



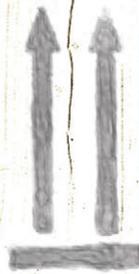
ГОД НАУКИ
2017

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Справочное пособие



№325825



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Государственное научно-производственное объединение
порошковой металлургии

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Справочное пособие

*Под общей редакцией
члена-корреспондента НАН Беларуси,
доктора технических наук, профессора
А. Ф. Ильющенко*

Минск
«Беларуская навука»
2017

УДК 662.2(035)

ББК 35.63я2

П76

А в т о р ы:

А. Ф. Ильющенко, Е. Е. Петюшик, А. Л. Рак,
С. Л. Евмененко, Т. А. Молодякова

Р е ц е н з е н т ы:

О. В. Голубев,
В. И. Стасевич,
член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук А. И. Кулак,
С. А. Гуцаленко

Применение в промышленности высокоэнергетических взрывчатых веществ: справ. пособие / А. Ф. Ильющенко [и др.]; под общ. ред. А. Ф. Ильющенко. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 283 с. : [7] л. ил.

ISBN 978-985-08-2186-7.

В книге представлены краткие технические сведения, основные данные о свойствах и особенностях взрывчатых веществ, приведены материалы о развитии ассортимента промышленных взрывчатых веществ, о разработке некоторых вопросов теории и расширении области применения взрывчатых веществ в народном хозяйстве, описаны основные их классы. Рассмотрены вопросы использования взрывчатых материалов от утилизированных боеприпасов для получения промышленных взрывчатых веществ, безопасности их использования, а также экологические проблемы.

Справочное пособие предназначено для специалистов, занимающихся производством взрывных работ, изготовлением промышленных взрывчатых веществ, изучением горнотехнических вопросов. Может быть полезно специалистам криминалистического взрывоведения МВД, МЧС, КГБ и работникам научно-исследовательских организаций.

УДК 662.2(035)

ББК 35.63я2

ISBN 978-985-08-2186-7

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

В справочном пособии представлена номенклатура основных взрывчатых веществ и изделий на их основе, допущенных к применению в различных отраслях промышленности, приведены краткие данные о физико-химических свойствах, изложены основные положения о методах и способах испытаний по контролируемым параметрам, отражены вопросы безопасности. Это систематизированное издание, содержащее описание взрывчатых материалов и изделий из них и составленное на основе действующих ТУ и ГОСТов, призвано расширить представление специалистов взрывного дела и спецхимии об ассортименте выпускаемых в нашей стране взрывчатых веществ и изделий на их основе, их технических характеристик, условиях применения и т. д. Для удобства пользования справочником сведения в нем систематизированы по разделам и подразделам.

Данное издание представляет собой фрагмент информационно-справочной системы по вопросам взрывчатых веществ промышленного назначения, включающий историю развития высокоэнергетических взрывчатых веществ и современные технологии разработки и производства.

При подготовке материалов были задействованы книги и статьи из научных журналов и материалов научных конференций, научные отчеты, а также патентная литература. Использовались только открытые источники (<http://exploders.us>). Несмотря на тщательнейшую многократную проверку исходных данных, при подготовке пособия могли быть допущены ошибки или опечатки. Это аналитический обзор открытой литературы по теме

взрывчатых веществ, порохов и пиротехники, его цель – собрать максимально объективные данные по основным свойствам и характеристикам высокоэнергоемких материалов. Кроме того, обобщен опыт утилизации боеприпасов с истекшими сроками хранения в Республике Беларусь, а также производства промышленных взрывчатых веществ.

Все характеристики, физические величины указаны при нормальных условиях (если не отмечено специально). Все соотношения указаны в массовых соотношениях (если не отмечено специально). Использовалось много разных источников информации, поэтому возможны некоторые расхождения между данными, все они имеют право на существование. Чтобы избежать возможных ошибок при переводе численных единиц, некоторые числовые данные приведены не в международной системе единиц, а так, как это было написано в первоисточнике.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

БЧ	– боевая часть
БВВ	– бризантные взрывчатые вещества;
ВВ	– взрывчатые вещества;
ВМ	– взрывчатые материалы;
ЕПБ при ВР	– единые правила безопасности при взрывных работах;
ИВВ	– инициирующие взрывчатые вещества;
ТРТ	– твердые ракетные топлива;
МО	– министерство обороны;
ГСХ	– гарантийный срок хранения;
КД	– капсуль-детонатор;
ЭВВ	– эмульсионные взрывчатые вещества;
ЭД	– электродетонатор.

