое масло, животные жиры, воск, смолы, парафин.

Делались попытки повысить детонационную способность хлоратных и перхлоратных ВВ путем ввода в их состав окислов металлов, марганцевокислого калия, хлористой меди, а к перхлоратам калия и аммония примеси $KClO_3$, доля которой во взрывчатых составах в количестве 0,005–1% уже повышает их механическую и тепловую чувствительность.

Взрывчатые вещества, в которых окислителем являются соли хлорной кислоты, называются перхлоратными ВВ. Они отличаются высокой чувствительностью к трению и удару (выше, чем у динамитов) и поэтому в Российской Федерации не применяются. Однако под названием карлиты они используются в массовом количестве в Японии.

В Швеции для разрушения слабых пород используется взрывчатое вещество террит — смесь перхлората аммония, желатинообразного нитроглицерина, динитротолуола и натриевой селитры.

Взрывчатые перхлоратные ВВ бывают двух видов: на основе перхлората аммония и на основе перхлората калия. Взрывчатые ве-

щества на основе перхлората калия можно разделить на две группы, различающиеся по основным характеристикам. К первой группе можно отнести ВВ, содержащие аммиачную селитру, а ко второй — не содержащие аммиачную селитру.

Лучший флегматизатор для перхлоратных ВВ — загущенная (желатинообразная) вода (снижает чувствительность к удару перхлоратных солей с 80–100 до 40–60%), в то время как низкоплотные добавки (парафин, церезин, воск) повышают чувствительность этих взрывчатых веществ. Поэтому водонаполненные перхлоратные ВВ достаточно перспективны.

Перхлоратные ВВ реагируют в две стадии. Вначале разлагается перхлорат с выделением высокоактивной хлорной кислоты, которая взаимодействует с горючими компонентами смеси с выделением тепла. Поэтому возникает необходимость поиска флегматизатора для данной кислоты (HClO_4).

Na(K)ClO_4 дают менее чувствительные смеси, чем перхлорат аммония, поскольку при взрыве в этом случае образуются хлориды-ингибиторы.

Следовательно, именно их можно вводить в состав предохранительных взрывчатых веществ, однако перхлоратные ВВ на основе Na(K)ClO_4 в настоящее время слишком дороги, чтобы рекомендовать их к широкому применению. Кроме того, существует вероятность образования после их взрыва токсичных хлорсодержащих веществ, что естественно приводит к невозможности их использования в подземных условиях.

В настоящее время в России используются смеси на основе хлората натрия в газогенераторах давления шпуровых (ГДШ) по ТУ 7275-002-46242932-002, работающих в режиме дефлаграции, применяемых, для отбойки штучного камня, дробления негабаритных кусков горной породы, фундаментов и др.

ГДШ состоят из цилиндрического пенала диаметром 20–25 мм, длиной 100–600 мм, внутри которого располагаются горючий состав и узел запуска (зажигательное устройство).

Согласно ТУ 7275-002-46242932-002: объем газов $\sim 0,4 \text{ м}^3/\text{кг}$ (вода — пар), полная идеальная работоспособность — 3270 кДж/кг, кислородный баланс при горении $-8\ldots-3\%$.

ВВ на основе жидких нитропарафинов и солей гидразина (астралиты). Из нитропарафинов наиболее перспективен нитрометан (НМ). НМ с алюминием загущают. На основе загущенного НМ и измельчен-

ной аммиачной селитры можно готовить пластичные высокоплотные и высоководоустойчивые ВВ, не уступающие по мощности динамитам, но малотоксичные, с низкой чувствительностью к механическим воздействиям и морозостойкие. Их скорость детонации 4,7–5,5 км/с.

Скорость детонации чистого нитрометана в металлической трубе 6–6,5 км/с. По энергетическим характеристикам нитрометан практически совпадает с гексогеном. Однако у нитрометана имеется существенный недостаток — повышенная летучесть. Поскольку нитрометан тяжелее воды и не смешивается с ней, то он может применяться для подрыва в обводненных скважинах через столб воды, которая в данном случае будет исполнять роль забойки (материал, который служит для «запираания» продуктов детонации, повышения коэффициента полезного действия взрыва и снижения радиуса разлета осколков).

Введением в нитрометан алюминия (тонкодисперсной пудры или стружки, получаемой при токарной или фрезерной обработке алюминиевых или дюралевых заготовок, толщиной 100–150 мкм и длиной 5–50 мм) можно повысить массовую энергию взрыва в 1,4–1,5 раза и объемную — в 1,6–2 раза. По приближенным оценкам, в благоприятных условиях взрывания может участвовать во взрывчатом превращении до 25% алюминия. Объемная энергия таких бинарных систем порядка 8400–9660 кДж/л, что превосходит объемную энергию алюмотола, граммонала и акватола на 28–45%.

Смеси гидрата гидразина ($\text{NH}_2\text{NH}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) и АС (за рубежом называемые астралитами) характеризуются высокими расчетными энергетическими показателями. ВВ на основе нитрата и перхлората гидразина морозостойки и относительно безопасны в обращении. Их плотность 1,3–1,4 г/см³, скорость детонации 7,5–8,0 км/с. Недостатком таких астралитов является их низкая физическая стойкость из-за испарения гидразина. Астралиты можно готовить на месте применения смешением нитратов и перхлоратов гидразина с жидким аммиаком или растворами АС.

Смеси гидрата гидразина ($\text{NH}_2\text{NH}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) и АС (за рубежом называемые астралитами) характеризуются высокими расчетными энергетическими показателями. ВВ на основе нитрата и перхлората гидразина морозостойки и относительно безопасны в обращении. Их плотность 1,3–1,4 г/см³, скорость детонации 7,5–8,0 км/с.

Недостатком таких астралитов является их низкая физическая стойкость из-за испарения гидразина. Астралиты можно готовить на месте применения смешением нитратов и перхлоратов гидразина с жидким аммиаком или с растворами аммиачной селитры.

3.10. Тенденции развития промышленных взрывчатых веществ

Номенклатура и ассортимент промышленных взрывчатых веществ как в СССР (России), так и в мире начали стремительно меняться с начала 50-х гг. прошлого века. Принято считать, что эти изменения связаны с разработкой и применением гранулированной смеси аммиачной селитры с дизельным топливом (AN — FO), которая пришла на смену знаменитому динамиту. Уже в 1959 г. в США она стала наиболее широко используемым взрывчатым веществом при открытой добыче угля, а к началу 1990-х гг. смесь AN-FO завоевала 75% рынка ПВВ. Это привело к тому, что из 30 заводов по производству динамита к 1993 г. остался только один — фирмы «Дино Нобель».

Следует отметить, что данная статистика в большей мере справедлива для дальнего зарубежья. В России и странах СНГ аналоги AN — FO — *игданиты* и *гранулиты* — не заняли той ниши и пропорциональных объемов применения, которые достигнуты за рубежом.

Однако уже в середине 90-х гг. прошлого века приобретают популярность эмульсионные взрывчатые составы, которые несколько потеснили AN — FO, так как их свойства позволили преодолеть основные недостатки данных смесей: отсутствие водоустойчивости и низкую плотность. Таким образом, отличительной особенностью современного ассортимента ПВВ во всем мире является чрезвычайно высокий уровень производства и применения простейших взрывчатых смесей типа AN — FO и эмульсионных взрывчатых составов как наиболее безопасных, экологически чистых и экономически выгодных ПВВ. Можно отметить, что стоимость заряда AN — FO, приведенная к единице энергии, в два раза ниже в сравнении с эмульсионными и тротилсодержащими ВВ. Весь мировой опыт применения энергии взрыва в горных взрывных работах и тенденции совершенствования технологии их проведения свидетельствуют об исключении из употребления взрывчатых материалов, содержащих бризантные взрывчатые ВВ.

В настоящее время, по данным международной фирмы «Глобальная аналитическая ассоциация», Inc. США, Европы и Азии» (GIA), мировое годовое потребление промышленных взрывчатых ве-

ществ оценивается 10,5–11,0 млн тонн, что даже несколько больше общего расхода всех взрывчатых веществ во Второй мировой войне 1941–1945 гг. (без учета СССР). Крупнейшими производителями и потребителями ПВВ являются США, где в течение 1-го и начала 2-го десятилетия XXI в. объем национального производства взрывчатых веществ значительно возрос и составил 3,4 млн тонн в год, и Китай, который нарастил мощности производства ПВВ до 2 млн тонн в год. Эти страны суммарно выпускают около половины всех взрывчатых веществ в мире. Россия с объемом производства ПВВ 1,171 млн тонн находится на уровне Южно-Африканской Республики и Австралии. Все страны ЕС производят и применяют ежегодно только около 540 тыс. тонн ПВВ в год.

Анализ тенденций мирового рынка ПВВ, представленный Геологической службой США (USGS), и прогноз основных географических рынков ПВВ (GIA) таких как США, Канада, Япония, Франция, Германия и другие страны ЕС, Азия, Латинская Америка, Ближний Восток и Африка, показали, что объем производства ПВВ в ближайшие годы будет если и расти, то весьма незначительно, что связано в первую очередь с мировыми экономическим и политическим кризисами.

Если рассматривать мировую динамику производства ПВВ за последние полтора десятка лет, то можно обнаружить тенденцию смещения объемов выпуска ПВВ от США и социалистической Азии (в основном Китая) в сторону стран СНГ (в основном России), Юго-Восточной Азии, Центральной и Южной Америки. Например, в 2001 г. в Северной Америке потреблялось около 2,5 млн тонн ПВВ (39% от общемирового объема), в Азии (Китае) около 1,3 млн тонн (21% от общемирового объема), СНГ (в основном России) 0,6 млн тонн (9% от общемирового объема), на страны ЕС приходилось 8% мирового потребления (0,5 млн тонн). Однако уже в 2010 г. в США производят и потребляют только 31% ПВВ от общего объема в мире, в Китае — ~ 20%. В то время как в странах СНГ (в основном Россия) уже производят и потребляют 14% (1,53 млн тонн). В странах ЕС в абсолютном значении объем потребления (0,54 млн тонн) остался практически прежним, однако в относительном значении это составляет только около 2% от мирового уровня производства и потребления ПВВ, при этом наибольшими потребителями ПВВ в этих странах являются Польша (180 тыс. тонн) и Чехия (100 тыс. тонн).

В европейских странах (без СНГ) ассортимент ПВВ состоит из 52% AN — FO, 33% эмульсионных ВВ и 15% динамитов.

В России в течение многих лет, вплоть до середины 90-х гг. прошлого века, основу выпускаемого и потребляемого ассортимента ПВВ составляли тротилсодержащие ВВ заводского изготовления. К ним относились: водоустойчивые гранулированные ВВ типа гранутола, гранитолы и граммониты с различным содержанием тротила, а также различные порошкообразные составы типа аммонитов и простейшие составы: гранулиты и АС — ДТ. Еще в 1991 г. объем выпуска ПВВ заводского изготовления составлял около 84%, в которых доля тротилсодержащих ПВВ достигала 70% от общего объема применяемых веществ. Однако с начала 2000 г. в структуре ассортимента ПВВ начали происходить существенные изменения, что связано с появлением на российском рынке отечественных и зарубежных эмульсионных ВВ, существенно превосходящих тротилсодержащие ВВ по безопасности, экологической чистоте и меньшей стоимости.

В 2010 г. объем потребления ПВВ, изготавливаемых на местах применения, составил 85%, а доля тротилсодержащих ПВВ снизилась до 10%.

В настоящее время, а на ближайшие годы такая тенденция, вероятно, сохранится, в России ассортимент ПВВ представляют 52% эмульсионные составы, 33% смеси типа АС — ДТ, 8% граммониты и 7% остальные классы ПВВ. По первым трем типам ПВВ процентный состав совпадает с Европой, но вместо граммонитов и остальных классов там эту нишу занимают динамиты.

В США обратное соотношение между эмульсионными и смесями AN — FO. Большой объем использования последних связан с преобладающим их применением на открытых угольных разрезах, объем которых в общей добыче полезных ископаемых достигает 70%. Кроме того, в США довольно широко при взрывных работах применяется изменение диаметра и сетки скважин, что позволяет использовать смеси AN — FO в крепких породах. И, наконец, для использования AN — FO применяют различные методы для создания обезвоженных условий: осушение скважин, применение специальных рукавов и введение специальных добавок в состав.

Мировой объем выпуска ПВВ подвергается воздействию мирового экономического развития стран, развитию энергетики, в том числе с альтернативными источниками энергии, спроса на полезные

ископаемые, переходу от подземной добычи к поверхности и отсутствию жизне- и конкурентоспособных технологий добычи полезных ископаемых, в противовес взрывным. Существенное значение имеет рост добывающей промышленности в Африке, странах Тихоокеанского региона и Латинской Америки, где уровень разработки месторождений весьма невелик, несмотря на богатые залежи металла и угля, что предлагает огромные возможности для роста выпуска ПВВ.

В мире на долю горнорудной промышленности приходится около 85% объема потребления ПВВ. Добыча угля в рамках горнорудной промышленности на сегодняшний день является крупнейшим сектором потребления ПВВ (52% от общего уровня применения). Резкое увеличение в секторе добычи угля в первую очередь отражает ее рост в Китае, что связано с удовлетворением спроса на электроэнергию и выпуск металла (в основном стали). При этом быстрый рост объемов поверхностной добычи угля и снижение ее при подземных горных работах определяет непропорционально большую долю потребления взрывчатых веществ в этом секторе.

Второй по величине объемов использования ПВВ является та часть горнорудной промышленности, которая связана с добычей полезных ископаемых неугольного сектора, на долю которой приходится 29% от общего выпуска и применения взрывчатых веществ. В дальнейшем, согласно прогнозам, потребление ПВВ в этой части сектора добычи полезных ископаемых будет увеличиваться, что связано как с ростом потребности в полезных ископаемых вообще, так и с увеличением доли в разработках бедных месторождений. Четыре процента потребления ПВВ в горнорудной промышленности связаны со вспомогательными работами (например, строительного характера) в данной отрасли.

Значительный объем потребления (около 9% мирового рынка взрывоопасных материалов) взрывчатых веществ связан со строительной отраслью и некоторыми видами машиностроения.

В данном распределении объемов ПВВ по отраслям значительно отличаются США. Так, при добыче угля использование ПВВ от общего объема составляет не 52%, а 68–70%. При разработке карьеров и неметаллических рудников потребление ПВВ составляет 13%. При добыче полезных ископаемых — 8%, в строительстве — 8%, в других отраслях — 1–3%. Вследствие этого в США наблюдается значитель-

но больший объем применения простейших смесей AN — FO (на некоторых угольных месторождениях — до 80–85%), которые и составляют основной ассортимент применяемых в США ПВВ.

За рубежом особое внимание при огромных объемах потребления ПВВ уделяется их сохранности и предотвращению возможности их использования в террористических целях. С этой целью все ПВВ и их компоненты должны изготавливаться с метками (taggants) и помечаться цветом.

Вопросы к главе 3

1. Физико-химические свойства аммиачной селитры. Природа явления полиморфизма. Растворимость в воде.

2. Термические свойства аммиачной селитры. Химические свойства аммиачной селитры.

3. Взрывчатые свойства аммиачной селитры. Критический диаметр аммиачной селитры. Промышленные сорта нитрата аммония.

4. Взаимные зависимости между физическими параметрами заряда (гранулометрический состав, условия замкнутости, плотности) и его взрывчатыми свойствами (критический и предельный диаметры).

5. Особенности детонации смесевых взрывчатых ВВ, построенных по принципу окислитель — горючее.

6. Классификация аммиачно-селитряных ВВ по области применения и составу.

7. Металлизированные взрывчатые составы АС ВВ. Современные представления о поведении частиц металлического горючего в детонационной волне.

8. Порошкообразные аммониты. Прессованные аммониты. Граммониты. Водоустойчивые граммониты. Состав, свойства, применение. Достоинства и недостатки.

9. АС ВВ для снаряжения боеприпасов военного времени.

10. Нитроэфирные ВВ. Детониты. Состав, свойства, применение. Достоинства и недостатки.

11. Принципы создания водонаполненных ВВ. Состав водонаполненных ВВ. Преимущества и недостатки водонаполненных ВВ перед порошкообразными и гранулированными ВВ. Пластичные водонаполненные ВВ — акваниты. Состав, свойства и применение. Достоинства и недостатки.

12. Льющиеся водонаполненные ВВ — акватолы, ифзаниты. Состав, свойства, применение. Достоинства и недостатки. Карботолы и

другие горячельющиеся ВВ. Состав, свойства. Применение. Достоинства и недостатки.

13. Эмульсионные водонаполненные ВВ. Порэмнты. Тяжелые эмульсии. Состав, свойства, применение. Достоинства и недостатки.

14. Производство промышленных ВВ в России и за рубежом. Особенности номенклатуры.

15. Шахтная атмосфера. Ее особенности. Теории предохранительных ВВ. Испытания в опытном штреке зарядов ВВ на предохранительность.

16. Требования к зарядам предохранительных ВВ. Принципы компоновки, состав и характеристики предохранительных ВВ в зависимости от класса опасности.

Список литературы к главе 3

1. *Дубнов, Л. В.* Промышленные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахареvич, А. И. Романов. — М. : Недра, 1988. — 358 с.

2. Горная энциклопедия : в 5 т. / под ред. Е. А. Козловского. — М. : Сов. энциклопедия, 1981–1994.

3. *Генералов, М. Б.* Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ. — М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. — 397 с.

4. Взрывное дело. — Вып. № 107/64: Теория и практика взрывного дела. — М. : ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2012. — 316 с.

5. *Добрынин, А. А.* Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность. — М. : ИД Академии Жуковского, 2014. — 528 с.

ГЛАВА 4

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВВ НА ОСНОВЕ УТИЛИЗИРУЕМЫХ ЭНМ

4.1. Общие сведения

Проблема утилизации боеприпасов артиллерии и боевых частей (зарядных отделений) ракетного и минно-торпедного вооружения сухопутных войск и военно-морского флота вооруженных сил как бывшего СССР, так и РФ, является важной народнохозяйственной задачей оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации. Имеются два важных аспекта данной проблемы. Первый связан с экономической составляющей утилизации боеприпасов и имеет двоякую природу. С одной стороны, утилизация старых боеприпасов необходима, хотя бы в силу того, что их хранение является достаточно затратным и составляет 1,5–2,0% от их себестоимости, с другой стороны, существующие в РФ технологии расснаряжения БП нерентабельны и повторное использование ВВ и других материалов не покрывает расходов на эти работы.

Однако распад системы централизованного обеспечения промышленности ВВ и компонентами для их производства привел к тому, что многие предприятия частично или полностью оказались законсервированными. В результате сложилась чрезвычайно сложная ситуация на ряде оборонных предприятий в связи с отсутствием высокоэнергетических прецизионных ВВ, которые выпускались ранее малыми сериями. ВВ являются относительно стойкими компонентами зарядов и на момент снятия последних с вооружения обладают еще достаточным ресурсом работоспособности, что побуждает к разработке новых технологий утилизации. Это в полной мере относится и к производству промышленных взрывчатых веществ, поскольку основная доля извлекаемых из боеприпасов энергонасыщенных материалов перерабатывается все же в промышленные ВВ и потребляется горнодобывающей промышленностью. В ряде случаев изготовление так называемых конверсионных ВВ производят не только на заводах-изготовителях ПВВ, но и на арсеналах и базах хранения БП.

Все взрывчатые вещества, которые могут быть извлечены из расснаряжаемых изделий в соответствии с их свойствами (взрывчатыми и

физико-механическими характеристиками, в первую очередь, чувствительностью к трению и удару) подразделяют на четыре группы.

1. Тротил (ТНТ) и его смеси, в том числе тротил-гексоген (ТГ).
2. Тротил-гексоген-алюминий (ТГА).
3. Гексогеносодержащие композиционные (смесевые) ВВ (А-IX-1, А-IX-2, А-IX-20 и др.).
4. Суррогатные ВВ, пороха и ТРТ.

Вторично использовать при проведении взрывных работ в народном хозяйстве эти взрывчатые вещества можно: в порошкообразном состоянии — при изготовлении зарядов промышленных ВВ непосредственно вблизи от места их применения и в уплотненном виде — для зарядов тех или иных форм и размеров.

При изготовлении ВВ в порошкообразном состоянии и транспортировании к месту назначения необходимо решить вопрос затаривания ВВ. Для изготовления зарядов ВВ в уплотненном виде новых разработок не требуется, так как оборудование для этого имеется на снаряжательных заводах.

В год можно ожидать получения следующего количества взрывчатых веществ: 1-я группа — 70 тыс. тонн, 2-я группа — 14 тыс. тонн, 3-я группа — 8 тыс. тонн, 4-я группа — 170 тыс. тонн.

Взрывчатые вещества, получаемые в результате расснаряжения боеприпасов, могут использоваться для взрывных работ как в чистом виде, так и переработанном. Так, взрывчатые вещества 1-й группы, например тротил, могут использоваться самостоятельно как водостойкое промышленное ВВ в гранулированном виде, а также для изготовления смесей с аммиачной селитрой, применяемых в горнорудной промышленности — аммонитов, амматолов, граммонитов, аммоналов, акванитов и др.

Тротил в чистом виде используется для изготовления из него инженерных шашек массой 200 и 400 г. Шашки изготавливаются на механических или гидравлических многопозиционных прессах, имеющих на снаряжательных заводах.

Взрывчатые вещества, относящиеся ко 2-й группе и имеющие более сильные взрывчатые свойства, могут после их извлечения повторно прессоваться в шашки различных геометрических размеров. Они используются для сейсмической разведки ископаемых материалов, разработки нефтяных скважин, штамповки, сварки, резки, как промежуточные детонаторы для аммиачно-селитряных ВВ и др.

Взрывчатые вещества, относящиеся к 3-й группе и обладающие еще более высокими взрывчатыми свойствами, могут использоваться для изготовления прессованных, кумулятивных зарядов и инженерных шашек, используемых для проведения точных взрывных работ, разделки бронетехники и крупных изделий (резервуаров, кораблей, паровозов и т. д.), в смесях для получения скального аммонита. И, наконец, что особенно перспективно, как сырье для получения искусственных алмазов, нитрида бора и других сверхтвердых материалов.

Взрывчатые вещества, относящиеся к 4-й группе, обладают меньшими взрывчатыми характеристиками и чувствительностью и используются в водосодержащих и водоземulsionных промышленных ВВ.

В настоящее время существует более 150 направлений, в которых указанные энергонасыщенные материалы (ЭНМ) могут найти применение в мирных целях. Примерное распределение этих направлений по типу ЭНМ может проиллюстрировать таблица 4.1.

Из таблицы 4.1 видно, что наиболее широкое применение могут найти ВВ бризантного типа. Однако, как показал анализ конструкций артиллерийских и ракетных выстрелов, масса порохов, получаемых в результате расснаряжения, значительно превосходит массу извлекаемых ВВ. Поэтому дальнейшее использование порохов в народном хозяйстве является одной из наиболее приоритетных задач.

Таблица 4.1

Распределение вторичных ВВ (ЭНМ) по направлениям использования

Вид ЭНМ	Число направлений использования в мирных целях
Бризантные ВВ	61
Баллиститные пороха	38
Пиротехнические составы	23
Смесевые твердые топлива	14
Пироксилиновые пороха	5
Черный порох	5

Пироксилиновые и баллиститные пороха различных марок применяются в качестве источников энергии в различных видах вооружения. Это связано со значительной концентрацией энергии в единице массы данного сложного по химическому составу композиционного соединения и возможностью ее (энергии) быстрого выделения. В современных условиях, когда идет планомерное уничтожение морально устаревших образцов военной техники, высвобождается громадное количество различных видов порохов, требующих последую-

щей утилизации. Научно обоснованная программа конверсии в этой области базируется на следующих направлениях:

1) поиск новых направлений широкого использования внутренней энергии порохов в народном хозяйстве;

2) организация на базе отраслевых предприятий выпуска новой, нетрадиционной, конкурентоспособной продукции с внедрением на внутреннем и внешнем рынках;

3) создание взрывобезопасных экономичных технологических процессов и производительного оборудования для выпуска мирной продукции и товаров народного потребления.

Поясним последний пункт. До некоторого времени достаточно экономичным способом утилизации образцов военной техники с ЭНМиБП являлось их сжигание и подрыв. Однако в этом случае в атмосферу выделяется большое количество токсичных веществ, что оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду, нарушает экологический баланс и вызывает неблагоприятный общественный резонанс, особенно в местах проживания гражданского населения, граничащих с зонами подрыва.

Поэтому в ряде развитых стран, в том числе и в России, приняты специальные законодательные акты, ограничивающие работы с вредными для экологии последствиями. Это и побуждает ученых во всем мире к поиску новых технологий утилизации вредных веществ, в том числе и ВВ.

4.2. Проблемы утилизации порохов

Пороха, в отличие от штатных ВВ типа ТНТ, обладают более высокой чувствительностью к механическим воздействиям (трению и удару), но более низкой — к ударной волне. Такие свойства порохов практически исключают их использование в качестве однокомпонентных промышленных ВВ без предварительной обработки.

Однако исследования показали, что флегматизация порохов различными поверхностно-активными веществами (маслами) может снизить их чувствительность к трению и удару практически до уровня штатных ВВ, а использование дополнительного инициатора из специального состава позволяет успешно возбуждать в них детонационный режим взрывчатого превращения.

Проблемы утилизации пироксилиновых порохов. Утилизация устаревших пироксилиновых порохов, количество которых во много раз превышает объем баллиститных порохов, представляет

крайне сложную проблему. Нитроцеллюлозные пороха представляют собой твердые, плотные взрывчатые системы, лишенные волокнистой структуры и в значительной мере — пористости, и не обладают термопластическими свойствами. Объем пор 2–4%, насыпная плотность пороха 0,6–0,9 г/см³.

Перспективным направлением утилизации пироксилиновых порохов, полученных расснаряжением, является использование такого пороха в совокупности с аммиачной селитрой при изготовлении промышленных ВВ нового типа. По своим свойствам ВВ близко к аммониту типа 6ЖВ и детонирует от электродетонатора ЭД-8. Заряд этого ВВ имеет нулевой кислородный баланс, а требуемые взрывчатые характеристики получены за счет определенного соотношения компонентов и их дисперсности. Критический диаметр детонации получаемого ВВ — 15 мм. Из этого ВВ изготавливаются патроны диаметром 32 мм с массой ВВ 200 г.

Проблемы утилизации баллиститных порохов. Использование устаревших баллиститных порохов в качестве промышленных ВВ можно рассматривать как одно из основных направлений утилизации таких порохов. Специальные исследования показали, что устаревшие пороха баллиститного типа с истекшим сроком хранения обладают достаточно большим запасом химической стойкости и не потеряли свои взрывчатые свойства. При правильно выбранной системе инициирования они безотказно детонируют как в россыпи, так и в заводской упаковке и могут быть использованы в качестве промышленных ВВ. Однако по чувствительности к механическим воздействиям, по плотности, кислородному балансу состава, приготовленные на основе устаревших баллиститных порохов, уступают штатным промышленным ВВ. Но эти характеристики могут быть улучшены, если ввести в порох аммиачную селитру и пластификатор ЛД-70 (смесь ди- и триэтиленгликольдинитрата в соотношении по массе 70:30).

Одним из направлений использования устаревших порохов баллиститного типа (как артиллерийских, так и ракетных) является применение их в качестве промышленных ВВ для импульсной обработки металлов взрывом (сварка, штамповка, резка, упрочнение и др.). Для этого разработан ряд взрывчатых составов с регулируемой скоростью детонации в диапазоне 5,5–8,0 км/с, так как, в зависимости от вида операции обработки металла, требуются различные скорости детонации ВВ (от 3 до 8 км/с), а рецептуры устаревших порохов, поступающих после расснаряжения, имеют весьма узкий диапазон скоростей

детонации (6,9–7,5 км/с). Для устранения этого недостатка предложено вводить в состав пороха инертные пористые наполнители (древесные опилки, древесную муку) — около 10% массовых долей, которые позволят расширить диапазон скоростей детонации до требуемых пределов. Для получения максимальных скоростей детонации в состав порохов рекомендовано вводить в качестве добавки гексоген.

Разработан ряд составов промышленных ВВ на основе порохов и водных растворов аммиачной селитры. Ее введение повышает кислородный баланс и детонационные характеристики, увеличивает работоспособность и уменьшает чувствительность взрывчатых составов к механическим воздействиям.

4.3. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизируемых энергонасыщенных материалов

Современный подход к утилизации боеприпасов связан с сохранением металлических оболочек-корпусов и удалением из них взрывчатых веществ, которые согласно нормативным документам не могут более храниться на складах, базах и арсеналах МО РФ. Металлические оболочки повторно поступают на снаряжение, а взрывчатые вещества — на последующую переработку, причем с наибольшей эффективностью их можно использовать при изготовлении дешевых промышленных ВВ, потребность в которых крайне велика.

Применение взрывчатых материалов и порохов из утилизируемых боеприпасов имеет ряд специфических моментов:

а) основными потребителями разрабатываемых промышленных взрывчатых веществ являются горнодобывающая, геологоразведочная и некоторые другие отрасли мирной промышленности, где не требуется длительного хранения создаваемых материалов;

б) эффективность, технологичность и экологическая безопасность новых ПВВ на основе утилизируемых взрывчатых материалов не должна уступать разработанным рецептурам ПВВ;

в) изготовление конверсионных промышленных взрывчатых веществ должно осуществляться универсально как на снаряжательных заводах отрасли, так и непосредственно на базах хранения и арсеналах боеприпасов и взрывчатых материалов;

г) новые рецептуры ПВВ не должны значительно отличаться по своим характеристикам, свойствам и приемам обращения от существ-

вующих, а их номенклатура сведена к минимуму, чтобы не возникали трудности при адаптации потребителей взрывных работ.

На основе анализа рецептурно-технологических особенностей все извлекаемые взрывчатые материалы (ВМ), как было сказано выше, разделены на четыре основные группы. Рассмотрим их более подробно.

Группа 1 — *тротил и его смеси*. К этой группе относятся следующие ВМ и промышленные взрывчатые вещества, а также средства взрывания для штатных ВВ.

Тротил-У. Предназначен для заряжения обводненных полостей и скважин на земной поверхности. Выпускается в виде кусков нерегламентированной формы и полидисперсного состава с максимальным размером куска 45 мм. Выпускаются две марки *тротила-У*: УД и УГ. Тротил марки УД (дробленный) предназначен для ручного заряжения скважин. Тротил марки УГ (гранулированный) предназначен для ручного и механизированного заряжения скважин и производится в виде гранул размером 3–5 мм. Плотность как кусков, так и гранул обеих марок тротила составляет не более 1,45 г/см³. Насыпная же плотность для *тротила-УГ* — 0,75–0,8 г/см³, для *тротила-УД* — 0,9–1,0 г/см³.

Граммониты 30/70, 40/60. Предназначены для производства взрывных работ на земной поверхности с ручным заряжением сухих и обводненных скважин. Изготавливаются из *тротила-У* или тротила любой марки в виде гранул полусферической формы размером до 8 мм. Содержат в составе 30 или 40% аммиачной селитры соответственно маркировке.

Алюмотол. Предназначен для взрывных работ при ручном и механизированном заряжении на земной поверхности в забоях любой степени обводненности, в том числе и в забоях с проточной водой. Изготавливается из утилизируемого состава ТА. Выпускается в виде гранул сферической и полусферической формы размером до 8 мм.

Детонаторы промежуточные модульные (ДПМ-250, ДПМ-350). Предназначены для инициирования скважинных зарядов ВВ, находящихся в сухих и обводненных средах, на земной поверхности. Выпускаются в пластиковых корпусах, наполненных *тротилом-У*, массой 250 или 350 г соответственно.

Шашки-детонаторы Т-400. Предназначены в качестве промежуточных детонаторов для инициирования скважинных и других зарядов малочувствительных промышленных ВВ на земной поверхности. Изготавливаются из смеси, состоящей из утилизированного тро-

тила марки УД по ТУ 7511809-80-93 и тротила марки А по ГОСТ 4117-78 или тротила по ГОСТ 7059-73.

Источники сейсмических волн ИС-100. Предназначены для возбуждения энергией взрыва упругих колебаний в земной коре при производстве сейсмических работ с использованием шпуров и скважин любой степени обводненности. Выпускаются в полиэтиленовом корпусе, наполненном *тротилом-У*.

Группа 2 — литьевые смеси, содержащие гексоген: ТГ, МС, ТГА-16, ТГАГ-5, ТГАФ-5М.

Альгетолы. Предназначены для производства взрывных работ на земной поверхности с ручным заряданием сухих и обводненных скважин. Это наиболее мощные из существующих промышленных ВВ. Изготавливаются из утилизированных составов: МС, ТГА-16, ТГАГ-5 или ТГАФ-5М в виде гранул полусферической формы размером до 8 мм. Разработаны 3 марки альгетолов: *альгетол-15*, *альгетол-25* и *альгетол-35*. Содержат в составе 15, 25 или 35% гексогена соответственно. Водостойкость данных составов практически неограниченная.

Источники сейсмических волн ИС-500ТГА, ИС-1000ТГА. Предназначены для возбуждения энергией взрыва упругих колебаний в земной коре при производстве сейсмических работ с использованием шпуров и скважин любой степени обводненности. Выпускаются в полиэтиленовом корпусе, наполненном утилизируемым составом ТГА.

Группа 3 — сухие или влажные композиционные смеси, содержащие А-IX-1, А-IX-2.

Эмульсионные патронированные ВВ диаметром 36, 60, 90, 120 мм. Являются водостойкими ПВВ. Предназначены для зарядания шпуров и скважин при производстве как подземных взрывных работ, так и взрывных работ на земной поверхности.

Источники сейсмических волн ИС-100. Предназначены для возбуждения энергией взрыва упругих колебаний в земной коре при производстве сейсмических работ с использованием шпуров и скважин любой степени обводненности, выпускаются в полиэтиленовом корпусе, наполненном составом А-IX-1 или А-IX-2.

Группа 4 — пороха и твердые ракетные топлива.

Эмульсен-П. Представляет собой обратную эмульсию водного раствора аммиачной и натриевой селитры в нефтепродукте, сенсibilизированную пироксилиновым порошком.

Заряды эмульсионно-пороховые (ЗЭП). Предназначенные к применению на земной поверхности для ручного зарядания скважин в

технологии строительства, отбойки горных пород с помощью энергии взрыва, взрывов на выброс. Изготавливаются из *эмульсена-П*. Выпускаются в виде зарядов диаметром 45, 60, 90 и 120 мм. Относятся к водостойким зарядам.

Гельпоры — водосодержащие ВВ пастообразной консистенции на основе водного раствора окислителей, сенсibilизированные порохом или крошкой ТРТ. Предназначены для применения в патронированном виде на открытых горнодобывающих и сейсморазведочных работах в сухих, обводненных и заполненных буровым раствором скважин. Выпускаются в виде патронов диаметром 90 и 120 мм. Относятся к водостойким зарядам.

Поротол. Предназначен для снаряжения сейсмических зарядов дробящих плоских комбинированных (ЗДПК) и других изделий для специальных взрывных работ. Представляет собой композицию из зерен утилизируемого пироксилинового пороха и тротила. Является водостойким ПВВ.

Заряд сейсмический ЗС-70ИЗ. Предназначен для возбуждения упругих колебаний в породах земной коры при сейсморазведочных работах с использованием энергии взрыва на земной поверхности в скважинах, заполненных водой или буровым раствором. Выпускают в полиэтиленовом корпусе, наполненном *поротолом*. Дешевле аналогичных тротильовых зарядов на 30–35%.

Заряды дробящие плоские комбинированные (ЗДПК). Предназначены для вторичного дробления горной породы на земной поверхности. Представляют собой литую шашку (*поротол*), торец которой покрыт стальной облицовкой. Эффективнее аналогичных тротильовых зарядов в 1,5 раза.

Заряды комбинированные модульные (ЗКМ). Предназначены для применения наземной поверхности в технологии строительства и очистки мелиоративных каналов, отбойки горных пород и постановки бортов карьеров на предельный контур. Выпускают в виде моноблока из шашки баллиститного пороха и тротила, заключенного в оболочку.

Зерниты. Предназначены для взрывных работ на земной поверхности для заряжания скважин любой степени обводненности. Выпускаются в виде льющейся смеси на основе утилизируемого зерненого пироксилинового пороха, воды или раствора окислителя.

Гранитор ППФ. Предназначен для производства взрывных работ на земной поверхности при отбойке сухих и обводненных горных по-

род. Представляет собой зерненный пироксилиновый порошок, флегматизированный нефтепродуктом. Относится к водостойким зарядам.

Комбинированные заряды скважинные. Предназначены для ведения взрывных работ на земной поверхности. Изготавливаются на заряжаемом блоке загрузкой в скважину чередующихся слоев аммиачной селитры и зерненого пироксилинового пороха.

Основные энергетические характеристики новых видов ПВВ, их чувствительность и некоторые другие параметры представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Характеристики новых видов ПВВ

ПВВ	$Q_{\text{взр}},$ кДж/кг	$T_{\text{всп}},$ °C	Чувствительность к трению (ГОСТ 4545, прибор № 1), %	Плотность, г/см ³	Скорость детонации, км/с	Кислородный баланс, %
Тротил-У	3900	295–305	0–20	0,7–0,8*	5,0–5,5**	–7,4
Граммонит 30/70	3768	315–325	12–24	0,8–0,9*	3,8–4,5	–45,9
Граммонит 40/60	3747	320–325	12–24	0,8–0,9*	3,7–4,4	–36,5
Альгетол-15	4735	210	8	0,9–1,0*	4,6	–80,8
Альгетол-25	4860	210	8	0,9–1,0*	4,8	–78,8
Альгетол-35	4986	210	16	0,9–1,0*	5,0	–75,9
Эмульсен-П	3200	190	0	1,5	5,6	–15,6
Гельпор-2	3771	170–185	0	1,4	5,2	+3,0–(–9,0)
Гельпор-3	3560	170–190	0	1,4	5,3	+1,9–(–6,7)
Поротол	3875	170–180	52	1,5	6,5	–59,4
Гранипор ППФ	3436	180–190	8–18	0,8–0,9*	6,3	–42

Примечания: * — насыпная плотность; ** — в водонаполненном состоянии.

4.4. Сравнительные характеристики ВВ первичного и повторного использования

Промышленные взрывчатые вещества вторичного использования (ВВВИ), получаемые в результате утилизации, отличаются от обычных промышленных ВВ, во-первых, по внешнему виду, что обусловлено методами их изготовления.

Во-вторых, ВВВИ могут отличаться размерами частиц. Так, повторные взрывчатые вещества, получаемые раздавливанием на прессе, представляют собой отдельные частицы различного размера и конфигурации. Максимальный размер этих частиц выбирается из условий дальнейшего применения и использования ВВВИ и может варьироваться в интервале от долей миллиметра до нескольких десятков миллиметров. Частицы повторных промышленных ВВ, полученных переработкой деталей из утилизируемых ЭНМ на токарном станке, в основном имеют меньшие размеры.

Исследования основных технологических, физико-химических, взрывчатых, прочностных свойств взрывчатых веществ, изготовленных при утилизации деталей и изделий из мощных взрывчатых составов на основе гексогена и октогена методами механического измельчения, показали, что они мало отличаются от ВВ первичного изготовления. Для некоторых смесевых взрывчатых веществ и составов отмечена лишь тенденция к незначительному повышению чувствительности к механическому и ударно-волновому воздействию. Объясняется это относительно небольшим ростом дефектности кристаллов основного взрывчатого наполнителя (октогена) вследствие переработки методом измельчения.