ВВЕДЕНИЕ

Взрывчатые вещества (ВВ) как высококонцентрированный и экономичный источник энергии широко применяют в различных отраслях народного хозяйства. Массовые взрывы используются при вскрытии рудных тел, угольных пластов и месторождений других полезных ископаемых, в строительстве, при сооружении плотин и насыпей, прокладке авто- и железнодорожных магистралей, водных каналов, прокладке нефте- и газопроводов, при проведении тоннелей, прокладке шахтных стволов и других горных выработок.

ВВ также широко применяют при взрывных способах обработки металлов в машиностроении и металлургии – штамповке, сварке, изготовлении биметаллических листов, упрочнении деталей машин; при сейсморазведке, перфорации нефтяных скважин, при тушении лесных пожаров, уплотнении грунтов, расчистке и выравнивании местности и для других технических нужд.

Продолжается поиск и исследование дальнейших путей использования и управления энергией взрыва. В настоящее время применяется взрывной способ производства некоторых особенно ценных минералов и искусственных материалов, ускоряются отдельные химические процессы с использованием сверхвысоких давлений взрыва, проводятся работы по искусственному дождеванию, внедряются методы взрывного бурения.

Эффективность и безопасность различных видов взрывных работ в значительной степени зависят от свойств применяемых ВВ. Многообразие условий применения и широкий диапазон

технических требований к промышленным ВВ обуславливают различия их по химическому составу, физическим и взрывчатым свойствам.

За прошедшее время в нашей стране и за рубежом дальнейшее развитие получили гранулированные, водосодержащие, эмульсионные и суспензионные промышленные ВВ, которые в наибольшей мере отвечают требованиям комплексной механизации буро-взрывных работ (складирования, транспортирования и заряжания ВВ). Они стали основными типами ВВ в горнодобывающей области взамен аммонитов.

Качественные изменения в ассортименте промышленных ВВ повлекли за собой и дальнейшее углубленное изучение особенностей детонации гранулированных и водосодержащих ВВ на основе аммиачной селитры, отличающихся значительной физической и химической неоднородностью [5, с. 3].

Роль взрыва в техническом прогрессе современного мира выражается следующей формулой: взрыв ищет, взрыв добывает, взрыв созидает и взрыв разрушает. В последнее время нередко можно прочесть о новых удивительных и уникальных сферах применения его в самых невероятных областях, даже в ювелирном и кузнечном деле.

Ни промышленность, ни транспорт, ни сельское хозяйство не могут существовать сегодня без топлива, без металлов, без строительных материалов и удобрений. Еще Петр Первый основал Берг-коллегию, которая руководила не только горным делом, но и всей промышленностью России. Объемы и разнообразие «свершений взрыва» не поддаются учету, свойства ВВ удивляют, их мощь поражает воображение. Но ВВ созданы людьми, и взрыв есть не что иное, как концентрированный сгусток человеческой воли. Поэтому тысячи великих и безвестных людей заслуживают дань уважения за их мужество, труд и талант, подаривших человечеству столь могущественное оружие в борьбе за лучшую жизнь.

Разнообразие областей применения взрывных работ поражает. Одной из особенностей взрывных работ в настоящее время является использование ВВ, полученных из утилизируемых

боеприпасов. Широко внедрены в производство утилизируемый тротил, пироксилиновые и нитроглицериновые пороха в качестве мощных бризантных ВВ для дробления крепких горных пород.

В целях ликвидации не находящих применение и устаревших образцов боеприпасов, хранящихся в Вооруженных Силах Республики Беларусь, и в соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.04.1997 г. № 405 «О мерах по обеспечению выполнения Государственной целевой программы утилизации обычных боеприпасов», созданы Республиканские казенные предприятия «Центр утилизации артиллерийских и инженерных боеприпасов» в г. Добруш-6 и «Центр утилизации авиационных средств поражения» в Витебской области. В рамках Государственной инвестиционной программы, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 12.01.2008 г. № 20 и выполнения постановления Совета Министров Республики Беларусь № 1536 от 17.11.2007 г. был создан филиал РКП «Центр утилизации артиллерийских и инженерных боеприпасов» г. Микашевичи. Данное производство предназначено для изготовления эмульсионного ВВ «Нитронит». В настоящее время на базе этих предприятий разработан и выпускается широкий ассортимент ВВ, которые постоянно обновляются и совершенствуются.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Первым ВВ военного и гражданского назначения был черный (дымный) порох, представлявший собой смесь калиевой селитры, серы и древесного угля. В Европе он стал известен в XIII в., а в Китае, Индии и Византии еще раньше. Первое описание порохоподобных смесей для фейерверков дано китайским ученым Сунь-Сымяо в 682 г. М. Грек (XIII–XIV вв.) описал смеси на основе калиевой селитры, применявшиеся в Византии начиная с VII в. в качестве «греческого огня». В Европе, согласно летописям, первооткрывателем пороха следует признать англичанина, францисканского монаха Роджера Бекона (1242 г.). Спустя сто лет (1354 г.) рецепт черного пороха был воспроизведен Бертольдом Шварцем.