Естественно, что в зависимости от предыстории хранения и эксплуатации изделий и деталей из ВВ ресурс физико-химической стабильности ВВВИ будет ниже, чем у взрывчатых веществ первичного изготовления. Поэтому в ряде случаев целесообразно добавлять в ВВ вторичного использования компоненты, повышающие ресурс и изменяющие бризантное действие и чувствительность ВВВ.

4.5. Технологические схемы и оборудование для изготовления новых ПВВ

Различные виды рассматриваемых ПВВ изготавливаются по своим, присущим только им, технологическим схемам и на своем оборудовании.

Тротил-У

Данное ПВВ изготавливают путем механического дробления утилизируемых зарядов и выпускают в виде кусков нерегламентированной формы и полидисперсного состава с максимальным размером 45 мм в следующих модификациях:

- УД — дробленый в виде кусков;

- УГ — гранулированный в виде гранул величиной 3–5 мм.

Тротил УД применяется в сухих и обводненных скважинах на земной поверхности методом заряжения. Тротил УГ может использоваться и для механизированного заряжения скважин, диаметр которых составляет не менее 150 мм. При относительной влажности воздуха менее 65% *тротил-У* может электризоваться. *Тротил-У* является токсичным веществом, поэтому при работе с ним следует применять средства защиты от попадания пыли на кожу, слизистые оболочки, органы пищеварения.

Выплавляемый из различного типа боеприпасов (снарядов, мин, бомб и др.) расплав тротила после кристаллизации бывает разнообразной формы: куски, пластины, плитки и др. В таком виде он также может быть использован в качестве ПВВ. Имеет строго определенную физическую структуру в форме гранул или чешуек, которые облегчают его дальнейшую переработку, позволяют затаривать готовый продукт в мягкую тару.

С учетом этого созданы две технологические схемы, позволяющие производить конверсионное ПВВ — *тротил-У* в двух модификациях:

- в виде гранул, методом грануляции;
- в виде чешуек, методом чешуирования.

Существует несколько способов гранулирования тротила. Наиболее перспективный — способ капельного гранулирования (иногда его называют сухим гранулированием). В основу положено свойство тротила превращаться в мелкую гранулу при падении на холодную металлическую поверхность. Технологическая схема производства тротила приведена на рисунке 4.1.

Расплав тротила с фазы выплавки боеприпасов с помощью специального диафрагменного насоса подается в смеситель – кондиционер 9, предназначенный для поддержания в расплаве постоянной температуры (приблизительно 85°C). Загрузка осуществляется через верхний патрубок, расположенный ближе к верхнему фланцу корпуса.

Смеситель 9 представляет собой цилиндрический корпус, имеющий обогреваемую рубашку, с коническим днищем и крышкой. Внутри корпуса расположена мешалка для перемешивания расплава. По мере загрузки и перемешивания жидкий расплав достигает патрубка выгрузки и через него подается в фильтр-стабилизатор 8, где, поднимаясь вверх, проходит сначала через сетку фильтра тонкой очистки и далее в зону стабилизации. Уровень очищенного расплава по-

стоянный. Через верхний штуцер и сливной патрубок расплав поступает через фильтр-стабилизатор 8 в три диспергатора 7, где подвергается воздействию колебаний, создаваемых специальными динамическими головками излучателя колебаний. В стабилизаторе уровня происходит разрыв струи падающего расплава. Уровень расплава — 120 мм, что обеспечивает требуемое гидростатическое давление во всех трех диспергаторах.

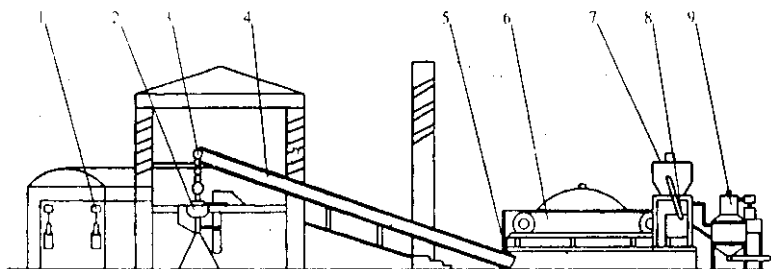


Рис. 4.1

Схема производства тротила капельным методом:

1 — подвесной конвейер; 2 — автоматические весы; 3 — дозатор; 4 — транспортер;
5 — тачка; 6 — ленточный транспортер; 7 — диспергатор; 8 — фильтр-стабилизатор;
9 — смеситель-кондиционер.

Через отверстия, расположенные в четыре ряда фильерных решеток, непрерывная струя, подвергаясь воздействию колебаний от излучателя, разбивается на отдельные капли. Под фильерами расположены три стальные ленты ленточного транспортера 6 шириной 410 мм каждая для подачи капель расплава в зону холодильника, где они кристаллизуются в гранулы и охлаждаются, отдавая тепло стальным лентам. Стальные ленты ленточного транспортера (кристаллизатора) движутся со скоростью 2,64 м/с. Шаг перемещения ленты под очередную серию капель 28 мм. Охлажденные гранулы направляют в зону разгрузки, где снимают с ленты резиновыми упорами и соскальзывают с нее на специальную тачку 5 и далее на сборный транспортер 4 с резиновой лентой. Гранулы поступают в дозатор 3, а с него — на автоматические весы 2. Взвешенная доза гранул высыпается в мешок, который подхватывается подвесным конвейером 1 и подается на склад. Основной аппарат этой установки — ленточный кристаллиза-

тор — работает с производительностью 450 кг/ч при расходе мощности 3 кВт и температуре охлаждающей воды 4–18°C.

Для чешуирования *тротила-У* используется типовое оборудование, применяемое в технологии получения штатного тротила. Автомат чешуирования состоит из медленно вращающегося барабана, внутри которого циркулирует охлаждающая вода, срезающего ножа и приемного бункера. В нижней части автомата находится ванна, в которую подается расплав тротила с температурой 85°C. Нанесение жидкого тротила на барабан осуществляется за счет его окунания. Образующаяся пленка кристаллизуется на поверхности барабана в результате охлаждения, а получаемые чешуйки срезаются ножом и поступают в приемный бункер.

Граммониты

Граммониты относятся к числу ПВВ, изготовление которых было налажено с использованием штатного тротила. *Граммонит 79/21-Б* состоит из 79% гранулированной аммиачной селитры и 21% свежеприготовленного чешуированного тротила. Это гранулированный, хорошо сыпучий и однородный продукт, выпускаемый в бумажных мешках, по своему рецептурному составу и энергетическим характеристикам близок к аммониту 6ЖВ.

Выпускается и другой сорт — *Граммонит 79/21-В*. Это сыпучая механическая смесь гранулированной селитры с чешуированным тротилом в стехиометрическом соотношении.

Оба состава предназначаются в основном для применения на открытых работах. Накопленный опыт производства данных ПВВ позволил разработать составы конверсионных граммонитов (30/70 и 40/60) с использованием тротила, извлекаемого при расснаряжении различного типа боеприпасов. Их изготовление почти полностью основано на технологии, применявшейся для составов 79/21 марок Б и В. Эта технология оказалась «двойной технологией», по которой можно получить граммониты как на основе свежеприготовленного тротила, так и из тротила, извлекаемого при расснаряжении боеприпасов.

Граммониты приготавливают на основе утилизированного тротила и аммиачной селитры. В зависимости от процентного содержания в составе граммонита селитры существуют 2 вида: граммонит 30/70 и граммонит 40/60. Готовят их методом сухой грануляции и выпускают в виде гранул размером до 8 мм.

Граммониты предназначены для взрывных работ на земной поверхности с ручным и механизированным заряджением сухих и обводненных скважин в средах с $\text{pH} = 3,8$. Температурный предел применения от $+50$ до -60°C .

Технологический процесс приготовления граммонитов начинается с распаковывания тары, в которой аммиачная селитра и извлекаемый из устаревших боеприпасов тротил поступают в мастерскую. Аммиачную селитру марки ЖВК высыпают из мешков дозами по 10 кг. Скомкованную селитру разбивают деревянными молотками. Противни устанавливают в сушильный шкаф, где селитру выдерживают при температуре $85-90^{\circ}\text{C}$. Сушилка обогревается паром при давлении не более 0,3 МПа.

После сушки обогрев отключают и селитре дают возможность остыть, после чего ее извлекают из шкафа и направляют на фазу измельчения. Данную операцию выполняют в шаровой мельнице, норма загрузки которой составляет 35 кг. Измельчение проводят в течение 1,2–2 часов с последующим просеиванием через сетку № 1.

Утилизируемый тротил расплавляют в котле Михайлова, где его вымешивают до температуры $85-90^{\circ}\text{C}$, после чего сливают в противни через фильтры. Застывший тротил извлекают и раскалывают на куски размером около 30 мм. Подготовленные компоненты переводят в мастерскую смешения и подают к установке смешения С-500. Компоненты загружают в смеситель в количествах, соответствующих их процентному содержанию в смесях 30/70 или 40/60. Сюда же подают 1–2% индустриального масла или графита.

Допускается готовить расплав граммонита в котле Михайлова. В котел загружают аммиачную селитру, затем индустриальное масло. Все тщательно перемешивают при обогреве котла паром. При достижении селитрой температуры 60°C перемешивание продолжается в течение 5 минут. Затем в котел загружают навеску утилизированного тротила порциями при тщательном перемешивании. Температура расплава $85-90^{\circ}\text{C}$. После приготовления расплава смеситель останавливают в положении разгрузки. Открывают затвор смесителя, и расплав по наливному продуктопроводу перетекает в кондиционер, который предназначен для накопления расплава, поддержания его температуры и предотвращения осаждения неплавкой части расплава. Мощность привода кондиционера составляет 3 кВт при норме загрузки не более 500 кг.

После включения диафрагменного насоса расплав из кондиционера по продуктопроводу перекачивают на установку гранулирования. Данная установка предназначена для гранулирования плавких взрывчатых композиций методом диспергирования расплава на отдельные капли с последующей их кристаллизацией на охлаждающей поверхности кристаллизатора.

Из установки гранулирования готовый продукт перегружают в полиэтиленовые мешки массой по 10–15 кг.

Гекфол

Гекфол готовят на основе извлекаемого при расснаряжении боеприпасов флегматизированного гексогена, который выпускают двух марок: *гекфол-1* и *гекфол-2*. Для изготовления *гекфола-1* используют брикеты из состава А-IX-1, превращаемые в крошкообразную массу с величиной кусков до 60 мм, а *гекфол-2* — состава А-IX-2. Заряды из боеприпасов извлекают методом их выталкивания с помощью пресса, затем их дробят и просеивают через сито с отверстиями диаметром до 60 мм. Такая переработка не нарушает химического состава гексогена. *Гекфол* рекомендуется для ведения взрывных работ при отбойке горных пород с коэффициентом до 20 по шкале Протождяконова.

Гекфол является токсичным веществом и при его изготовлении по степени вредности он относится ко 2-му классу опасности. Поэтому при работе с ним надо применять индивидуальные средства защиты и спецодежду из неэлектризующей ткани. Необходимо, чтобы засыпка гекфола в скважину проводилась только через заземленную воронку, изготовленную из материала, не дающего искры.

Альгетолы

Альгетолы — это одни из наиболее мощных конверсионных ПВВ.

Представляют собой гранулированные водостойкие ПВВ, изготавливаемые из полученных после расснаряжения и подлежащих утилизации взрывчатых составов типа ТГА-16, ТГАГ-5, ТГАФ-5м, МС, и содержат тротил, гексоген и алюминий. В рецептуру входит также флегматизатор. Выпускают 3 вида альгетолов — альгетолы 15, 25 и 35, которые отличаются друг от друга содержанием гексогена (15, 25, 35% соответственно).

Способ изготовления — сухая грануляция. Гранулы имеют форму в виде полусферы диаметром до 8 мм и полидисперсную структуру. Альгетолы изготавливают также из сухих или увлажненных сме-

сей, содержащих гексоген: А-IX-1, А-IX-2, А-IX-20. Предназначены для взрывных работ на земной поверхности и в среде любой степени обводненности, а также в слабощелочных и кислых средах в температурном диапазоне от +50 до -60°C. Водостойкость данных составов практически не ограничена. Учитывая их высокую чувствительность, зарядание скважин может производиться только ручным методом.

Альгетолы готовят практически по той же технологии, что и граммониты. Исходный продукт в виде указанных ранее утилизируемых составов расплавляется в смесителе С-500 с добавлением при необходимости тротила с таким расчетом, чтобы содержание гексогена в смеси соответствовало 15, 25 или 35%. Затем готовый расплав с требуемым соотношением компонентов капельным методом диспергируется на установке грануляции. Гранулированный альгетол упаковывают в бумажные битумированные мешки с соответствующей маркировкой.

Алюмотолы представляют собой смесь расплавленного тротила с алюминиевым порошком. Изготавливают из утилизированного состава ТА-72/28 в виде сферических и полусферических гранул размером до 8 мм. Содержит 85% тротила и 15% алюминиевого порошка. Промышленное производство алюмотолов осуществляется по известной технологии водной грануляции.

Эмульсен-II

Эмульсен-II — новое пластичное ПВВ, представляет собой обратную эмульсию водного раствора аммиачной и натриевой селитры в нефтепродукте.

Эмульсия сенсibilизирована пироксилиновым порошком, извлекаемым из расснаряжаемых артиллерийских выстрелов. Выпускают четыре марки *эмульсена*, отличающиеся различным содержанием в них массовой доли пироксилинового пороха (табл. 4.3).

Состав эмульсии во всех марках эмульсена постоянен и включает в себя следующие компоненты: аммиачная селитра (без диспергатора НФ) — 69%, натриевая селитра — 10%, масло промышленное марки И-40А — 5%, эмульгатор марки 5691 — 2%, вода — 14%.

В качестве эмульгатора используется эфир жирных кислот таллового масла, или полиглицерина, или «Lubrizol» марки 5691 (США).

Таблица 4.3

Содержание пироксилинового пороха в эмульсене-П

Марка эмульсена	А	Б	В	Г
Марка пороха	ПП 4/7	ПП 9/7	ПП 9/7 БП	80% ПП 9/7 +20% ПП 4/7
Содержание пороха	35 + 5	40 + 5	50 + 5	50 + 5

Эмульсен-П — пожаро- и взрывоопасное вещество, однако имеет низкую чувствительность к механическим воздействиям и является безопасным в обращении. Применяется для производства взрывов в горнодобывающих разработках, строительстве и сейсморазведке. Его можно использовать в сухих и обводненных скважинах. Температурный предел применения ограничен от -15 до $+50^{\circ}\text{C}$.

Эмульсен-П применяют только в патронированном виде. Готовые заряды представляют собой полиэтиленовый рукав диаметром 45, 60, 90 или 120 мм, заполненный *эмульсеном-П* любой марки. Полиэтиленовый рукав, используемый для оболочек, изготавливают из полиэтиленовой пленки шириной от 170 до 400 мм в зависимости от диаметра заряда. Торцы полиэтиленового рукава, заполненного ВВ, заделывают скрепками из алюминиевой проволоки диаметром 2,5 мм. На поверхность оболочки заряда наносят маркировку и нумерацию зарядов. Гарантийный срок хранения устанавливается заводом-изготовителем отдельно для каждой марки эмульсена, но не менее одного года. В случае необходимости *эмульсен* уничтожают только взрыванием.

Технологический процесс включает в себя две основные фазы: подготовка эмульсии водного раствора аммиачной и натриевой селитры в нефтепродукте (1-я фаза) и ее сенсibilизация зерненным пироксилиновым порошком (2-я фаза). Поэтапно данный процесс реализуют по схеме, изображенной на рисунке 4.2.

Аммиачную и натриевую селитры в мешках подвозят к месту переработки. Мешки снимают, устанавливают на транспортную тележку и подают в здание переработки. Аппаратчик высыпает продукт на лоток, по которому он через загрузочный люк ссыпается в аппарат растворения. При растаривании осуществляет визуальный контроль аммиачной и натриевой селитры на случай отсутствия загрязнений,

посторонних предметов и слежавшихся комков. При обнаружении посторонних предметов их извлекают, а слежавшиеся комки разбивают деревянным молотком. Загрязненные продукты в производстве не используют.

Приготовление раствора аммиачной и натриевой селитры осуществляется в мешалке лопастного типа. В аппарат при включенной мешалке поочередно подают: воду (доза — 910 л); селитру натриевую по загрузочному лотку со стола растаривания (доза — 645 кг); аммиачную селитру по загрузочному лотку со стола растаривания (доза — 4450 кг). Время растворения окислителей около 1 часа.

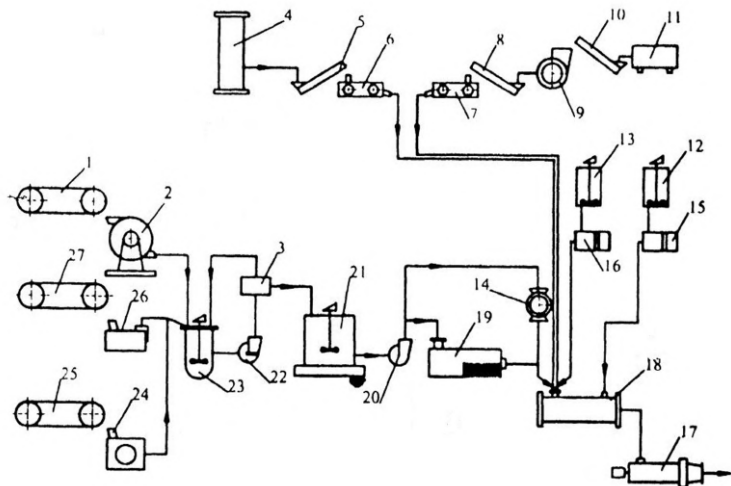


Рис. 4.2

Схема производства эмульсенов:

1, 25, 27 — загрузочные транспортеры; 2 — автомат резки пороховых трубок; 3 — фильтр; 4 — рыхлитель селитры; 5, 8 — винтовые конвейеры; 6, 7 — дозаторы; 9 — дисмембратор; 10 — ленточный транспортер; 11 — вакуумная сушилка; 12, 13 — реакторы-растворители; 14 — центрифуга; 15, 16 — дозаторы; 17 — формующий пресс; 18 — смеситель; 19 — аппарат Данилова; 20 — насос; 21 — смеситель общих партий; 22 — насос-смеситель РПС; 23 — расходная емкость; 24 — модуль измельчения ракетных порохов; 26 — мельница ДЖ

Температура раствора $80 \pm 5^\circ\text{C}$ контролируется встроенным в аппарат термометром сопротивления. Плотность раствора при данной температуре составляет $1420\text{--}1450 \text{ кг/м}^3$. Плотность раствора после приготовления контролируется денсиметром. Проба раствора для оп-

ределения плотности отбирается пробоотборником из цветного металла через загрузочный люк аппарата.

Раствор окислителей для изготовления эмульсии используют только после отстоя в течение не менее чем 12 часов. Индустриальное масло и эмульгатор в бочках доставляют в помещение для подготовки масла и эмульгатора. В холодное время года бочки с компонентами выдерживают в помещении не менее суток. После снятия пробки в бочку вставляют погружной насос и компонент перекачивается в мерник. Отмеренная доза компонентов сливается в смеситель. Для очистки компонентов на заборной трубе погружного насоса установлен фильтр из металлической сетки. Смесь индустриального масла с эмульгатором (масляной фазы) приготавливают в смесителе, который представляет собой вертикальную емкость с рубашкой для обогрева горячей водой ($T = 80\text{--}90^{\circ}\text{C}$) и мешалкой турбинного типа. Рабочий объем аппарата $0,8\text{ м}^3$. Время перемешивания смеси около 30 минут. Температура смеси $62 \pm 3^{\circ}\text{C}$ контролируется встроенным термометром сопротивления. Дозирование смеси масла с эмульгатором в эмульсификатор осуществляется винтовым насосом-дозатором. Приготовление эмульсии проводят в непрерывном режиме в эмульсификаторе, представляющем собой горизонтальный аппарат с ротором. Эмульсификатор снабжен рубашкой, в которую подается горячая вода ($T = 85\text{--}90^{\circ}\text{C}$).