Начало применения пороха в горном деле, по разным источникам, относят к XVI–XVII вв. Еще в середине XVI в. в России с помощью пороха взрывали подводные скалы и камни для расчистки русел судоходных рек, а начиная с 1617 г. благодаря пороху проводили взрывные («порохострельные») работы в рудниках.

В Западной Европе первое применение пороха на взрывных работах датируют 1627 г. при проведении штольни на руднике в Словакии. Начиная с 1632 г. порох использовали и на серебряных рудниках в Швеции. К концу XVII в. взрывные работы с помощью пороха были широко распространены в горной промышленности многих стран.

В течение нескольких столетий, до середины XIX в., черный порох оставался практически единственным применяемым ВВ,

хотя, начиная с последней четверти XVIII в., были открыты другие ВВ. В 70–80-х годах XVIII в. французские химики А. Лавуазье и К. Бертолле изобрели взрывчатую смесь на основе хлората калия (бертолетовой соли) и организовали ее производство. Но взрыв на заводе, где готовилось это ВВ, отодвинул на многие годы практическое использование хлоратных ВВ. В 1771 г. П. Вульфом был синтезирован тринитрофенол (пикриновая кислота), являющийся мощным бризантным ВВ. Но его взрывчатые свойства и способность к детонации стали известными лишь в 1873 г. благодаря исследованиям Г. Шпренгеля. В 1832 г. были получены первые образцы нитроклетчатки (Браконо), а в 1846 г. – запатентован способ получения пироксилина из хлопковой целлюлозы. Спустя 38 лет химик П. Вьель предложил способ изготовления из пироксилина бездымного пороха.

В 1847 г. итальянцем А. Собrero был синтезирован нитроглицерин – мощное бризантное ВВ, сыгравшее большую роль в замене черного пороха на бризантные ВВ в горном деле. Это вещество сразу же вызвало большой интерес у химиков и специалистов взрывного дела, особенно в России. Уже в 1854 г. известный русский ученый академик Н. Н. Зинин с В. Ф. Петрушевским исследовал взрывчатые свойства нитроглицерина и вскоре предложил применять его вместо черного пороха для снаряжения мин и гранат. В 1863–1866 гг. под руководством В. Ф. Петрушевского выполнены практические опыты по подрыву мин, снаряженных чистым нитроглицерином и смесями на его основе, в целях разрушения металлических конструкций, подводных камней, мостов и других сооружений.

Примерно к тем же годам относятся опыты по взрыванию жидкого нитроглицерина на золотых приисках Восточной Сибири, описанные в Горном журнале за 1868 г. Параллельно с работами русских ученых и инженеров широкие исследования по взрыванию нитроглицерина и его смесей, а также по разработке промышленной технологии получения нитроглицерина выполнены шведским инженером А. Нобелем, жившим вначале в России и знавшим об опытах Н. Н. Зинина и В. Ф. Петрушевского. В 1864 г. Нобель взял патент на применение нитроглицерина

в качестве ВВ и построил в Швеции и Германии заводы по его производству. В 1867 г. А. Нобель изобрел гремуче-ртутно-тетриловый капсюль-детонатор.

После открытия явления детонации был синтезирован ряд новых бризантных и инициирующих ВВ, предложены взрывчатые смеси различного химического состава. В 1863 г. И. Вильбрандтом был получен тротил, в 1887 г. К. Мартенсом – тетрил, в 1894 г. – Толленом и Виганом – тэн, в 1897 г. Ленце – гексоген, в 1890 г. Т. Курциусом – азид свинца. Эти ВВ с начала XX в. сами по себе или в составе взрывчатых смесей получили широкое применение в боеприпасах, средствах инициирования на взрывных работах. В 1941 г. как побочный продукт в производстве гексогена Г. Райтом и В. Бахманом был обнаружен октоген – мощное термостойкое ВВ.