Дозирование раствора окислителей в эмульсификатор осуществляется винтовым насосом-дозатором. Предварительно насос настраивают на заданную производительность, определяемую производительностью эмульсификатора. После настройки производится непрерывная дозированная подача раствора через фильтр в эмульсификатор. Аппаратчик контролирует расход раствора по расходомеру, а также осуществляет контроль давления, развиваемого насосом-дозатором, по манометру, установленному на массопроводе. Давление в процессе дозирования должно быть стабильным, значение его определяется при отработке.

Перед загрузкой компонентов эмульсификатор прогревается подаваемой в рубашку горячей водой в течение 30–40 мин. Компоненты в аппарат загружают насосами-дозаторами. Выгрузка готовой эмульсии осуществляется методом вытеснения ее поступающими компонентами. Процесс эмульгирования протекает непрерывно, и эмульсия поступает в накопитель.

Пироксилиновый порошок в металлических банках, упакованных в деревянную тару, подвозят со склада к производственному зданию автотранспортом. После снятия крышки по рольгангу перемещают к столу контроля, высыпают порошок на стол и проводят визуальный осмотр пороха по внешнему виду. В случае обнаружения посторонних включений последние извлекают из продукта.

Со стола контроля аппаратчик ссыпает порошок по загрузочному лотку в бункер вибропитателя. В бункер загружается 400 кг пороха (5–6 банок в зависимости от массы пороха в банке). Сенсибилизация эмульсии порошком и одновременно изготовление эмульсионно-пороховых зарядов осуществляются на автомате АНЗ-90. Перед началом работы на автомат устанавливают рулоны полиэтиленовой пленки, катушки с проволокой. Проверяют работу всех механизмов и узлов автомата и схемы управления в наладочном режиме. Задают и контролируют в процессе работы параметры сварки полиэтиленового рукава:

- температуру воздуха в корпусе нагревателя — 240°C (температура воздуха на выходе из сварочной головки при этом составит 140–145°C);

- давление воздуха сварки — 0,075 МПа;

- скорость протяжки рукава — 66–86 мм/с.

Значение этих показателей уточняют по результатам предварительной отработки. При наличии продукта в питателе автомат работает в автоматическом режиме. Эмульсия и порошок непрерывно поступают в питатель автомата. Дозирование и транспортирование эмульсии из накопителя в питатель автомата АНЗ-90 осуществляют винтовым насосом-дозатором по массопроводу, охлаждаемому через рубашку холодной водой. В процессе дозирования (транспортирования) эмульсии аппаратчик контролирует давление, развиваемое насосом, по манометру на массопроводе. Давление в процессе дозирования должно быть постоянным в пределах допуска, значение его определяется при отработке. В процессе дозирования контролируется также температура с помощью термометра сопротивления, установленного на выходе из насоса-дозатора. Температура эмульсии не должна превышать 90°C.

Настройка производительности насоса-дозатора проводится путем отбора проб эмульсии через сопло, подающее эмульсию в бункер-накопитель автомата АНЗ-90. Дозирование пороха в питатель автомата АНЗ-90 осуществляется вибропитателем. Порошок поступает на

вибrolоток из бункера через выгрузочный люк и непрерывно подается в питатель автомата АНЗ-90. Предварительно осуществляют контроль производительности вибропитателя отбором проб пороха в переносную емкость или мешок за 15 или 30 секунд с последующим их взвешиванием на платформенных весах. По полученным результатам рассчитывают производительность вибропитателя. При необходимости проводят дополнительную настройку производительности регулированием высоты слоя продукта на лотке за счет изменения высоты выгрузочной щели. В питателе происходит перемешивание компонентов с помощью мешалки. Образующий продукт — эмульсен-П подается шнеком по питающей трубке в полиэтиленовый рукав, формируемый и свариваемый на автомате. Наполненный продуктом рукав механизмом наложения скрепок обжимается с двух торцов алюминиевой проволокой. Образующиеся эмульсионно-пороховые заряды разрезают на автомате ножом и далее по направляющему лотку они поступают на ленточный конвейер, который транспортирует их на операцию нумерации.

Нумерация и упаковывание зарядов осуществляются устройством нумерации. Для этого используется флексографическая краска ФУШЛ-251. Готовые заряды упаковывают в гофрокартонные ящики. На место упаковки ящики поступают в сложенном виде. На рольганге упаковщик собирает ящик и укладывает в него пронумерованные патроны. Упакованные ящики по рольгангу попадают на ленточный конвейер и далее поступают в железнодорожный вагон.

Гранипоры

Гранипоры — новый класс ПВВ, основанный на использовании получаемых при расснаряжении пироксилиновых и баллиститных порохов различных типов и рецептур. Изготавливается в основном на пороховых заводах. В зависимости от типа, размеров и рецептур порохов разработано несколько их видов, позволяющих использовать почти все утилизируемые пироксилиновые или баллиститные пороха, что делает их весьма удобными для переработки, так как они не требуют создания специального оборудования для каждой рецептуры и типа. Разработано несколько типа *гранипор*: ППФ, БП-1, БП-3, БПС-1, БПС-2, БС-1, БС-2, БСФ. Гранипоры используют только для открытых работ и их разрешено применять в различных климатических условиях в интервале температур $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Заряжание скважин только ручное. Расфасовывают их на заводах в мешках массой 25 и 40 кг. Гранипоры ППФ

изготавливают на основе зернового пироксилинового пороха, получаемого при расснаряджении различного калибра снарядов.

Процесс производства осуществляется на заводах путем «омасливания» зерен пороха различного размера и формы индустриальным маслом марок И-40А или И-50А. Вместо масла может применяться дизельное топливо марки А.

В качестве примера приведем состав *гранипора* ППФ: порох пироксилиновый — 100%, масло — 1,5% сверх 100%.

Срок хранения его 12 месяцев со дня изготовления, что соответствует классу непатрулируемых ПВВ, поставляется в мешках. Гранипор ППФ имеет тротильный эквивалент 0,8–0,87 и относится к ПВВ 1-го класса. Он предназначен для проведения взрывных работ на земной поверхности для отбойки сухих и обводненных пород, которые имеют крепость до 15 (по шкале Протодяконова). Устойчиво детонирует только в скважинах, диаметр которых не менее 150 мм. Следует обратить внимание, что *гранипор* токсичен, и поэтому при работе с ним необходимо применять индивидуальные средства защиты.

Гранипоры БП-1 и БП-3 отличаются от гранипор типа ППФ тем, что в их состав входят резанные трубки утилизированных баллиститных порохов как артиллерийских, так и ракетных. Причем последние используют в виде «крошки».

При изготовлении *гранипора* БП-1 используют артиллерийские баллиститные пороха рецептур НДТ или ДГ, а для БП-3 — крошку из ракетных баллиститных порохов рецептур типа НМФ, РСИ, РБФ, РСТИ других. *Гранипоры* этого типа представляют собой цилиндрические гранулы размером до 20 мм, их изготавливают на пороховых заводах. *Гранипоры* БП-1 и БП-3 предназначены для отбойки сухих и обводненных горных пород с коэффициентом крепости до 20 (по шкале Протодяконова) и могут применяться в интервале температур $\pm 50^{\circ}\text{C}$.

Гранипоры типа БПС-1, БПС-2, БС-1, БС-2, БМ представляют собой «омасленную» смесь *гранипор* типа БП-1 или БП-3 с аммиачной селитрой. Преимущество гранипор указанного типа заключается в том, что они хотя и имеют меньший тротильный эквивалент (0,8), но их кислородный баланс в два раза выше, чем у исходных гранипор, что обеспечивает выделение при взрыве меньшего количества токсичной окиси углерода.

Исходным сырьем в технологическом процессе изготовления *гранипоров* являются извлеченные при расснаряджении боеприпасов

и устаревшие артиллерийские пироксилиновые и баллиститные пороха, баллиститные ракетные пороха, превращенные в гранулы размером 5–20 мм и масло индустриальное или приборное. *Гранипоры* представляют собой смесь этих гранул с маслом, которая вводится в состав ВВ для снижения их чувствительности к механическим воздействиям, электризации, а также исключения слеживаемости и смерзаемости.

В общем виде технологический процесс изготовления гранипоров состоит из следующих фаз:

- подготовка (измельчение) устаревших пироксилиновых и баллиститных порохов;
- добавление масла в зерненный пироксилиновый порошок (омасливание);
- резка;
- гранулирование;
- дозирование;
- смешение с аммиачной селитрой;
- упаковка *гранипоров* в мешки.

Действующее производство гранипоров позволяет изготавливать 6,0 т ПВВ в смену. В зависимости от марок гранипоров технологический процесс изготовления корректируют.

Трубчатые артиллерийские баллиститные пороха из коробов вручную выгружают на конвейер загрузки 1 (рис. 4.3), предназначенный для предварительного подогрева, транспортирования и загрузки их в бункер агрегата резки 2. Конвейер-загрузчик 1 представляет собой ленточный скребковый транспортер, помещенный в металлическую ванну емкостью 150 дм³, размерами 2800×1000×1270 мм, наполненную горячей водой. Рабочая ширина ленты 540 мм. На ней расположены 36 скребков высотой 50 мм на расстоянии 160 мм друг от друга, между которыми размещают пороховые трубки. Скорость движения ленты 1,1 м/мин, что обеспечивает нагрев пороховых трубок до температуры 80°С. Мощность электродвигателя составляет 0,55 кВт. В аппарате резки 2 трубки заполняют пазы загрузочного вала, что обеспечивает равномерную загрузку барабана. Барабан обогревается горячей водой и по мере его вращения продолжает разогрев трубок до температуры 80–90°С. Резку трубок производят дисковыми ножами, которые устанавливают на валу параллельно оси барабана. Расстояние между ножами можно регулировать и устанавливать в зависимости от

размера гранул 10 или 20 мм. Отрезанные гранулы защемяются между дисками и считаются с последними элементами барабана при его вращении. Полученные гранулы шнек-транспортером 3 подают в винтовой (шнековый) питатель 4. На шнек-транспортере гранулы обдувают теплым воздухом, удаляя влагу. Гранулы баллиститного и пироксилинового порохов дозируют в гравитационный смеситель 15, в котором они смешиваются, а для других типов гранипоров к этой смеси добавляют аммиачную селитру. Конструктивно гравитационный смеситель выполнен в виде короба прямоугольного сечения, внутри которого имеются наклонные лопасти. Потoki гранул, попадая в верхнюю часть смесителя, под действием собственного веса пересыпаются с лопасти на лопасть и перемешиваются.

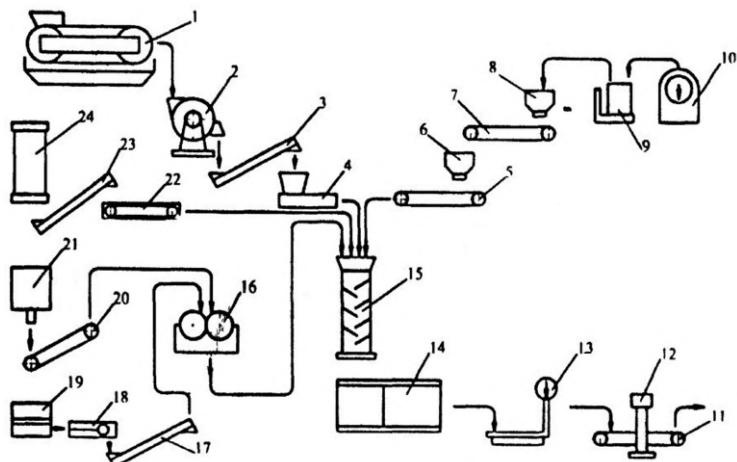


Рис. 4.3

Схема производства гранипоров:

(конвейер-загрузчик, 2 — автомат резки трубок, 3, 17, 23 — шнековые транспортеры; 4 — питатель; 5, 7 — ленточные конвейеры; 6 — бункер-накопитель; 8 — загрузочный бункер; 9 — кантователь-опрокидыватель; 10 — маслоразделительная колонка, 11, 20 — ленточный транспортер; 12 — мешкозашивочная машина; 13 — весы; 14 — устройство для затаривания; 15 — гравитационный смеситель; 16 — вальцы, 18 — строгальный станок; 19 — ванна разогрева; 21 — пневмонож; 22 — дозатор ДН, 24 — рыхлитель аммиачной селитры).

Металлические короба с зерненным пироксилиновым порошком открывают и в них заливают с помощью специальной маслораздаточной колонки 10 требуемое количество индустриального масла. Затем

специальным кантователем 9 короба опрокидывают и масса пересыпается в загрузочный бункер 8, а из него транспортируется двумя ленточными скребковыми транспортерами 5 и 7, между которыми установлен бункер-накопитель. В результате порох попадает в устройство для затаривания в мешки 1, которые взвешивают на весах 13. Далее их перемещают ленточным транспортером 11 и зашивают на специальной мешкозашивочной машине 12.

Изготовление *гранипоров* БП-3, БМ осуществляется следующим образом. Технологический процесс начинается с разогрева в ванне 19 пороховых шашек, изготовленных из баллиститного пороха. После разогрева шашки диаметром до 150 мм режут пневмоножом 21 на куски или измельчают на строгальном станке 18 и далее они поступают на фазу вальцевания — таблетирования, которую проводят на вальцах 16 завода «Большевик». Такие вальцы имеются на всех пороховых заводах, изготавливающих баллиститные пороха по шнековой технологии. Шашки диаметром от 200 до 400 мм сначала разрезают пневмоножом 21 на диски, которые затем измельчают на строгательном станке 18, и масса поступает на вальцы 16. Полученная после вальцевания таблетка шнек-транспортером подается в смеситель для смешивания с зерненым пироксилиновым порохом. После смешения готовые *гранипоры* поступают на расфасовку и упаковку.

При изготовлении *гранипора* БМ в гранулы баллиститного пороха, полученные после вальцевания, вводят индустриальное масло, и далее продукт поступает на упаковку.

Гранипоры БПС получают смешением в гравитационном смесителе 15 *гранипоров* БП-1 или БП-3 с аммиачной селитрой в соотношении 70:30; *гранипоры* БС-смешением 70% баллиститного пороха рецептур РСТ, ВИК, РАМ, ФСГ, РСИ или артиллерийского пороха с 30% селитры. Подготовленную селитру разрыхляют в специальном аппарате 24. После этого она шнековым транспортером подается в дозатор 22, а из него в гравитационный смеситель 15. Сразу после смешения *гранипоры* расфасовывают. Тарой служат мешки, изготовленные из битумированной многослойной бумаги. Их устанавливают на поворотном устройстве, где одновременно под углом 30° находятся 4 мешка, их заполняют, взвешивают и зашивают. Затем они поступают в помещение, где из них комплектуется партия, вес которой может колебаться от 5 до 60 тонн, и наносится маркировка.

Производство *гранипор* типа БС и БПС, в состав которых входит селитра, можно проводить по упрощенной схеме, приведенной на рисунке 4.4. Измельченный порошок ленточным питателем 1 подают на валцы 4, туда же одновременно из емкости 3 насосом 2 поступает раствор аммиачной селитры. Образующееся на валцах пороховое полотно, проходя через отверстия колец, установленных на торцах валка, ножом 5 нарезают на гранулы, которые шнек-транспортером 6 подают через весовой дозатор и загружают в тару.

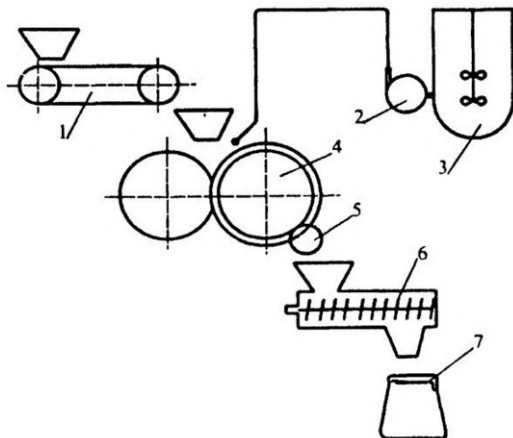


Рис. 4.4

Схема производства гранипоров типа БС и БПС на основе селитры:

1 — ленточный питатель; 2 — насос; 3 — емкость для раствора аммиачной селитры; 4 — валцы; 5 — нож; 6 — шнек-транспортер; 7 — приемный контейнер).

При создании производства конверсионных ПВВ большое внимание уделяется обеспечению его экологической чистоты. Так, в производстве *гранипоров* введен замкнутый цикл используемой воды. Отработанная вода из аппаратов стекает в рукавный фильтр, где освобождается от попавших в нее частиц пороха, а из него самотеком поступает в бак оборотной воды, из которого маслоснасосом снова подается на производство (в агрегат резки, строгальный станок, ванну разогрева и другое оборудование). По мере накопления излишек воды подают в бак-нейтрализатор, где ее нейтрализуют содовым раствором при температуре 90°C и после охлаждения сбрасывают в канализацию.

Гельпоры

Гельпоры — водосодержащие, экологически чистые, безопасные и водостойкие ПВВ, изготавливаемые на основе утилизации порохов и смесевых твердых топлив, пастообразной консистенции. Их производят на основе загущенных и структурированных сшивающими добавками растворов аммиачной селитры и сенсибилизатора (измельченные пороха, извлекаемые при расснарядении снарядов).

В состав *гельпор* входит: порох — 20–40%; аммиачная селитра — 45–60%; загуститель — 0,5–2,5%; вода — 10–20%; структурирующая добавка (1 сверх 100%) — 0,01–0,1%.

Для изготовления *гельпор* применяются пороха, обладающие теплотой взрыва от 3300 до 6000 кДж/кг и кислородным балансом от –17 до –45. *Гельпоры* обладают широким диапазоном детонационных, энергетических и экологических характеристик. Путем изменения степени измельчения порохов, использования порохов различных рецептур, процента ввода водонаполнителя, структурирующих добавок загустителя можно в большом диапазоне изменять реологические свойства *гельпоров*, получая их или текучести смесями, или пастообразной массой. По внешнему виду – это густая желеобразная масса с включением твердых частей пороха. Выпускаются они заводами в патронах диаметром 90 или 120 мм. Применяются на открытых горнодобывающих и сейсморазведочных работах в сухих, обводненных и заполненных буровым раствором скважинах при температуре от –15 до +50°C.

В России в 1995 г. выпуск *гельпор* составил 100 тыс. тонн. Аналогичного типа ПВВ под названием «Сларри» выпускается в США и других странах. Объясняется это тем, что водонаполнение делает эти ПВВ более безопасными как при производстве, так и при использовании, придавая им неспособность к горению даже при высоком значении чувствительности к трению. Это качество позволило механизировать их зарядку в скважины, применяя автоматизированную заливку. У нас в стране для этого используют установки, смонтированные на шасси автомашин типов МЗ-4В или МЗ-3Б-В.

Гельпоры выпускают трех типов — *гельпоры* 1, 2, 3 — отличающихся содержанием пороха и аммиачной селитры. Кислородный баланс в них колеблется от – 15 до +2.

В свою очередь, каждый тип *гельпора* подразделяется на марки, часть которых приведена в таблице 4.4. Для примера в таблицах 4.4 и

4.5 приведены компонентный состав и свойства промышленных ВВ на основе геляпора-2 (ГП-2): ГП-2У и ГП-2Д (главной особенностью данных марок геляпора является повышенная до двух раз бризантность по отношению к стандартным ВВ (тротил, аммонит 6ЖВ)).

Производство всех марок *геляпор* осуществляют по технологической схеме, состоящей из целого ряда самостоятельных разнопрофильных операций, наибольшее число которых выпадает на подготовку исходных компонентов: порохов, селитры, загустителей. Для проведения многих операций применено оборудование, уже имеющееся на пороховых заводах и используемое для производства порохов.