Первыми смесевыми бризантными ВВ, получившими широкое применение в горной промышленности, были динамиты. В начале это был гурдинамит, состоявший из нитроглицерина и кизельгура в качестве поглотителя. В дальнейшем развитие получили физически более стабильные и мощные пластичные ВВ, или желатин-динамиты различного состава, запатентованные А. Нобелем в 60–70-х годах позапрошлого столетия. В них нитроглицерин связан нитроклетчаткой (коллоидным хлопком), с которой образует желатин. Простейшим по составу и в то же время наиболее мощным динамитом был гремучий студень, содержащий нитроглицерин и нитроклетчатку.

Во многих странах мира (Швеция, Англия и др.) динамиты оставались основным типом промышленных ВВ вплоть до второй половины прошлого века. В России пластичные динамиты различных марок начали изготавливать на нескольких заводах, начиная со второй половины 70-х годов позапрошлого века.

В послереволюционный период и до 1932 г. промышленность выпускала динамиты четырех марок: 93, 88, 83 и 62 %-ные (проценты, указанные в индексе, отвечают содержанию в них нитроглицерина и других, жидких нитроэфиров), позднее только 62 %-ный динамит, как менее опасный в обращении. После Великой Отечественной войны в стране был возобновлен вы-

пуск 62 %-ного труднозамерзающего динамита, содержащего смесь нитроглицерина с нитродигликолем. Однако уже к началу 60-х годов выпуск пластичных динамитов, вследствие повышенной опасности обращения с ними, был прекращен, и продолжалось изготовление только порошкообразных составов, содержащих не более 15 % жидких нитроэфиров (детонитов, угленитов и др.).

Динамиты сыграли большую роль в развитии взрывного дела. Они превосходили черный порох по силе взрыва и концентрации энергии (теплота взрыва динамита составляла 7100–10 700 МДж/м³), обладали высокими водоустойчивостью и пластичностью, были менее опасными в обращении, чем черный порох, очень чувствительный к лучу огня. Эти свойства делали динамиты особенно эффективными для широко распространенного в то время шпурового метода ведения взрывных работ с ручным заряджанием шпуров патронами.

По экономическим показателям – стоимости и ресурсам по сырью (глицерину), технологическим затратам при изготовлении и другим показателям – динамиты значительно уступают современным промышленным ВВ на основе аммиачной селитры. Наконец, динамиты, как по уровню своей чувствительности, так и по характеру расфасовки (патроны диаметром 20–40 мм) мало пригодны для механизированного заряджания, хотя предпринимались попытки пневмозаряджания шпуров динамитными патронами в Швеции.

По указанным причинам почти параллельно с развитием динамитов во многих странах вели поиск других, менее опасных и более дешевых смесевых бризантных ВВ.

В Англии Г. Шпренгель в 70-х годах позапрошлого века изучал смеси крепкой азотной кислоты с углеводородами. Аналогичные смеси на основе жидких окислителей под названием панкластитов предложены в 1878 г. французом Е. Тюрпенем. Эти ВВ в небольших количествах использовались в боеприпасах и на взрывных работах, однако широкого применения не получили. Во второй половине прошлого века они вновь привлекли внимание специалистов, появился ряд новых патентов. В Со-

ветском Союзе в 50–60-х годах проводились широкие опыты по использованию смесей жидких углеводородов с четырехокисью азота и тетранитрометаном для взрывного бурения. Одной из особенностей таких взрывчатых смесей является их малый критический диаметр, что позволяет выполнять последовательные взрывы сравнительно небольших масс такого рода жидких ВВ.

Наиболее широко применялись смеси на основе жидкого кислорода – оксиликвиты. Первые исследования смесей, на основе обогащенного кислородом (60 %) жидкого воздуха выполнил в 1897 г. К. Линде (Германия). Он пропитывал жидким окислителем патроны, состоявшие из смеси керосина с кизельгуром или сажи, сырой нефти и кизельгура. Первые опытные взрывы с использованием таких оксиликвитных патронов выполнены при проведении Симплонского туннеля в 1899 г. Промышленное применение оксиликвитов начато после того, как была разработана технология получения жидкого кислорода достаточно высокой чистоты (выше 90 %). Начиная с 1918 г. оксиликвиты стали широко использоваться в качестве промышленных ВВ при добыче железной руды в Лотарингском бассейне (Франция), где были построены крупные установки по производству жидкого кислорода. В 30-х годах более половины всех взрывных работ в бассейне было выполнено с помощью оксиликвитов. На втором месте по объему производства оксиликвитов стояли США, где начиная с 1926 г. и по 50-е годы эти ВВ применяли на угольных копях и на других работах. В угольной промышленности их доля от общего расхода ВВ составила около 8 %. В качестве поглотителя жидкого кислорода в большинстве сортов оксиликвитов применялись различные виды сажи и древесный уголь.