Таблица 4.4

Компонентный состав геляпора

Основные компоненты	Содержание компонентов, %	
	ГП-2У	ГП-2Д
Порох пироксилиновый	35	48
Аммиачная селитра	46	34
Натрий азотнокислый	5,5	5,0
Карбамид	3,5	3,0
Вода	10	10
Гелеобразующая добавка — полиакриламид, сверх 100%	0,5	0,5
Структурирующий элемент, сверх 100%	0,15	0,15

Таблица 4.5

Основные характеристики геляпоров

Наименование характеристик	Марки геляпоров	
	ГП-2У	ГП-2Д
Теплота взрыва, кДж/кг	3790	—
Объем газов, л/кг	878	—
Кислородный баланс, %	−9	−9
Скорость детонации, км/с	4,9–5,0	5,6
Критический диаметр, мм	18–20	8–10
Бризантность, мм	26	30
Плотность, г/см ³	1,45	1,45

Производство *геляпоров* начинают с фазы переработки и подготовки артиллерийских зарядов трубчатой формы, изготовленных из пироксилиновых или баллиститных порохов. Оно состоит из нескольких стадий: предварительного измельчения, их тонкого измельчения и

отжима измельченного пороха от воды. В отдельных помещениях проводят подготовку аммиачной селитры, загустителей и структурообразующих добавок. Все подготовленные компоненты поступают на участок смешивания, где происходит их смешивание и патронирование (пакетирование). Рассмотрим другие фазы изготовления *гельнор*. Технологическая схема этих фаз изображена на рисунке 4.2.

Фаза подготовки трубок из баллиститных порохов

После расснаряжения трубки артиллерийских порохов, изготовленные из баллиститного или пироксилинового пороха, укладывают в короба, а шашки от ракетных зарядов сортируют по габаритам и рецептурам пороха, из которого они изготовлены. Короба и заряды размещают в здании предварительного хранения, откуда их подают на фазу измельчения. Вынутые из коробов трубки укладывают на загрузочный транспортер 1 длиной 2,9 м и шириной ленты 540 мм, которая движется со скоростью 1,1 м/мин. Во время движения по транспортеру их смачивают водой, что повышает безопасность дальнейших работ.

С конвейера трубки поступают в приемный бункер автомата резки АРТ-10, который с помощью выгрузочного вала обеспечивает заполнение его пазов. Указанный автомат резки аналогичен применяемому в производстве гранипоров. Измельчение трубки (гранулы) подают в расходную емкость 23 диаметром 1600 мм, высотой 2200 мм и объемом 5,0 м³, снабженную мешалкой с частотой вращения 750 об/мин, мощностью 11 кВт. Трубки пироксилиновых порохов вынимают из коробки и укладывают на конвейер-загрузчик 27, который подает их на измельчение в дисковую мельницу типа ДМК 26, разработанную В. В. Кузьминым. В мельницу поступает вода, которая заполняя ее, обеспечивает безопасность процесса измельчения. Крошку подают в расходную емкость 23, а оттуда на измельчение.

Фаза подготовки изделий из баллиститного пороха

Шашки укладывают в ячейки шагового транспортера 25, которым их подают в станок 24 (модуль измельчения производительностью 1000 кг/ч и мощностью двигателя 95 кВт). Далее они поступают в расходную емкость 23, а оттуда в агрегат для тонкого измельчения. Тонкое измельчение предварительно раздробленных порохов проводят роторным измельчителем в смесителе-насосе типа РПС-4 22 с массовой подачей 70 кг/ч при напоре 25 м вод. ст. и габаритами 1900×630×630 мм. Полученная крошка поступает в фильтр 3. Затем из фильтра 3 от-

дельные крупные частицы возвращаются по рециркуляционному трубопроводу на доизмельчение. Мелкую фракцию, представляющую собой суспензию тонкоизмельченного пороха, подают в смеситель общих партий 21 объемом 44 м^3 , снабженный двумя мешалками с частотой вращения по 750 об/мин. После этого массонасос заканчивает суспензию на отжим в центрифугу 14 или аппарат Данилова 19. Отжатая пороховая масса поступает в смеситель тройной смеси 18.

Подготовка аммиачной селитры состоит из механического растаривания полиэтиленовых или крафтцеллюлозных мешков массой 50 кг или мягких контейнеров массой до 1000 кг, в которых она поступает на завод. Затем ее рыхлят коническим разрыхлителем РМАС 4 производительностью 1000 кг/ч, состоящим из приемного бункера диаметром 920 мм, трехсекционного корпуса диаметром 550 мм, конуса предварительного рыхления, гребенчатых скребков, сита и разгрузочной точки. Разрыхленная селитра винтовых конвейером 5 и дозатором 6 подается в смеситель тройной смеси 18. Подготовка структурообразователя заключается в том, что отвешенную навеску продукта загружают в аппарат растворения 13, которым является цилиндрический сосуд объемом $0,2 \text{ м}^3$ с мешалкой. В него заливается необходимое для получения 10%-ного раствора количество воды и включается мешалка. Приготовленный раствор насосом через дозатор типа ДН-26-ВН 16 закачивают в смеситель тройной смеси 18. В качестве загустителя используют два компонента: КМЦ — натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы или ПАА — полиакриламид. Подготовка КМЦ сводится к операциям: растаривания бумажных мешков, сушки до влажности 4,5%. Влажность исходной КМЦ составляет 10–15%. Сушку ведут в вакуумной сушилке 11, затем ее измельчают в дисмембраторе 9, в который она поступает из сушилки по ленточному транспортеру 10. Измельченная КМЦ винтовым конвейером 8 и дозатором 7 подается в бункер смесителя тройной смеси 18. ПАА может поступать на завод или сухим сыпучим порошком, или 6%-ным высоковязким водным раствором. Для приготовления гелепоров требуется ПАА в виде 3–4%-ного водного геля. В реакторе-растворителе с мешалкой 12, в который подают сухой ПАА и воду, получают раствор требуемой концентрации. Для изготовления ПАА в виде геля он доводится до требуемой концентрации в этом же реакторе. Готовый раствор насосом-дозатором типа ДН 15 подают в смеситель тройной смеси 18.

Получают *гельпоры* в смесителе тройной смеси шнекового типа 18, куда через дозаторы поступают все подготовленные компоненты: порох, загуститель, структурообразователь, аммиачная селитра и вода. Смеситель представляет собой цилиндрический корпус, в котором вращается шнек-винт диаметром 200 мм и длиной 3600 мм. Благодаря наличию прорезей, в которых находятся все компоненты, достигается их смешение. Затрата мощности 3 кВт. Готовую смесь из смесителя подают на формующий шнек-пресс, а полученные заготовки — в агрегат для их патронирования (пакетирования).

Дибазит

Дибазит — это новое устойчивое ПВВ, изготавливаемое из извлекаемых при расснаряжении боеприпасов ракетных и артиллерийских порохов баллиститного типа после их соответствующей обработки. Выпускают его в виде гранул (крошки) или омасленных таблеток величиной до 20 мм, тротилловый эквивалент равен 0,83. По своим взрывчатым свойствам он превосходит гранипоры и приближается к гранулотолу, а по остальным — близок к гранипорам БП-1 и БП-3. Электрические характеристики *дибазита*: удельное, объемное сопротивление равно $1,7 \times 10^3$ Ом/м³, минимальная энергия зажигания 10 Дж. Характер тары влияет на сроки хранения дибазита. Так, шесть месяцев он может храниться в сдвоенных битуминированных мешках и два года в полиэтиленовых мешках-вкладышах, вложенных в сдвоенные бумажные многослойные битуминированные мешки. Для заряжения скважин *дибазитом* разрешено применение зарядной машины типа МЗ-8.

Производство дибазита высокомеханизировано и основано на использовании многих видов оборудования, имеющегося на заводах и применяемого для производства порохов баллиститного типа. Например, валки завода «Большевик», резательные станки, ванны для разогрева, дозаторы, транспортеры, станки для измельчения брака и др. Ванны для разогрева требуются для подогрева порохов в воде перед грануляцией. После грануляции гранулы дибазита подают в охладительный аппарат.

Технологический процесс получения дибазита состоит из следующих фаз:

- подготовка компонентов;
- изготовление дибазита;
- его дозировка и упаковка.

Подготовка компонентов включает в себя операции: комплектация общей партии компонентов, измельчение ракетных шашек и артиллерийских трубок из баллиститного пороха в крошку или стружку, приготовление водной суспензии окиси цинка. Для производства дибазита пороха комплектуют в одну общую партию. В нее должны входить пороха одного состава, ракетные шашки из одной марки пороха или смесь порохов различных составов и в любом соотношении. Но при этом общая партия должна обеспечивать теплоту горения изготовленного дибазита не менее 3200 кДж/кг. Смешение и измельчение порохов разных рецептур производится на вальцах завода «Большевик».

Окись цинка вводится в измельченный порошок непосредственно на вальцах в виде водной суспензии. Водная суспензия готовится в смесителе-суспенгаторе с мешалкой при частоте вращения 75 об/мин. Обычно устанавливают два смесителя. Из бумажных мешков окись цинка засыпают в смеситель, в котором готовят водную суспензию с концентрацией окиси цинка 20%. Вначале в смеситель заливают горячую воду с температурой 60–90°C, затем включают мешалку и через загрузочный люк загружают навеску окиси цинка. Измельчение порохов состоит из операций: разогрева шашек, измельчения их в стружку или крошку. Для этого на заводах используют несколько типов станков: станок для переработки брака (на каждом пороховом заводе такие станки имеются), универсальный токарно-винто-резный станок, станок для резки шашек на диски, вальцы, протирачный барабан. Пороховую крошку смешивают с окисью цинка и гранулируют полученный таким образом *дибазит*.

Измельченные партии пороха дозируют в требуемом соотношении в ванну для разогрева, имеющую ленточный транспортер, которым их затем подают на вальцы, где и готовят дибазит. На вальцы одновременно поступает и окись цинка, которая при вальцевании смешивается с порошком. Оба эти процесса — смешения и грануляцию — проводят на непрерывнодействующих вальцах завода «Большевик» типа 1500 или 1530. В отличие от вальцов, применяемых для измельчения порохов, вальцы для приготовления дибазита снабжены формующими кольцами с круглыми отверстиями диаметром 5–8 мм; выходящий в виде шнуров продукт разрезают дисковыми ножами в гранулы и по течке ссыпают на транспортер, которым подают его на фазу развески и упаковки. Роздвиг валков составляет

1,5–1,8 мм, число оборотов — 15 об/мин. Перед подачей на вальцы пороховая крошка через шнековый дозатор поступает в ванну, снабженную ленточным транспортером и наполненную горячей водой для ее разогрева. Затем ленточным транспортером нагретая крошка подается на вальцы. Для переработки нарзаных трубчатых артиллерийских порохов используют дозаторы конструкции завода им. С. М. Кирова. Дозируют суспензию окиси цинка насосом-дозатором. Расфасовку и упаковку дибазита осуществляют в специальные мешки емкостью до 40 кг. Они состоят из полиэтиленового мешка-вкладыша, который помещают в два, вложенных один в другой пятислойных бумажных битуминированных мешка. Иногда используют мешки другого типа. После вальцов дибазит поступает в охлаждающий аппарат конструкции завода им. С. М. Кирова, а затем его развешивают на весовых дозаторах типа ДМУС-5 или Д-5-М автоматически. Подсоединение мешков к загрузочной воронке выполняют пневмозахваты. После отсоединения наполненного дибазитом мешка, пневмозахваты опускают его на ленточный транспортер, а к дозатору подсоединяют следующий мешок.

Вопросы к главе 4

1. Экологический и экономический аспекты проблемы утилизации энергонасыщенных материалов.
2. Общая классификация промышленных взрывчатых веществ, получаемых на основе утилизируемых ЭНМ.
3. Проблемы утилизации порохов.
4. ПВВ на основе тротила и его смесей.
5. ПВВ, содержащие гексоген.
6. Сухие и влажные композиционные ПВВ, содежащие А-IX-1, А-IX-2.
7. ПВВ на основе утилизируемых порохов и твердых ракетных топлив (эмульсены, гелпоры, поротолы и др.).
8. Сравнительные характеристики ВВ первичного и повторного использования.
9. Технология изготовления тротила-У.
10. Производство гранипоров.
11. Технология изготовления гелпоров и дибазитов.

Список литературы к главе 4

1. Горная энциклопедия : в 5 т. / под ред. Е. А. Козловского. — М. : Сов. энцикл., 1981–1994.
2. Генералов, М. Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ. — М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. — 397 с.
3. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизованных боеприпасов / под общ. ред. Ю. Г. Щукина. — М. : Недра, 1998. — 320 с.
4. Взрывчатые вещества : в 3 т. Т. II: Основные свойства. Технология изготовления и переработки. — Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2007. — 452 с.

ГЛАВА 5

СТОЙКОСТЬ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВВ

5.1. Стойкость промышленных ВВ и методы ее определения

Стойкость или стабильность всех взрывчатых веществ и, в частности, промышленных ВВ является одним из важных свойств при их хранении. Под данным свойством понимается способность ВВ сохранять в практических условиях хранения постоянными свои первоначальные физико-химические характеристики. Важность стойкости ВВ (являющаяся комплексной характеристикой) определяется тем, что все взрывчатые вещества способны самопроизвольно разлагаться и претерпевать различные физико-химические превращения в процессе длительного хранения. Исходя из данного положения, стойкость ВВ определяет условия применения и безопасность обращения с ними после истечения определенных сроков хранения. За взрывчатыми веществами, нарушение стойкости которых приводит к самопроизвольному взрыву или повышенной опасности, устанавливают постоянный контроль.

Химическая и физическая стойкость ВВ различается и имеет свои четкие методы определения. *Химическая* стойкость — способность ВВ сохранять в процессе длительного хранения неизменными свой химический состав и, как следствие, химические свойства. Химическая стойкость определяется химическим строением, присутствием летучих компонентов и примесей, а также условиями хранения.

В настоящее время преобладающее большинство применяемых взрывчатых веществ, включая промышленные ВВ, обладает большой химической стойкостью. Если такие взрывчатые вещества не загрязнены некоторыми примесями кислотного или щелочного характера, то они могут храниться, не изменяя своих химических свойств, в течение десятилетий. Примеси, особенно кислотного характера, вызывают в ВВ дополнительные химические реакции, обычно сопровож-

дающиеся выделением тепла, которое ускоряет процесс естественного саморазложения и разогрев массы взрывчатого вещества до температуры воспламенения.

Наименьшей химической стойкостью обладают нитроэфир и взрывчатые вещества на их основе, например нитроглицериновые ВВ, сохраняющие свои свойства лишь в течение нескольких месяцев. Для повышения химической стабильности ВВ в их состав вводят стабилизаторы химической стойкости (мел, сода — в динамиты, древесную, жмыховую и торфяную муку — в аммониты, при этом последние стабилизаторы также выполняют роль горючих добавок и разрыхлителей, уменьшая слеживаемость ВВ) и удаляют примеси, например в мощных ВВ предусмотрена тщательная отмывка от примесей азотной кислоты, которые являются катализаторами процесса разложения.

Высокой химической стойкостью отличаются нитросоединения и, в частности, тротил. Достаточной химической стойкостью в нормальных условиях хранения обладают все применяемые инициирующие взрывчатые вещества.

В основе процесса медленного термического распада многих ВВ лежит, как правило, реакция мономолекулярного распада, протекающая в соответствии с уравнением Аррениуса, которое устанавливает зависимость константы скорости химической реакции k от температуры T в следующем виде:

$$k = Ae^{-E/RT},$$

где A — предэкспонента (константа уравнения Аррениуса); E — энергия активации реакции распада; R — универсальная газовая постоянная.

Особенностью механизма распада взрывчатых веществ по сравнению с обычными химическими реакциями разложения является необычайно высокое значение как предэкспоненты, так и энергии активации. Как следует из уравнения Аррениуса, при невысоких температурах химически чистые взрывчатые вещества имеют достаточно высокую химическую стойкость. Так, если принять для константы скорости первичной мономолекулярной реакции распада, например нитроглицерина, значения $A = 10^{-18,64}$ и $E = 183540$ Дж/моль, то период полураспада рассчитанный по формуле $Y_{1/2} = \ln 2/k$, в зависимости от температуры можно представить в виде таблицы 5.1.

Таблица 5.1

Период полураспада ВВ в зависимости от температуры

$T, ^\circ\text{C}$	0	20	40	60
A	$10^{-64,34}$	$10^{-13,95}$	$10^{-10,93}$	$10^{-9,2}$
$T_{1/2}, \text{лет}$	$4,8 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^6$	1870	35

В таблице 5.2 приведены значения кинетических коэффициентов и энергии активации медленного химического разложения ряда индивидуальных взрывчатых веществ.

Таблица 5.2

Энергии активации и константы уравнения Аррениуса индивидуальных ВВ

Взрывчатое вещество	$E, \text{кДж/моль}$	$\lg A$
Нитроглицерин	179	18
Диэтиленгликольнитрат	178	16,5
ТЭН	197	19,8
Нитрат аммония	170	13,8
Тротил	225	19,0
Гексоген	199	18,5

Методы определения химической стойкости

Существует достаточно большое количество разнообразных методов испытаний и способов определения химической стойкости взрывчатых веществ. Часть этих методов нормируется отраслевыми или государственными стандартами (например, «ВВ и ТРП. Метод определения химической стойкости по газовыделению» ОСТ В 84-744-73).

Самыми простыми, но наименее точными (субъективными) являются индикаторные методы, основанные на фиксации момента появления оксидов азота, образующихся при термическом разложении ВВ. В качестве индикатора применяется лакмусовая бумага, которая под воздействием оксидов азота синееет.

Гравиметрический метод основан на потере массы навески взрывчатого вещества, термостатируемой при определенной температуре в колбе с притертой пробкой и газоотводным капилляром. Недостатком данного метода является достаточно большая масса ВВ (несколько граммов).

Наибольшее распространение в настоящее время получил метод определения химической стойкости ВВ на установке «Вулкан» по давлению газовой выделению за 3,5 часа термостатирования при определенной для каждого вида ВВ температуре. Химическую стойкость

выражают давлением газовыделения за определенное время термостатирования, при этом давление газовыделения регистрируется автоматически.

Физическая стойкость — способность взрывчатого вещества сохранять без изменения свои первоначальные физико-механические свойства и структуру в условиях нормального хранения и применения.

Основными параметрами и свойствами, которые характеризуют физическую стойкость ВВ, являются: *гигроскопичность, слеживаемость, водоустойчивость, плотность, структурно-механические свойства.*

Гигроскопичностью называют характерную для многих веществ при определенных внешних условиях способность поглощать влагу из окружающей атмосферы.

Процесс поглощения влаги совершенно сухим веществом начинается с адсорбции водяных паров, в результате чего на поверхности и в капиллярах твердого тела образуется пленка воды. Адсорбционной способностью обладают как растворимые, так и нерастворимые в воде вещества, поэтому гигроскопичностью обладают не только растворимые соли, но и такие нерастворимые в воде вещества, как древесная мука, торф и т. п.

Слеживаемостью называют способность некоторых порошкообразных веществ терять при хранении сыпучесть и превращаться в прочную сплошную массу. Патроны слежавшегося аммонита, например, могут настолько упрочниться, что их не всегда удастся размять руками.

Явление слеживаемости наблюдается не только у порошкообразных, но и у прессованных или шнекованных зарядов.

Слежавшиеся ВВ неудобны в обращении и дают меньшую плотность заряжения, чем в сыпучем состоянии. Однако главное отрицательное влияние слеживаемости заключается в сопутствующем ему снижении, а иногда и полной потере слежавшимися зарядами взрывчатых свойств.

Водоустойчивыми принято называть такие взрывчатые вещества, заряды которых способны при непосредственном соприкосновении с водой сохранять в течение некоторого времени неизменными свои взрывчатые свойства или менять их в незначительных пределах.

Изменение взрывчатых свойств при соприкосновении с водой может происходить либо вследствие флегматизирующего действия воды, либо в результате частичного или полного растворения в воде отдельных компонентов.

Детонационная способность взрывчатых веществ и некоторые взрывчатые характеристики тесно связаны с *плотностью* взрывчатых веществ. В практике работ с ВВ различают следующие виды плотностей: 1) гравиметрическая или насыпная, определяемая как отношение массы свободно насыпанного в цилиндр ВВ к объему цилиндра; 2) плотность зарядов или патронов, обычно определяемая как отношение массы всего заряда (патрона) вместе с оболочкой к объему всего заряда (патрона); 3) плотность заряжения — отношение массы ВВ к объему зарядной камеры, отведенной под заряд ВВ.

Природа и механизм изменения физических свойств взрывчатых веществ могут быть самыми различными. Так, например, при длительном хранении в условиях высоких температур ($T > 40^{\circ}\text{C}$) слабо очищенного от примесей тротила из него выделяется оливково-желтоватая жидкость, получившая название тротилового масла (сам процесс выделения жидких или легкоплавких элементов называется *эксудацией*). Выделение тротилового масла приводит к разрыхлению (уменьшению плотности), потере зарядом монолитности и, как следствие, к снижению его взрывчатых характеристик.

Ограниченной физической стойкостью обладают аммонийно-селитренные ВВ, отличающиеся высокой гигроскопичностью и сильной увлажняемостью. Склонность к увлажнению является недостатком аммонийно-селитренных ВВ, ограничивающим их применение и затрудняющим изготовление и снаряжение изделий военного назначения.

Основной причиной усадки аммотоловых изделий является самопроизвольное слипание и укрупнение кристаллов аммиачной селитры, сопровождающееся уменьшением объема изделий. Укрупнению кристаллов способствует повышенная влажность аммотола и переход аммиачной селитры из одной модификации в другую. Аммиачная селитра, как уже говорилось в разделе 3.3, обладая свойством полиморфизма, существует в пяти кристаллических модификациях, каждая из которых стабильна в определенных температурных условиях. Переход из одной модификации в другую сопровождается изменением плотности и соответственно объема вещества. Поэтому хранение

изделий, снаряженных аммотолами, в различных климатических условиях приводит к многократным полиморфным превращениям, которые, в конечном итоге, заканчиваются разрушением изделий.

5.2. Общие сведения об испытаниях взрывчатых веществ

Промышленные взрывчатые вещества являются частью общего класса взрывчатых веществ, характеристики которых подлежат определению и оцениванию. Эти характеристики связаны с различными свойствами ВВ и определяют степень их опасности и действия (металлическое, детонационное): фугасность (работоспособность), бризантность, теплота взрыва, детонационные параметры, чувствительность к различным воздействиям.

Независимо от вида разрабатываемого ВВ оценка степени его опасности осуществляется путем проведения комплекса методов испытаний, оценивающих взрывчатое вещество на всех стадиях обращения, т. е. при изготовлении и использовании (эксплуатационная опасность), при транспортировании, погрузочно-разгрузочных работах и хранении. С учетом наиболее вероятных внешних воздействий при ожидаемой последовательности и длительности жизненного цикла составляется программа испытаний для оценки каждого разрабатываемого взрывчатого вещества. Проводится обязательная номенклатура испытаний, моделирующая эксплуатационную опасность, детонационные и тепловые виды воздействий.

Как правило, стандартные методы определения большинства характеристик ВВ изучаются в курсе «Теория горения и взрыва». В рамках настоящего курса мы только укажем и перечислим методы определения указанных параметров ВВ, не вдаваясь в подробности, которые можно найти в соответствующих учебных пособиях и монографиях, библиографический список которых приведен в конце главы.

Определение удельной теплоты взрыва. Теплота взрывчатого превращения (количества тепла, выделившееся при взрыве единицы массы ВВ) является фундаментальной энергетической характеристикой ВВ, которая определяет его потенциальные возможности совершать полезную работу при расширении продуктов взрыва.

Экспериментально удельную теплоту взрыва определяют по ОСТ В84-1502-77 в калориметрических установках, состоящих из

толстостенной стальной бомбы объемом от нескольких сотен кубических сантиметров до 50 л и жидкостного калориметра, окруженного теплоизолирующей оболочкой.

Определение бризантного действия взрыва. Наиболее простой и распространенный метод испытания на бризантность — проба на обжатие свинцовых цилиндров (проба Гесса). Данный метод регламентируется ГОСТ 5984-99 «Вещества взрывчатые. Методы определения бризантности». Испытание проводят путем подрыва заряда массой 50 г, установленного на свинцовом цилиндре диаметром 40 мм и высотой 60 мм. После подрыва заряда измеряется уменьшение высоты свинцового цилиндра. Разность между средними высотами цилиндра до и после взрыва является мерой бризантности ВВ. Из описания способа ясно, что бризантность измеряется в миллиметрах.

Два других метода (с помощью импульсомера и обжатие медного крешера) определения бризантности ВВ также регламентируются ГОСТ 5984.

Определение фугасности (работоспособности). Для характеристики работоспособности ВВ, совершающих работу при взрывании породы, на Европейском континенте принято испытание в свинцовом блоке. Этот вид испытания предложен Трауцлем и стандартизован на втором Международном конгрессе по прикладной химии в 1903 г.

Бомба Трауцля представляет собой массивный свинцовый цилиндр высотой 200 мм и диаметром 200 мм. Бомба имеет с одной стороны несквозное отверстие диаметром 25 мм, идущее по оси цилиндра на глубину 125 мм. На дно отверстия помещают заряд исследуемого ВВ массой 10 г в бумажной гильзе. Свободную часть канала засыпают сухим кварцевым песком. Заряд ВВ инициируют капсюлем ЭД-8-Э. После взрыва в бомбе образуется характерное вздутие. Испытание проводят при температуре бомбы 15°C, если температура отличается от 15°C, то пользуются поправочным коэффициентом.

Расширение свинцовой бомбы ΔV в кубических сантиметрах за вычетом начального объема отверстия и расширения, производимого электродетонатором (30 см³), и является мерой относительной работоспособности ВВ.

Существуют и другие методы определения фугасности, которые регламентируются ГОСТ 4546-81 «Вещества взрывчатые. Методы определения фугасности». Для промышленных ВВ данный ГОСТ предусматривает определение фугасности с помощью баллистическо-

го маятника, при этом мерой совершенной взрывом работы является импульс (или энергия движения), приобретенный инертным телом под действием расширяющихся продуктов взрыва.

Третьим видом испытаний по определению фугасности, который также регламентируется указанным ГОСТом, являются испытания с помощью баллистической мортиры, которая является разновидностью баллистического маятника.

Скорость детонации определяется в соответствии с ГОСТ В 3250-75, критический диаметр детонации — в соответствии с ГОСТ РО 1376-004-2010.

Экспериментальные методы определения метательного действия (способности) ВВ. Метательное действие ВВ является одной из форм работы взрыва, занимающей промежуточное положение между его бризантным и фугасным действиями. Метательная способность определяет мощность взрывчатого вещества. Метательное действие ВВ связано с его способностью преобразовывать энергию взрывчатого превращения в кинетическую энергию метаемого тела. Из такой связи вытекает, что мерой совершенной работы служит кинетическая энергия, приобретенная метаемым телом. В случае, если известна масса метаемого тела, такой мерой может служить его скорость.

Метательная способность взрывчатого вещества зависит от конкретных условий его применения, поэтому экспериментальные количественные оценки метательного действия того или иного ВВ получают в относительных единицах к взрывчатому веществу — эталону.

Метательная способность экспериментально определяется двумя общепринятыми способами: по торцевому метанию пластин и методом «цилиндр — тест», в котором фиксируется скорость разлета оболочки цилиндра. На основе этих методов определения метательного действия разработан комплекс достаточно простых и дешевых лабораторных измерительных устройств, которые моделируют работу конкретной конструкции по заданному времени полета, соотношению массы метаемой пластины и массы заряда ВВ или некоторым специальным условиям его работы и позволяют надежно оценивать возможность применения нового ВВ в конкретной конструкции.

Способ регистрации процесса метательного действия ВВ может быть трех видов: рентгеновский, оптический и электроконтактный. Выбор того или иного способа определяется поставленной задачей.

Приведем некоторые экспериментальные устройства для реализации указанных методов определения метательной способности взрывчатых веществ. На рисунке 5.1 приведена экспериментальная схема установки «цилиндр — тест», используемая за рубежом. В этом методе фиксируется скорость разлета оболочки цилиндра, длина (высота) которого составляет 305 мм. Как уже было сказано выше метательная способность определяется по отношению к образцу эталону ВВ. Для данной установки за эталон принята кинетическая энергия оболочки, разгоняемая продуктами детонации состава тротил — гексоген 36/64.

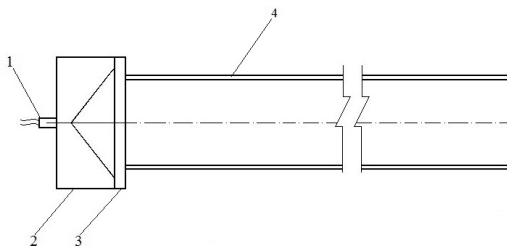


Рис. 5.1

Схема установки «цилиндр — тест»:

1 — детонатор; 2 — плоскостолбовая линза; 3 — тротил / гексоген 36/64 (или исследуемое ВВ); 4 — оболочка цилиндра из меди.

Экспериментальные данные показывают, что для большинства ВВ цилиндрическая оболочка около 75% кинетической энергии приобретает на расстоянии $R = 1,33R_0$ (R_0 — внешний радиус метаемого цилиндра до взрыва и около 90% кинетической энергии — на расстоянии $R = R_0$). Экспериментальные результаты по скоростям разгона цилиндрической оболочки разными ВВ не только характеризуют мощность ВВ, но и служат основой для нахождения коэффициентов уравнения, описывающих изохэнтропы расширяющихся продуктов детонации.

Отечественный аналог (методика Т-20), используемый для изучения метания цилиндрической оболочки, принципиально не отличается от «цилиндра — теста». Отличие связано с регистрацией (фотохронографическая регистрация по отсечке на клине из оргстекла).

Схема установки для исследования метательного действия ВВ по торцевому метанию приведена на рисунке 5.2 на примере экспериментального узла методики М-40. В методике М-40 фиксируются диаграммы разгона стальных пластин диаметром 40 мм и толщиной 4 мм,

метаемых с торца цилиндрического заряда размера 40×40 мм, помещенного в толстостенную цилиндрическую оболочку. Относительная метательная способность (η) ВВ определяется по найденным из эксперимента скоростям и вычисленным до опыта массам пластин, приходящимся на единичную поверхность ρH (ρ и H — плотность и толщина пластины). Сравнение метательной способности исследуемого ВВ с эталоном проводится с использованием пластин с одинаковыми значениями ρH при одинаковой температуре и базе (l_i) по формуле

$$\eta_{BB}^{l_i} = \sqrt{\frac{E_{BB}}{E_{эм}}} \cdot 100\%,$$

где E_{BB} и $E_{эм}$ — кинетическая энергия единичной поверхности метаемой пластины для исследуемого ВВ и эталона соответственно, $l_i = 8\text{--}40$ мм в зависимости от числа игл-датчиков. Эталон в методике М-40 служит октоген плотностью 1,875 г/см³, стандартная база определения скорости метания пластин равна расстоянию 40 мм от торца заряда.

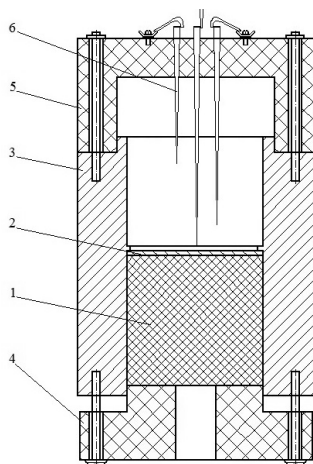


Рис. 5.2

Экспериментальный узел методики М-40:

1 — исследуемое ВВ; 2 — стальная пластина; 3 — корпус; 4 — поджим; 5 — фланец (измерительный блок); 6 — датчики-иглы.

Аналогом методики М-40 является методика М-60, которая отличается от первой тем, что исследуемый заряд имеет несколько большие размеры — диаметр 60 мм, длина 50 мм, толщина метаемой

пластины 5 мм, а стандартная база определения скорости метания пластины составляет 52 мм. В техническом исполнении обе методики идентичны.

В таблице 5.3 представлены по методике М-40 экспериментальные данные по относительной метательной способности 12 различных ВВ. Из таблицы следует определяющая роль плотности ВВ: по мере ее увеличения мощность ВВ возрастает. Плотность заряда определяет плотность энергосвечения в единице объема и высокую мощность во фронте.

Таблица 5.3

Относительная метательная способность некоторых ВВ

Соединение	Брутто-формула	Плотность, г/см ³	η , %
Октоген	$C_4H_8O_4N_4$	1,875	100
Гексанитробензол	$C_6N_6O_{12}$	1,97	106
Бис(дифтораминодинитроэтил)нитрамин	$C_4H_4O_{10}N_8F_4$	1,995	105,2
Динитрогуанидин	$CH_3O_{10}N_5$	1,843	95,6
Бис(фтординитроэтил)нитрамин	$C_4H_4O_{10}N_6F_2$	1,87	94,6
ТЭН	$C_5H_8O_{12}N_4$	1,738	93,9
Бис(тринитроэтил)нитрамин	$C_4H_8O_{14}N_8$	1,90	93,1
Тетрил	$C_7H_5O_8N_5$	1,693	87,1
Бис(фтординитроэтил)формаль	$C_5H_6O_{10}N_4F_2$	1,60	82,6
Нитрогуанидин	$CH_4O_2N_4$	1,695	76,0
Тротил	$C_7H_5O_6N_3$	1,596	74,0
Динитропиперазин	$C_4H_4O_4N_4$	1,491	72,1

Из-за высокой плотности энергосвечения в единице объема в зоне химической реакции и большой мощности во фронте продукты детонации приобретают запас внутренней и кинетической энергии, который расходуется на метание пластин. Из газообразных продуктов детонации при метании основная роль принадлежит диоксиду углерода, обладающему среди прочих газообразных продуктов наибольшими молекулярной массой и энтальпией образования.

5.3. Методы испытаний промышленных взрывчатых веществ

При испытании промышленных ВВ дополнительно вводится ряд методов, характерных именно для этого класса веществ, например восприимчивость и полнота детонации при инициировании штатны-

ми средствами инициирования: промышленными электродетонаторами, детонирующим шнуром, неэлектрическими средствами инициирования, определение класса предохранительности, определение газовой вредности и др.

При разработке новых промышленных взрывчатых веществ степень опасности и эксплуатационные характеристики оцениваются экспериментальными методами. Испытания в какой-то мере воспроизводят те или иные воздействия на промышленные ВВ, которым они могут подвергнуться при производстве, укупоривании, транспортировке, эксплуатации и хранении. Результаты испытаний определяют уровень безопасно-эксплуатационных и детонационных характеристик ПВВ. Сопоставление результатов испытаний данного ПВВ с результатами хорошо изученных и проверенных практикой ВВ определяет его место в ряду аналогичных веществ.

Испытания на чувствительность ВВ к удару

Испытания предназначены для определения чувствительности к удару порошкообразных, прессованных, литых, гранулированных, жидких и пастообразных взрывчатых веществ. Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 4545-88 в приборах № 1, 2, 3 (рис. 5.3).

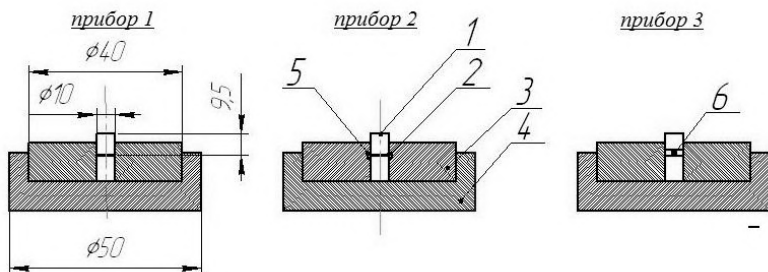


Рис. 5.3

Приборы для испытания на чувствительность к удару:

1 — ролик; 2 — ВВ; 3 — муфта; 4 — поддон; 5 — канавка; 6 — колпачок.

Испытания дают количественные результаты в виде нижнего предела чувствительности и частоты взрывов при падении груза с заданной высоты, которые можно использовать для ответа на вопрос, является ли ВВ опасным для перевозки.

ГОСТ 4545-88 устанавливает методы определения характеристик чувствительности к удару:

- нижнего предела чувствительности к удару твердых ВВ в приборе 2;
- частоты взрывов твердых ВВ в приборе 1 — только для ВВ, нижний предел чувствительности к удару которых более 200 мм с грузом массой 10 кг;
- частоты взрывов жидких ВВ в приборе 3;
- нижнего предела чувствительности к удару жидких ВВ в приборе 3.

За нижний предел чувствительности принимают максимальную высоту падения груза массой 10 или 2 кг на навеску ВВ массой 100 мг (для твердых ВВ) или объемом 0,09 см³ (для жидких и пастообразных ВВ), при которой из 25 испытаний не происходит не одного взрыва (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Примеры результатов испытаний ВВ

Твердые ВВ			
№	Наименование	Нижний предел в приборе 2, мм	Частость взрывов в приборе 1, %
1	ТЭН (сухой)	50	100
2	ТЭН/вода (75/25)	100	36
3	Тринитротолуол	500	4 – 20
4	Пикриновая кислота	500	32
5	Аммонал (80,5% АС, 15% ТНТ, 4,5% алюминий)	150	16
6	Аммонит № 6 ЖВ	200	16
7	Аммонал скальный № 1	120	60
Жидкие ВВ			
8	Нитроглицерин	< 50	100
9	Динитрат диэтиленгликоля	150	72
10	Нитрометан	>500	0

Примечание: для жидких ВВ — испытания в приборе 3.

Частость взрыва — количество взрывов в процентах из 25 испытаний при падении груза с заданной высоты (табл. 5.4).

Методы определения чувствительности к удару включены в «Рекомендации по перевозке опасных грузов. Руководство по испытаниям и критериям. 5-е изд. Нью-Йорк; Женева: ООН, 2009, (ST/SG/AS/10/11/Rev/5)».

Испытания на чувствительность ВВ к удару на большом копре

Испытания предназначены для определения относительной чувствительности к удару на большом копре порошкообразных, пластичных, эластичных, прессованных, литых, гранулированных, жидких, водосодержащих взрывчатых веществ в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 50870-96.

Максимальная высота падения грузов на большом копре — 2 м. Масса груза составляет 10 и 24 кг. Испытания дают количественные результаты в виде нижнего предела чувствительности и частоты при падении груза с заданной высоты. При этом:

– нижний предел чувствительности — максимальная высота падения на навеску ВВ массой 3 г, при которой из 10 испытаний не происходит ни одного взрыва;

– частотность взрыва — количество взрывов в процентах из 10 испытаний падения груза с заданной высоты.

За взрыв принимают взрывчатое превращение, сопровождаемое звуковым эффектом, или пламенем, или следами ожогов на дисках.

При определении чувствительности к удару в прессованном или литом виде испытывают таблетки массой 3 г диаметром 20 мм. Порошкообразные, гранулированные, пластичные, эластичные, жидкие, водосодержащие ВВ испытывают в алюминиевых или медных чашечках диаметром 20 мм.

Таблица 5.5

Примеры результатов испытаний некоторых ВВ

Наименование ВВ	Нижний предел, мм	Частотность взрывов, %
Гексоген сухой	0,7	100
Гексоген/вода (85/15)	>2,0	0
Гексоген/флегматизатор (95/5)	1,6	84
ТЭН сухой	0,3	100
ТЭН/вода (75/25)	0,6	—
Тротил	>2,0	0
Аммонал	1,6	—

Примеры результатов испытаний некоторых видов взрывчатых веществ приведены в таблице 5.5.