В СССР первые производственные опыты с оксиликвитами проведены в Криворожском бассейне в 1926 г., в значительных объемах оксиликвиты применяли при строительстве Днепрогэса (1927–1933 гг.) и показали достаточно высокую эффективность. Интерес к ним возник вновь в годы Великой Отечественной войны в связи с острой нехваткой ВВ заводского производства для нужд гражданской промышленности. В 1942 г. при Норильском горнорудном комбинате под руководством А. Д. Яхонтова,

Ю. И. Зинюка и К. И. Иванова была создана крупная установка по производству оксиликвитов, которая действовала до 1956 г. В разработку отечественных сортов оксиликвитов, технологию их получения и методов использования большой вклад внесли Ж. К. Граубиц, В. А. Асонов, Л. Н. Марченко.

Основным недостатком оксиликвитов является их малая «живучесть», вызванная испарением жидкого кислорода.

В ограниченных масштабах нашли применение хлоратные и перхлоратные ВВ. Хлораты применялись на калийных рудниках в Германии. Перхлоратные ВВ в довольно больших количествах в послевоенный период выпускались в Японии под названием кардитов. Как хлоратные, так и перхлоратные ВВ отличаются высокой чувствительностью к механическим воздействиям, особенно к трению, и по этой причине не получили развития в других странах.

Из взрывчатых смесей типа окислитель–горючее наиболее широкое применение получили ВВ на основе аммиачной селитры. Это объясняется, прежде всего, их экономичностью, широкой сырьевой базой, огромными масштабами производства аммиачной селитры, используемой в сельском хозяйстве в качестве минерального удобрения. Вторым существенным достоинством ВВ этого типа является их низкая чувствительность к механическим воздействиям, что снижает опасность в обращении с ними, облегчает организацию их массового производства как в заводских, так и в местных условиях, позволяет механизировать операции транспортирования и заряжания. Сдерживающими моментами для широкого применения этих ВВ долгое время являлись их неводоустойчивость, гигроскопичность, недостаточная физическая стабильность, низкая насыпная плотность и некоторые другие эксплуатационные недостатки. По этим причинам в течение многих лет предпочтение отдавалось динамитам. Однако постепенно, в результате совершенствования рецептурного состава, а также благодаря развитию техники и технологии буровзрывных работ достоинства этих ВВ стали преобладать над их недостатками. Масштабы их применения возрастали, и к настоящему времени этот тип промышленных ВВ почти полностью вытеснил динамиты.

ВВ на основе аммиачной селитры предложены почти одновременно с динамитами. Первый патент на них принадлежал шведам И. Норбину и И. Ольсену и относится к 1867 г. Ими предложены взрывчатые смеси, состоящие из аммиачной селитры и древесного угля или горючих органических соединений, в том числе азотистых (типа нитросоединений). Уже в 1869 г. в небольших количествах ВВ этого типа под названиями аммиачный порох и аммонкрут изготавливались в Германии.

В 70-х годах XIX в. в Англии и Швеции появился ряд патентов на ВВ на основе аммиачной селитры различного состава, в том числе с добавкой нитроглицерина в качестве сенсibiliзатора. Однако первое их крупное производство было организовано во Франции, где П. Фавье в 1884 г. разработал ВВ, состоящие из селитры и ди- или тринитронафталина. Составы, разработанные Фавье, в связи с их низкой температурой взрыва прежде всего предназначались для угольных шахт. Они были первыми предохранительными ВВ, и, кроме Франции, производили их также в России. К этому же времени относится организация во Франции и несколько позже в России производства предохранительных ВВ, состоявших из аммиачной селитры и нитроглицерина, под названием гризутинов.

В 1886 г. П. М. Чельцов проводил опыты по взрыванию состава под названием «громобой», содержавшего аммиачную селитру и пикрат аммония. Это был первый образец аммонита в России.

С изобретением и началом производства тротила в начале XX в. во многих странах появились смеси селитры с тротилом под названием аммонитов для взрывных работ и аммотолов для снаряжения боеприпасов. Кроме тротила, некоторые сорта аммонитов содержали невзрывчатые органические горючие. Известны также аммониты, имевшие в составе в качестве взрывчатого горючего ди- и тринитробензол, тринитроксиллол, нитропроизводные нафталина и другие нитросоединения. Получили развитие и смеси, не содержавшие индивидуальные ВВ. В Австрии с 1900 г. начали производить динамон, содержавший в качестве горючего красный древесный уголь. В 1899–1901 гг. немецкие ученые

Р. Эскалес и Г. Каст изучали взрывчатые свойства смесей, содержавших металлический алюминий (аммоналов), что стало началом практического использования этих высокоэнергетических смесевых ВВ в гражданской и военной взрывной технике.

Уже в 1910 г. производство аммонитов в Германии достигло 30 тыс. т, а к 1920 г. они составили около 7 % всего количества выпускаемых промышленных ВВ. ВВ на основе аммиачной селитры, преимущественно с добавкой нитроглицерина, стали основным видом предохранительных ВВ во всех угледобывающих странах вплоть до 60-х годов прошлого столетия. В Англии в 30-х годах аммониты составляли около 1/5 от общего производства промышленных ВВ, причем значительная доля из этого количества относится к предохранительным ВВ. В США в 30-х годах начали выпускать смесь кристаллической аммиачной селитры с парафином, названную нитроамоном.

Особенно быстрое и широкое развитие получили ВВ этого типа в нашей стране. Составы, не содержавшие нитроглицерин, начали применять на открытых горных работах и в шахтах не опасных по газу и пыли. Это были аммониты № 2 и № 3 одинакового состава, но различной технологической обработки. Они различались по взрывчатым характеристикам: аммонит № 2 с более высокой детонационной способностью и выделявший меньшее количество ядовитых газов при взрыве применялся преимущественно в патронированном виде на подземных горных работах, аммонит № 3 – только на открытых работах в непатронированном виде. В 1936 г. в угольных шахтах был допущен к применению предохранительный аммонит № 1, содержавший 10 % поваренной соли. В те же годы ассортимент промышленных ВВ был пополнен зерненым динафталитом № 1, отличавшимся высокой физической стабильностью и детонационной способностью (разработан С. И. Рудаковским). Это ВВ особенно широко применялось на рудниках Криворожья. В 1936 г. под руководством Б. Д. Росси был освоен выпуск динамона К, содержавшего в качестве горючего муку сосновой коры. Динамоны сыграли большую роль в народном хозяйстве в годы Великой Отечественной войны, особенно в ее начале, когда почти все ре-

сурсы тротила и нитроглицерина расходовались на нужды фронта. В эти годы Б. Д. Росси, Н. Е. Яременко, В. И. Красельщик (Союзвзрывпром), К. К. Андреев, Л. В. Дубнов (МХТИ им. Менделеева), В. А. Асонов, Л. Н. Марченко (ИГД АН СССР) разработали ряд рецептур динамонов на местном органическом сырье – торфе, жмыхе и т. п. (динамоны Т, Ж) и организовали их массовое производство. В числе разработанных составов были и предохранительные динамоны (марки Ж), содержавшие поваренную соль. Из-за недостаточно высокой детонационной способности и сильного пыления при зарядании россыпью выпуск динамонов в дальнейшем был прекращен.

Большая работа по внедрению в горную промышленность ВВ на основе аммиачной селитры взамен динамитов в довоенные годы была проведена крупными специалистами взрывного дела В. А. Асоновым и Г. П. Демидюком. Уже в 1939 г. объем производства ВВ этого типа в стране составил около 80 % общего количества промышленных ВВ. В других странах переломный момент в сторону этих безопасных и экономичных ВВ произошел лишь в послевоенные годы, главным образом в связи с развитием ВВ простейшего состава в виде смесей гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом.

Большое значение для развития промышленных ВВ имели теоретические работы видных советских ученых Ю. Б. Харитона, А. Ф. Беляева, К. К. Андреева, А. Я. Апина, В. К. Боболева по изучению механизма, критических условий возбуждения и распространения детонации смесевых ВВ типа окислитель – горючее.

Новый качественный скачок в развитии промышленных ВВ в СССР произошел в послевоенные годы. Он был связан с народнохозяйственными планами развития горнодобывающей и других отраслей промышленности и строительства, где используется энергия взрыва. Требовалось не только многократно увеличить объем производства промышленных ВВ, но и повысить их качество, создать широкий ассортимент, отвечающий различным условиям ведения взрывных работ, современной технике и технологии буровзрывных работ. К решению этих задач был привлечен широкий круг организаций и специали-

стов химического и горного профиля. Основные разработки новых промышленных ВВ выполнялись специализированными лабораториями, проведение испытаний и оценку эффективности выполняли научно-исследовательские институты промышленности.