Испытания на чувствительность к удару с учетом распространения взрыва на окружающую массу ВВ

Испытания предназначены для определения чувствительности к удару порошкообразных, пластичных, эластичных, прессованных, литых, гранулированных, жидких, водосодержащих взрывчатых веществ при температурах от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$ в соответствии с требованиями ГОСТ РО 1376-006-2010.

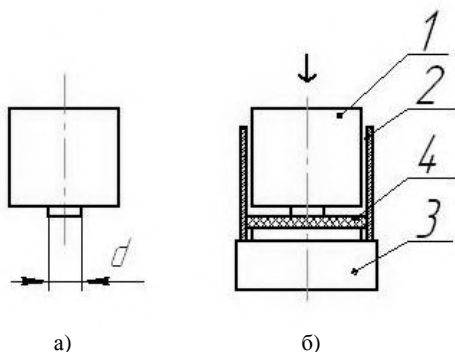


Рис. 5.4

Боек (а) и схема (б) определения минимального диаметра бойка (d):

1 — ролик; 2 — обойма; 3 — поддон; 4 — взрывчатое вещество.

Сущность метода заключается в определении минимального диаметра ударяющего бойка и плотности заряда, при которых возможно распространение взрыва на окружающую массу, и в выявлении условий передачи взрыва, при которых разложение, начавшееся под бойком, переходит во взрыв окружающей массы ВВ.

Метод используется как дополнительный для подтверждения эксплуатационной и транспортной опасности ВВ в тех случаях, когда методы оценки чувствительности ВВ к удару по ГОСТ-4545 не дают однозначного ответа о степени опасности ВВ, т. е. когда:

- нижний предел чувствительности к удару в приборе 2 менее 100 мм, частость взрывов в приборе 1 менее 60% или когда:
- нижний предел чувствительности к удару в приборе 2 более 100 мм, а частость взрывов в приборе 1 более 60%.

Схема проведения опытов и эскиз ударяющего бойка приведены на рис. 5.4. Примеры результатов испытаний ВВ приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6

Примеры результатов испытаний ВВ

Наименование ВВ		d_{\min} , мм
ГЭН сухой		4–6
ГЭН/парафин	95/5	20–22
	90/10	32–36
	85/15	38–40
Гексоген сухой		10–12
Гексоген/флегматизатор		40
Тетрил		26–28
Тротил		>40
Аммонал скальный № 1		>40

Испытания на чувствительность взрывчатых веществ к трению при ударном сдвиге

Испытания предназначены для определения чувствительности при ударном сдвиге на приборе К-44-III порошкообразных, пластичных, эластичных, прессованных, литых, гранулированных, пастообразных ВВ.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 50835-95 испытания дают количественные результаты в виде нижнего предела чувствительности и частоты взрывов ВВ, которые можно использовать для ответа на вопрос, является ли ВВ опасным для перевозки в том виде, в каком оно испытывается. При этом учитываются требования, изложенные в «Рекомендациях по перевозкам опасных грузов. Руководство по испытаниям и критериям». 5-е изд. Нью-Йорк ; Женева : ООН, 2009 (ST/SG/AC. 10/11 Rev. 5), испытания серии 3 b.

В данных испытаниях под нижним пределом чувствительности к трению понимается максимальное давление прижатия, при котором не происходит взрыва навески ВВ массой 0,02 г, находящейся между стальными роликами диаметром 10 мм при ударном сдвиге одного ролика относительно другого на 1,5 мм в 25 испытаниях, а под частотой взрывов — количество взрывов в процентах из 25 испытаний при заданном давлении прижатия навески ВВ.

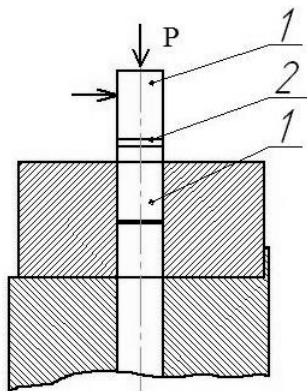


Рис. 5.5

*Схема испытания на чувствительность ВВ к трению:
1 — ролик; 2 — взрывчатое вещество.*

В обычных условиях испытания проводят при температуре $20 \pm 10^\circ\text{C}$, но метод позволяет определять чувствительность от -60°C до $+60^\circ\text{C}$. Пределы изменения давления на приборе К-44-III от 30 до 1200 МПа. Схема проведения испытаний приведена на рисунке 5.5, примеры результатов — в таблице 5.7.

Таблица 5.7

Примеры результатов испытаний ВВ

Наименование ВВ	Нижний предел чувствительности, МПа	Чувствительность к трению, МПа/%	
ТЭН	150	200/4	300/28
Тротил	600	700/4	—
Аммонал	700	800/16	1000/76
Аммонал скальный № 1	400	500/(8–12)	700/92
Нитрат аммония	1200	—	—

Испытание по определению класса предохранительности промышленных ВВ в метановоздушной и пылевоздушной смесях

Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 7140-81 и предназначены для предохранительных ВВ III–VII классов. Данный ГОСТ устанавливает методы испытаний ВВ указанных классов в метано-

воздушной и пылевоздушной смесях в канальной мортире, в уголко-вой мортире, взрыванием свободно подвешенных зарядов и взрыва-нием рассредоточенных зарядов (предназначенных для перебивания деревянных рудничных стоек). Метод испытания выбирается в зави-симости от условия применения и класса ВВ и должен предусматри-ваться стандартами и техническими условиями на соответствующее ВВ.

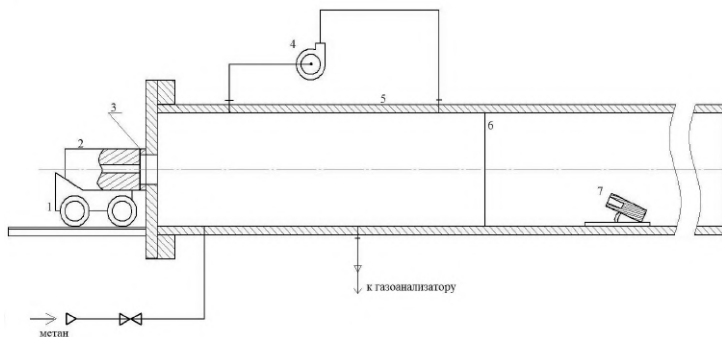


Рис. 5.6

Схема штрека для испытания промышленных ВВ:

1 — тележка; 2 — канальная мортира; 3 — люк штрека; 4 — вентилятор для перемешивания газовой смеси; 5 — труба штрека, 6 — диафрагма, 7 — мортира для распыления угольной пыли.

В качестве примера приведем схему испытаний, представлен-ную на рисунке 5.6. В соответствии с этой схемой испытания прово-дят в опытном штреке, представляющем собой металлическую трубу диаметром 1,8 м и длиной 15 м, один конец которой открыт, а второй закрыт днищем с люком.

Испытания проводят при температуре среды во взрывной каме-ре штрека от +5 до +30°C. Для испытания в *метановоздушной смеси* используется природный газ, содержащий не менее 85% (объемной доли) метана. Испытания проводят при концентрации газа в смеси с воздухом $9,0 \pm 0,5\%$ по объему.

Пылевоздушную смесь во взрывной камере штрека создают пу-тем взрывного распыления угольной пыли из распылительной морти-ры. Взрывчатое вещество считают выдержавшим испытание при мас-се заряда, нормируемой соответствующей нормативно-технической документацией на конкретное ВВ, если:

- при испытании ВВ III и IV классов частость воспламенения метановоздушной смеси в 20 опытах не более 50%;
- при испытании ВВ V–VII классов отсутствует воспламенение метановоздушной смеси в 20 опытах;
- отсутствует воспламенение пылевоздушной смеси в 5 опытах при испытании предохранительных ВВ всех классов, а серий выпускаемых ВВ — в 3 опытах.

Определение способности к передаче детонации на расстояние между двумя патронами промышленных ВВ

Данный вид испытания проводится в соответствии и на основании ГОСТ 14893.15-69 и предусматривает определение к передаче детонации на расстояние между двумя патронами для патронированных промышленных ВВ, выпускаемых по стандартам и техническим условиям.

Сущность метода заключается в возбуждении детонации одного патрона взрывчатого вещества взрывом другого патрона, находящегося на некотором расстоянии. Патрон, который инициируется электродетонатором, называется активным (боевиком), а патрон, расположенный на некотором расстоянии от боевика, — пассивным. Метод предусматривает испытание патронов как в сухом виде, так и после выдержки в воде (замачивание патронов).

Патроны укладываются на твердом ровном грунте соосно. Расстояние между торцами патронов задается шаблоном соответствующего размера, затем шаблон удаляется, сдвигая с места патроны.

После подрыва активного патрона фиксируется, произошла ли передача детонации от боевика к пассивному патрону. О передаче детонации судят по наличию следа (углубления) на грунте в том месте, где был расположен пассивный патрон, а также по отсутствию остатков невзорвавшегося ВВ и оболочки патрона. Меняя расстояние между торцами патронов с шагом 1 см, определяется *то максимальное расстояние, при котором происходит передача детонации* между активным и пассивным патронами.

Испытания считаются законченными, если при трех подрывах (три пары патронов на равных максимальных расстояниях) будет получена передача и полная детонация обоих патронов.

Таблица 5.8

Передача детонации промышленных ВВ

Наименование ВВ	ρ_0 , г/см ³	Максимальное расстояние, см
Аммонит № 6 ЖВ	1,1	6,2/3,8
Аммонит скальный № 1	1,45	7,4/6,5
Аммонит ПЖВ-20	1,05	7,7/4,3
Аммонал М-10	1,1	6,0/3,0
Угленит Э-6	1,1	5,6/2,8

Примечание: в знаменателе — результаты испытаний для замоченных патронов.

В таблице 5.8 приведены примеры испытаний ряда наиболее распространенных патронированных ВВ.

Испытания на предохранительность и испытания на передачу детонации имеют следующий недостаток: все они основаны на статистическом методе оценки и, следовательно, имеют вероятностный характер. Поскольку количество опытов невелико (или, по крайней мере, ограничено), то и достоверность получаемых результатов не слишком велика.

Испытания по определению способности взрывчатого вещества к детонации от дополнительного детонатора через преграду

Данные испытания служат для ответа на вопрос: *является ли исследуемое вещество кандидатом на включение в подкласс 5.1 (по классификации ГОСТ 19433-88)*. Испытания проводятся в соответствии с рекомендациями ООН (указаны в подразделе «испытания на чувствительность к трению»), раздел 18, испытания серии 8 тип b, и распространяются на эмульсии, суспензии, гели нитрата аммония, используемые в качестве промежуточного сырья при производстве бризантных ВВ военного назначения, а также и ПВВ.

Сущность метода испытания заключается в проверке — распространится ли процесс взрыва при подрыве дополнительного детонатора на исследуемое вещество. Вещество для испытаний помещается в стальную трубу и подвергается ударно-волновому нагружению взрывом дополнительного детонатора через преграду.

Оболочкой для образца при испытании служит стальная труба с внешним диаметром 95 мм, толщиной стенки 11 мм и длиной 280 мм (рис. 5.7). На верхнюю часть оболочки помещают преграду из оргстекла диаметром 95 мм и толщиной 70 мм и дополнительный детонатор — шашку из флегматизированного гексогена (95/5) или пентолита высотой 95 мм, плотностью 1,60 г/см³ и массой 1,08 кг.

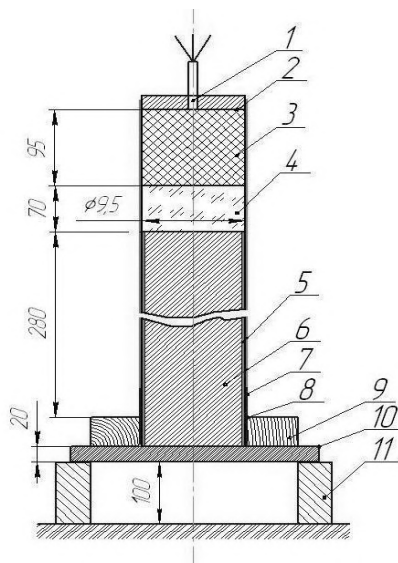


Рис. 5.7

Схема проведения испытания на способность вещества к детонации:

- 1 — электродетонатор; 2 — шайба для центровки; 3 — детонатор дополнительный;
4 — преграда; 5 — оболочка; 6 — испытуемое вещество; 7 — картонная трубка; 8 —
полиэтиленовая (фторопластовая) пленка; 9 — кольцо; 10 — пластина-свидетель,
11 — подставка.

Пластина-свидетель из мягкой малоуглеродистой стали в виде квадрата со стороной 200 мм и толщиной 20 мм устанавливается на опорах (подставке) на месте испытания на высоте не менее 100 мм.

После подрыва образца фиксируется: присутствует ли отверстие в пластине-свидетеле или нет; полностью разрушена оболочка или нет. По деформации пластин-свидетелей судят о способности исследуемого вещества к распространению детонации и отнесению его к подклассу 5. При положительном результате, т. е. наличии сквозного отверстия в пластине-свидетеле, испытания прекращаются. Результат испытания считается *положительным*, если в любом из трех опытов в пластине-свидетеле пробито сквозное отверстие, т. е. вещество считается способным к распространению детонации и не может быть отнесено к подклассу 5.1.

При любых других повреждениях пластины-свидетеля (образование вмятины, прогиб и т. п.) результат испытаний считается отрицательным, вещество считается неспособным к детонации и по результатам испытаний типа 8 b может рассматриваться как кандидат для включения в подкласс 5.1.

Определение способности к взрыву удобрений на основе аммиачной селитры

Данные испытания проводятся в соответствии с рекомендациями требованиями Европейского сообщества по испытаниям удобрений с высоким содержанием азота (REGULATION (EC) No 2003/2003 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 October 2003 relating to fertilizers (TECHNICAL PROVISIONS FOR AMMONIUM NITRATE FERTILISERS PF HIGH NITROGEN CONTENT) приложение III, пазд. 2 «Description of test of resistance to detonation concerning ammonium nitrate fertilisers of high nitrogen content», раздел 4 «Determination of resistance to detonation»).

Сущность метода заключается в проверке — распространится ли процесс взрыва при подрыве активного заряда на образец удобрения.

Оболочка изготавливается из бесшовной стальной трубы диаметром 114 мм, с толщиной стенки 6 мм, длиной 1005 мм. Удобрение — 16–18 кг для двух параллельных испытаний при подготовке к испытаниям подвергается пяти температурным циклам для симуляции старения образца. В оболочку помещается удобрение, вставляется активный заряд из пластита, содержащего 83–86% ТЭНа или гексогена весом 500 г (рис. 5.8). Проводятся два параллельных испытания образца удобрения.

На стальном блоке-основании, по его оси продольной симметрии по разметке устанавливаются цилиндры-свидетели, и на них помещается подготовленный для испытания образец.

После подрыва образца по изменению высоты цилиндров-свидетелей судят о наличии взрыва удобрения. Если в каждом из двух параллельных испытаний деформация по крайней мере одного свинцового цилиндра меньше 5%, то испытание должно рассматриваться как отрицательный результат (распространение взрыва по образцу не происходит), и образец удобрения соответствует требованиям Приложения III.2 Директивы 80/876/ЕЕС № 2003/2003 (ЕС) 2003 г.

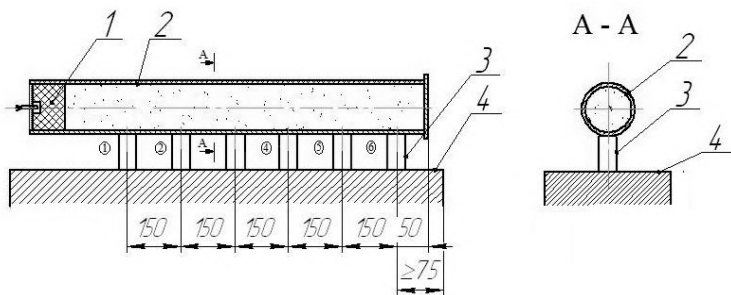


Рис. 5.8

Схема размещения образца при испытании:

- 1 — активный заряд; 2 — образец — стальная оболочка, снаряженная для испытания;
3 — свинцовые цилиндры-свидетели (№ 1–6); 4 — массивная стальная
плита-основание.

Методы определения термической стойкости ПВВ

Термическая стойкость ВВ, определяемая способностью к необратимым химическим превращениям при тепловых воздействиях, является одной из характеристик по сохраняемости взрывчатых свойств, безопасности переработки и эксплуатации. Методы исследования термической стойкости применяются для установления гарантийных сроков хранения в различных условиях, для прогнозирования безопасных температурно-временных режимов переработки, транспортировки и эксплуатации, выбора совместимых материалов, используемых в технологическом оборудовании, а также материалов тары (упаковки).

Простейшим экспресс-методом оценки термической стойкости является определение температуры вспышки при времени задержки 60 с по ОСТ В84-1582-78.

Термический анализ взрывчатых веществ, проводимый на термоанализаторах и дифференциально-сканирующем калориметре, рекомендуется на первых стадиях исследований (разработка ПВВ, определение условий эксплуатации, разработка тары) и при оценке термической безопасности.

Манометрические кинетические методы исследования термической стойкости ВВ с использованием измерительно-вычислительного комплекса «Вулкан» (ОСТ В84-744-73) обеспечивают изучение термического разложения веществ по давлению, создаваемому газообразными

ми продуктами распада образцов при термостатировании их в герметичных сборках с датчиком давления (компенсационный метод, с учетом упругости паров воды). Эти же методы дают возможность устанавливать кинетические закономерности процессов и прогнозировать на их основе термически безопасные гарантийные сроки хранения ВВ в хранилищах различного рода во всех климатических зонах и допустимые температурно-временные условия транспортировки.

Испытание на тепловую стабильность при 75°C различных материалов предназначено для установления опасности их перемещения на транспорте (ГОСТ РО 1376-003-2009, соответствующий методу 3(с), рекомендованному Комитетом экспертов ООН по перевозке опасных грузов). Образцы ВВ термостатируются при температуре 75°C в течение 48 часов в закрытых пробках стаканов. В процессе испытания с помощью термопары определяется возможный разогрев образца. При разогреве образца более чем на 3°C или при потере им массы более 1% (кроме водосодержащих ПВВ) изучаемое ПВВ не допускается к перевозке на транспорте.

Метод определения критических параметров теплового самовоспламенения по кинетике тепловыделения (ОСТ В84-2048-82). Метод создан для изучения кинетики тепловыделения в процессе термического разложения взрывчатых веществ в герметичных условиях (стальные ампулы). Разогрев ампулы с образцом измеряется с помощью дифференциальной термопары. По полученным значениям кинетических констант уравнения температурной зависимости скорости термораспада составляется прогноз безопасных температурно-временных режимов (или критических условий возможного самовоспламенения) при эксплуатации, переработке и транспортировке ПВВ с учетом массы, размеров, особенностей конструкций изделий и тары.

Методика определения времени задержки теплового самовоспламенения взрывчатых веществ в герметичных условиях (без газоотвода продуктов термического разложения) дает возможность непосредственно определять термическую стойкость веществ в стальных герметичных ампулах (10 см^3 ; $d = 20\text{ мм}$) с предохранительной мембраной. В процессе выдержки образца при постоянной температуре регистрируется время до теплового самовоспламенения. Метод рекомендуется для непосредственного экспериментального изучения поведения ВВ при тепловых воздействиях на изделия и тару.

Кроме рассмотренных в настоящем разделе методов испытаний промышленных взрывчатых веществ, существует и ряд других испытаний, например по оценке чувствительности к разбуриванию, взрывоопасности при вибрации и т. д., которые приведены в ряде монографий и справочников по промышленным ВВ и средствам взрывания.