В сравнительно короткий срок, уже к концу 50-х годов, отечественный ассортимент промышленных ВВ был почти полностью обновлен и модернизирован. Одной из важных задач было придание порошкообразным составам водоустойчивости. Исследование механизма замокания гидрофильных порошков показало, что эта задача может быть решена равномерным распределением небольших количеств высокогидрофобного вещества в массе аммонита, т. е. созданием пространственной гидрофобной решетки. Исследования также показали, что не обязательно покрывать каждую частицу гидрофильного вещества (аммиачной селитры) сплошной пленкой из водонепроницаемого материала. Этот прием оказался особенно эффективным для тонкодисперсных порошков, сформованных в виде зарядов (патронов) с пористо-капиллярной структурой. Он был положен в основу оригинального способа получения водоустойчивой селитры (марки ЖВ), предложенного Н. М. Шестаковым и впервые реализованного на Березниковском азотно-туковом заводе в середине 50-х годов. По предложенному способу на стадии кристаллизации в селитру вводят железные соли жирных кислот совместно с парафином в количестве до 0,5 %. Такое содержание жирного компонента не оказывает заметного флегматизирующего действия на аммонит и, напротив, стабилизирует его, снижая склонность к слеживанию. Патронированные аммониты, изготовленные на этой селитре (также получившие индекс ЖВ), сохраняют свои взрывчатые свойства после пребывания в воде в течение 1 ч на глубине 1 м, так как вода крайне медленно проникает вглубь патрона по порам, стенки которых имеют гидрофобные включения. Промышленный выпуск водоустойчивой селитры позволил создать широкий ассортимент водоустойчивых аммонитов и других ВВ на основе аммиачной селитры различного химического состава и назначения, включая непредо-

хранительные аммониты № 6ЖВ и № 7ЖВ, водоустойчивые аммоналы, мощные скальные аммониты и аммоналы, содержащие гексоген, мощные порошкообразные нитроэфиросодержащие ВВ – детониты, предохранительные аммониты ПЖВ-20, АП-5ЖВ, Т-19, углениты и др. Лучшие из них сохранились в ныне действующем ассортименте промышленных ВВ.

За высокие эксплуатационные характеристики советские водоустойчивые аммониты, аммоналы и порошкообразные нитроглицериновые ВВ были награждены дипломом 1-ой степени на международной выставке «Химия–70». Эти работы выполнены под руководством Б. Я. Светлова, З. Г. Позднякова, Н. С. Бахаревич, Л. В. Дубнова.

Для открытых горных работ в сухих забоях предназначались более дешевые, с уменьшенным содержанием тротила аммониты № 9 и № 10, в которых в качестве основного горючего компонента вводилась древесная мука. Эти аммониты отличались более низкой детонационной способностью, чем аммониты № 6ЖВ и № 7ЖВ, и по этой причине применялись только на земной поверхности для заряжания скважин. Впоследствии были заменены гранулированными ВВ.

Водоустойчивые аммониты, аммоналы и детониты сыграли большую роль в послевоенном развитии горнодобывающей промышленности. Однако для обеспечения механизированного заряжания, транспортирования и складирования промышленных ВВ требовалось придать им новые качества. Тонкодисперсные аммониты из-за пыления, недостаточной сыпучести, относительно высокой чувствительности к механическим воздействиям для этих целей малопригодны. Новым требованиям в наибольшей мере отвечали гранулированные и текучие ВВ. Кроме того, для заряжания обводненных скважин большого диаметра водоустойчивые порошкообразные аммониты не годились – смешиваясь с водой, они теряли свои взрывчатые свойства; они также недостаточно потопляемы. В 50-х годах для заряжания обводненных скважин был организован выпуск шнекованных зарядов из водоустойчивого аммонита В-3. Это ВВ содержало в качестве гидрофобных и пластифицирующих добавок асфальтит и пара-

фин. Заряды имели плотность 1,25 г/см³. В дальнейшем они были заменены на более удобные в обращении и пригодные для механизированного заряжания гранулированные водоустойчивые ВВ.