5.4. Аварийность и обеспечение безопасности при эксплуатации взрывчатых веществ

Эксплуатационная безопасность заключается в совокупности всех мероприятий по обеспечению безопасности работ с промышленными взрывчатыми веществами на всех этапах, начиная со стадии изготовления опытных образцов в лабораторных условиях на ручных операциях и заканчивая уничтожением неиспользованных ВВ и их остатков после проведения взрывных работ. Перечень работ при обращении с ВВ, когда требуется обеспечение безопасности, можно охарактеризовать следующим образом:

- обработка опытных веществ, образцов, макетов и изделий на стадии проектирования и научных исследований;
- лабораторные испытания образцов на заданные характеристики;
- натурные испытания готовых веществ, изделий и полуфабрикатов на испытательных стендах и полигонах;
- собственно эксплуатация ВВ и изделий на их основе;
- сбор и уничтожение неиспользованных ВВ и их остатков.

К эксплуатации допускаются штатные ВВ, на которые имеются государственные отраслевые стандарты (ГОСТ, ОСТ) или утвержденные в установленном порядке технические условия (ТУ и ВТУ), прошедшие входной контроль и допущенные соответствующей службой предприятия к применению. При этом необходимо, чтобы все работы с ВВ (с изделиями, содержащими ВВ) проводились только после включения их в план соответствующего подразделения и при наличии программ или технического задания (ТЗ), утвержденных в установленном порядке.

Для выполнения научно-исследовательских работ допускаются ВВ, на которые отсутствуют ГОСТы, ОСТы, ТУ или ВТУ. К таким ВВ относятся экспериментальные и новые взрывчатые вещества. Экспериментальные ВВ получают путем изменения массовой доли компонентов до 10% от штатных или добавлением к ним активных

или инертных добавок: окислителей, песка, стекла, металлов и т. п. до 10% по массе и флегматизаторов без ограничения массовой доли.

Экспериментальные и новые ВВ допускаются в работу при наличии ТЗ и программ, согласованных со службой охраны труда и техники безопасности и утвержденных в установленном порядке. До начала работ с экспериментальными и новыми ВВ в лабораторных условиях составляют технический регламент, в котором приводят основные сведения об исследуемом ВВ. В частности, рецептуру, агрегатное состояние, плотность, температуру вспышки, плавления или размягчения связующего, растворимость в воде и других растворителях, чувствительность к удару и трению, химическую стойкость, совместимость и возможность смешивания компонентов, токсичность и особые меры предосторожности при работе с этим ВВ. Технический регламент необходим для того, чтобы до начала работ с экспериментальными и новыми ВВ все лица могли ознакомиться под роспись с особенностями и мерами безопасности при работе с этими взрывчатыми веществами.

Транспортировка, хранение и эксплуатация ВВ и снаряженных ими изделий и устройств требуют особых мер предосторожности и должны проводиться при строгом соблюдении специально разработанных правил, инструкций, норм, стандартов и наставлений, которые регламентируют условия безопасного обращения со взрывчатыми материалами.

Как показывают исследования, на общий уровень аварийности и на возникающие риски при работе со взрывчатыми материалами на взрывоопасных предприятиях влияют следующие факторы:

- неисправная работа оборудования, инструментов, приборов;
- механические, тепловые, искровые воздействия;
- химическая нестабильность;
- не отвечающие требованиям рабочие инструменты;
- изменение состава исходных материалов;
- окружающие условия работы;
- нарушение правил, небрежность;
- скорость производства, система оплаты труда;
- личные отношения в рабочих коллективах;
- ошибки, неосведомленность;
- алкоголь, наркотические вещества;
- диверсия, саботаж, самоубийство.

Таким образом, более половины из перечисленного списка негативных воздействий, влияющих на уровень аварийности, связаны с человеческим фактором.

Коэффициент травматизма и аварийности значительно снижается, когда сотрудник, работая на опасных и особо опасных операциях, понимает сущность производственных операций и результаты последствий нарушения технологического процесса. Поэтому с рабочим персоналом ежегодно необходимо проводить занятия по изучению основных свойств ВВ, методик анализа и определения их характеристик, технологий изготовления и переработки ВВ и безопасности труда. Занятия должны завершаться экзаменом.

Установлено, что более 30% ошибок, приводящих к авариям и травматизму, можно избежать, соблюдая требования существующей системы контроля, для предотвращения еще 55% необходимо ввести дополнительный контроль, остальные 15% относятся к ошибкам, обнаружение которых связано со значительными затратами времени.

При всех операциях с ВВ возможны различные механические и термические воздействия на ВВ, которые могут привести к непредсказуемым последствиям. В связи с этим наиболее опасные операции с ВВ проводятся только дистанционно, в специальных кабинах, защитных камерах, экранах, бронебашнях, расположенных в зданиях.

Для исключения непредвиденных механических воздействий на ВВ должны быть приняты меры против попадания в оборудование посторонних предметов, загрязнение продукта посторонними примесями, поломки узлов аппаратов и инструмента во время процесса, падения изделий из бункеров с ВВ (ВМ), превышения технологических параметров, заданных регламентом.

В целях исключения возможности загорания ВВ при тепловом воздействии с температурой выше температуры вспышки нельзя допускать: попадания ВВ на сильно нагретые поверхности (подшипники, трущиеся детали и т. п.), воздействия на пожаро- и взрывоопасные продукты открытого пламени, длительного нагревания ВВ до повышенной температуры, что приводит к снижению температуры вспышки, превышения параметров ведения процессов.

Одним из путей предупреждения аварийности является исключение образования искр (электрических, электростатических, от разрядов молнии, от удара и трения). Это должно быть обусловлено строгим соблюдением правил устройства электроустановок и правил

по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений. Нельзя допускать образования статического электричества в технологических операциях (пересыпания, транспортирования, пневмотранспортирования, просеивания, переливания и др.), а также на работниках и их одежде.

Рассмотрим *основные правила безопасности при работе с ВВ*. Приступая к работе с ВВ, необходимо:

- получить письменное задание и ознакомиться с ним под роспись;
- надеть спецодежду;
- проверить чистоту рабочего места и помещения;
- проверить исправность оборудования, инструментов, приспособлений, а также телефонную связь и средства пожаротушения;
- изучить конструкторскую и технологическую документацию, инструкции, необходимые для работы по заданию, и строго их соблюдать.

Транспортировка ВВ как между предприятиями, так и внутри предприятия чаще всего осуществляется автомобильным и железнодорожным транспортом. Внутри предприятия ВВ транспортируются на специально оборудованных автомашинах, электрокарах, тележках, саях и могут переноситься вручную в таре общей массой не более 10 кг.

Транспортирование ВВ должно осуществляться в соответствии с международными и российским правилами.

В соответствии с международной классификацией ВВ и изделия из них относятся к 1-му классу опасности.

Вещества и изделия 1-го класса опасности подразделяются на пять подклассов, которые характеризуются:

1.1) опасностью взрыва в массе. Взрыв в массе практически мгновенно распространяется на весь перевозимый груз ВВ;

1.2) опасностью разбрасывания, но не создают опасность взрыва в массе;

1.3) опасностью загорания, незначительной опасностью взрыва и разбрасывания, но не создают опасность взрыва в массе;

1.4) не представляют значительной опасности. Воспламенение или взрыв не выходят за пределы упаковки;

1.5) опасностью взрыва в массе, но низкая чувствительность сводит к минимуму вероятность их инициирования или перехода горения в детонацию при нормальных условиях перевозки.

Чтобы определить, к какому подклассу относится взрывчатое вещество, взрывчатый состав или изделие, в соответствии с требованиями ООН проводят испытания упаковки (мешок ВВ и т. д.) или одиночного изделия (например, снаряда, боевой части и т. п.) на полноту детонации при инициировании стандартным средством инициирования (капсюлем-детонатором и т. п.) (испытание серии 6а «Рекомендации по перевозкам опасных грузов. Руководство по испытаниям и критериям» 5-е изд. Нью-Йорк ; Женева : ООН, 2009 (ST/SG/AC.10/11 Rev. 5)). Фиксируют образование воронки, повреждение контрольной металлической (толщина 3 мм) пластины, на которой располагался заряд, разрушение ограждения и т. д. При следующем испытании (серия 6б «Руководства...») производят подрыв штабеля или набора изделий от одного детонатора, помещенного в одну из упаковок (изделий), и о наличии распространения детонации на другие упаковки судят по величине воронки, изменению пластины и разрушению ограждения, которое должно быть значительно бóльшим, чем для одиночного заряда. В случае взрыва всего штабеля вещество относят к подклассу 1.1.

Еще один вид испытаний (серия 6с) заключается в реакции образца на внешний огонь. Упаковки (мешки с ВВ и т. п.) общим объемом до $0,15 \text{ м}^3$ или образцы (БП или другие изделия) с тем же объемом помещают на стенд — металлическую решетку, расположенную над источником пламени. Стенд окружен со всех сторон экранирующими алюминиевыми листами, вокруг которых имеется дополнительное ограждение. Затем зажигают огонь, который омывает весь заряд, и определяют эффект. Если произошел массовый взрыв, то вещество (состав) относят к подклассу 1.1. Если после воспламенения пробито отверстие в одном из окружающих щитов или произошло разбрасывание металлических осколков, то вещество (состав) или изделие из них относят к подклассу 1.2.

Взрывчатые вещества и изделия из них 1-го класса по степени опасности при обращении, изготовлении, транспортировании подразделяются на следующие 13 основных групп совместимости (из них к автомобильной перевозке допускаются 12, вещества с номерами ООН 0020, 0021, отнесенные к группе К, запрещены к перевозке):

- группа А — первичные (инициирующие) ВВ;
- группа В — изделия, содержащие первичные (инициирующие) ВВ, не имеющее двух и более предохранителей;

- группа С — пороха (кроме дымного пороха), огнепроводные шнуры, патроны стрелкового оружия;
- группа D — вторичные детонирующие ВВ, детонирующие шнуры, электродетонаторы, капсули-детонаторы на основе вторичных ВВ;
- группа E — изделия, содержащие вторичные детонирующие ВВ, в том числе снаряженные детонаторами на основе вторичных ВВ;
- группа F — изделия, содержащие вторичные детонирующие ВВ с метательным зарядом;
- группа G — пиротехнические составы или изделия, содержащие пиротехнические составы;
- группа H — вещества, содержащие белый фосфор;
- группа J — изделия, содержащие ВВ и ЛВЖ/гель;
- группа K — изделия, содержащие ВВ и токсичный химический агент;
- группа L — взрывчатые вещества (составы) или изделия, с веществами, требующими изоляции каждого вида;
- группа N — изделия, содержащие чрезвычайно нечувствительные вещества;
- группа S — вещества или изделия, любые опасные последствия не выходят за пределы упаковки.

Отметим, что все требования ООН к взрывчатым веществам и составам ориентированы на безопасность при перевозках и не отражают всего комплекса требований к современным ВВ (ВС), которые необходимы для понижения вероятности возникновения случайного взрыва. Поэтому очень часто эти требования учитываются некими нормативными или директивными документами, принятыми в той или иной стране.

На основании класса, подкласса и группы совместимости составляются классификационные коды, например 1.1B или 1.1D и т. д. Класс, подкласс и группа совместимости определяются комплексом методик, применяемых для определения взрывчатых характеристик ВВ.

Классификационный код, код экстренных мер, серийный номер ООН, условный номер России и аварийная карточка обязательно указываются в ТУ, ОСТах и ГОСТах на ВВ и изделия из них, в технологических процессах (инструкциях, регламентах), на таре и упаковке. Они являются визитной карточкой ВВ, определяющей порядок хранения, транспортирования и меры безопасности при работе.

Перед началом работы порошкообразные ВВ обязательно проходят визуальный контроль с целью недопущения посторонних включений, а детали из ВВ — рентгеноконтроль на обнаружение посторонних включений, которые в процессе переработки ВВ и эксплуатации деталей из них могут привести к несанкционированному взрыву. За работой установок просеивания должен быть установлен строгий непосредственный контроль со стороны дежурного и обслуживающего персонала или дистанционный. Детали из ВВ с обнаруженными включениями, превышающими нормы по ТУ, уничтожаются.

Все технологические операции с любыми ВВ должны проводиться по установленному технологическому процессу (инструкции) со строгим соблюдением инструкций по ОТ и БТ, пожарной безопасности.

В заключение отметим, что предупреждение производственных аварий — комплексная проблема, требующая усилий специалистов инженерно-технического профиля (технологов, конструкторов, проектировщиков), служб охраны труда и спецрежима, представителей органов надзора, обслуживающего персонала и др. Проблема должна решаться в комплексе системы «человек — машина — среда».

Вопросы к главе 5

1. Химическая стойкость ВВ и методы ее определения.
2. Физическая стойкость ВВ. Параметры физической стойкости.
3. Общие сведения об испытаниях взрывчатых веществ.
4. Испытания ВВ на чувствительность к механическим воздействиям (удару и трению).
5. Испытания промышленных взрывчатых веществ.
6. Испытание по определению класса предохранительности промышленных ВВ в метановоздушной и пылевоздушной смесях.
7. Определение способности к взрыву удобрений на основе аммиачной селитры.
8. Методы определения термической стойкости ПВВ.
9. Факторы, влияющие на общий уровень аварийности взрывчатых веществ.
10. Основные правила безопасности при работе с ВВ.
11. Международная классификация ВВ по степени опасности.

Список литературы к главе 5

1. Взрывчатые вещества : в 3 т. Т. I: Поведение твердых взрывчатых веществ при механических нагрузках. — Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2001. — 415 с.
2. Взрывчатые вещества. Т. II. Основные свойства. Технология изготовления и переработки. — Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2007. — 452 с.
3. Дубнов, Л. В. Промышленные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахареви́ч, А. И. Романов. — М. : Недра, 1988. — 358 с.
4. Добрынин, А. А. Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность. — М. : ИД Академии Жуковского, 2014. — 528 с.
5. Жилин, В. Ф. Малочувствительные взрывчатые вещества / В. Ф. Жилин, В. Л. Збарский, Н. В. Юдин. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2008. — 172 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Промышленные взрывчатые вещества в настоящее время находят широкое применение во многих отраслях промышленности. Наиболее масштабно ПВВ используется в горнорудной промышленности, где их потребление составляет до 80% от общего объема производимых промышленных взрывчатых веществ. В обозримом будущем взрывные работы в мировой практике останутся единственным универсальным и наиболее экономически эффективным средством разрушения массивов горных пород при разработке твердых полезных ископаемых. В связи с истощением открытых рудных месторождений и вытекающей из этого факта необходимостью извлечения полезных ископаемых с больших глубин земной поверхности роль ПВВ в разработке месторождений будет постоянно повышаться.

Поскольку даже самые современные ПВВ не в полной мере удовлетворяют требованиям и запросам потребителей, то разработка новых, более эффективных промышленных взрывчатых веществ, поиск новых идей в этом направлении, а также совершенствование технологии их производства являются актуальными задачами, которые в обозримом будущем будут всегда стоять перед учеными и специалистами, работающими в данной области науки и производства. Решение этих задач позволит приблизиться к разрешению ряда противоречий между усложняющимися требованиями геотехнологий и запросами других видов промышленности с относительно ограниченными возможностями управления процессами выделения и распределения энергии взрыва и условиями конъюнктурных реалий.

Можно надеяться, что новые идеи и научно-технические разработки, реализующиеся совместными усилиями ученых, проектировщиков и практиков, определяют стратегию развития взрывного дела в России.

Исследования при разработке новых ВВ и технологий, их разработка требуют больших знаний в области химии взрывчатых веществ и физики взрыва. Поэтому авторы в настоящем учебном пособии провели описание основ теории горения и взрыва, дали классификацию взрывчатых веществ и составов и методы их испытаний, а также представили некоторые, наиболее распространенные технологические процессы их производства. Также в достаточно

краткой форме изложены методы обеспечения безопасности при проведении работ со взрывчатыми веществами на производстве.

Авторы надеются, что изложенные вопросы будут полезны будущим специалистам в процессе их работы в российской оборонной промышленности, которая в настоящее время выпускает сотни тысяч тонн промышленных взрывчатых веществ и средств их инициирования.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Некоторые сведения из теории горения и взрыва	5
1.1. Понятия о горении газов и взрывчатых веществ	5
1.2. Взрыв и детонация	12
1.3. Бризантное и фугасное действия взрыва	17
1.4. Чувствительность взрывчатых веществ к внешним воздействиям	20
1.4.1. Общие понятия о чувствительности взрывчатых веществ	20
1.4.2. Ударно-волновая чувствительность ВВ и влияние на нее различных факторов	24
1.4.3. Чувствительность ВВ к тепловому воздействию	27
1.5. Некоторые современные способы снижения чувствительности ВВ к внешним воздействиям	29
Вопросы к главе 1	30
Список литературы к главе 1	31
Глава 2. Общая характеристика и классификация ВВ	32
2.1. Общие вопросы классификации	32
2.2. Взрывчатые вещества общего назначения	33
2.2.1. Общие сведения	33
2.2.2. Флегматизированные порошкообразные ВВ	36
2.2.3. Термостойкие флегматизированные ВВ	44
2.2.4. Технология приготовления флегматизированных ВВ	46
2.3. Сплавы ВВ	48
2.4. Плавкие взрывчатые композиции	64
Вопросы к главе 2	71
Список литературы к главе 2	71
Глава 3. Промышленные взрывчатые вещества	72
3.1. Классификация промышленных ВВ	72
3.2. Параметры детонации промышленных ВВ	75
3.3. Основы технологических процессов производства промышленных взрывчатых веществ	78
3.3.1. Общие сведения	78
3.3.2. Основы технологических процессов производства промышленных ВВ	79

3.4. Физико-химические и взрывчатые свойства аммиачной селитры	80
3.5. Аммиачно-селитряные взрывчатые вещества	87
3.6. Промышленные ВВ на основе аммиачной селитры	90
3.7. Предохранительные ВВ	105
3.7.1. Общие сведения о предохранительных ВВ	105
3.7.2. Классификация предохранительных ВВ	109
3.8. Производство высокопредохранительных взрывчатых веществ	115
3.9. Промышленные ВВ на основе твердых и жидких окислителей	117
3.10. Тенденции развития промышленных взрывчатых веществ.	122
Вопросы к главе 3	126
Список литературы к главе 3	127
Глава 4. Промышленные ВВ на основе утилизируемых ЭНМ	128
4.1. Общие сведения	128
4.2. Проблемы утилизации порохов	131
4.3. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизируемых энергонасыщенных материалов	133
4.4. Сравнительные характеристики ВВ первичного и повторного использования	137
4.5. Технологические схемы и оборудование для изготовления новых ПВВ	138
Вопросы к главе 4	161
Список литературы к главе 4	162
Глава 5. Стойкость и методы испытаний промышленных взрывчатых веществ. Обеспечение безопасности при эксплуатации ВВ	163
5.1. Стойкость промышленных ВВ и методы ее определения	163
5.2. Общие сведения об испытаниях взрывчатых веществ	168
5.3. Методы испытаний промышленных взрывчатых веществ	173
5.4. Аварийность и обеспечение безопасности при эксплуатации взрывчатых веществ	187
Вопросы к главе 5	193
Список литературы к главе 5	194
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	195

*Михаил Алексеевич ИЛЮШИН,
Георгий Георгиевич САВЕНКОВ,
Андрей Семёнович МАЗУР*

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

*Учебное пособие
Издание третье, стереотипное*

Зав. редакцией
естественнонаучной литературы *Н. И. Осмоловская*

ЛР № 065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»
lan@lanbook.ru; www.lanbook.com
196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 1, лит. А
Тел./факс: (812) 336-25-09, 412-92-72
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 22.12.20.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 84×108^{1/32}.
Печать офсетная. Усл. п. л. 10,50. Тираж 30 экз.

Заказ № 1693-20

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета
в АО «Т8 Издательские Технологии».
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.