Непредохранительные аммониты и другие порошкообразные промышленные ВВ в настоящее время предназначаются главным образом для изготовления патронов-боевиков с целью возбуждения детонации в гранулированных и водосодержащих ВВ, недостаточно чувствительных к первичным средствам инициирования, особенно на подземных горных работах, где тротиловые и другие шашки-детонаторы не допущены к применению по причине образования при взрыве большого количества ядовитых газов. Аммониты, аммоналы и детониты применяются также на некоторых специальных видах работ, например, в тех случаях, когда требуются ВВ высокой детонационной способности в патронах малого диаметра: для оконтуривающего взрывания, для вторичного дробления негабаритов, для изготовления шланговых зарядов или на других работах, где невозможно или невыгодно механизированное заряжание (корчевка пней, ликвидация ледяных заторов, геологоразведочные работы и др.).

На смену аммонитам пришли гранулированные и водосодержащие ВВ, которые широко применялись в горнодобывающей промышленности. Их главное достоинство – пригодность к механизированным способам заряжания. К недостаткам относится пониженная детонационная способность (большой критический диаметр, для некоторых составов превышающий 100 мм, невосприимчивость к первичным средствам инициирования), которая, однако, становится не столь значимой в связи с увеличением диаметра скважин на земной поверхности и плотной укладкой ВВ в зарядные емкости (шпурсы, скважины) при беспатронном заряжании с помощью пневмозарядчиков в подземных выработках. Плотное прилегание ВВ к стенкам шпуров (скважин) уменьшает критический диаметр заряда.

Было установлено, что дробящая способность ВВ, во всяком случае для метода скважинных зарядов рыхления и отбойки горной породы с относительно большими значениями ЛНС (ли-

ния наименьшего сопротивления), в большей мере определяется общей энергией взрыва, чем кинематическими параметрами и давлением в детонационной волне. Кроме того, гранулированные ВВ отличаются не низкими параметрами детонации, как таковыми, а большим интервалом между минимальным и максимальным их значениями, отвечающими критическому и предельному диаметрам заряда. Так, например, игданит (смесь гранулированной селитры с дизельным топливом) в бумажных патронах диаметром 150 мм детонирует со скоростью 1,54 км/с, а в скважинах того же диаметра, выбуренных в крепких известняках, – со скоростью 3,76 км/с.

Развитие гранулированных ВВ шло одновременно по нескольким направлениям. В США, Канаде, странах Западной Европы, Японии преимущественное развитие получили гранулированные ВВ простейшего состава, состоящие из гранулированной селитры и дизельного топлива или другого низковязкого минерального горючего. Такие составы благодаря простоте рецептуры и технологии смешивания, а также низкой чувствительности к механическим воздействиям можно изготавливать как на специализированных заводах, так и на горных предприятиях (стационарных установках или в передвижных смесительно-зарядных агрегатах). При этом для заводского изготовления простейших ВВ, подлежащих хранению и транспортированию, применяют пористую селитру с повышенной впитывающей способностью по отношению к минеральному маслу. Так, гранулированная селитра, выпускаемая фирмой «Асахи» (Япония), имеет впитывающую способность 16–17 %. Обычные же сельскохозяйственные сорта селитры удерживают не более 4–8 % низковязкого горючего. Смеси на пористой селитре характеризуются более высокой детонационной способностью, меньшим критическим диаметром.

Гранулированные ВВ простейшего состава (игданиты) разрабатывались и исследовались под руководством академика Н. В. Мельникова и профессора Г. П. Демидюка в ИГД АН СССР. Первые промышленные испытания игданита проведены в 1958 г. Игданит изготавливают на многих горных предприятиях с использованием механизированных стационарных установок и са-

моходных смесительно-зарядных машин. Производство игданита составляет незначительный процент общего количества всех изготавливаемых непродохранительных промышленных ВВ.

Несколько позже был организован промышленный выпуск бестротилового гранулированного ВВ заводского изготовления, названных гранулитом, разработанных под руководством З. Г. Позднякова. Простейший из них гранулит М по химическому составу является аналогом игданита, но вместо дизельного топлива содержит более вязкое соляровое масло и изготавливается на пористой гранулированной селитре. Гранулиты более сложного состава помимо жидкого горючего (солярового, индустриального масел) содержат твердые дисперсные горючие, вводимые в состав ВВ либо как припудривающие добавки (древесная мука), препятствующие стеканию масла с поверхности частиц непористой селитры, либо в качестве высокоэнергетической добавки (алюминиевая пудра). Гранулиты, содержащие алюминий, имеют индекс АС. По энергетическим характеристикам гранулиты марки АС превосходят неметаллизированные ВВ простейшего состава на 17–35 % (теплота взрыва гранулита М и гранулита АС-8 соответственно 3860 и 5250 кДж/кг).

Для придания гранулитам водоустойчивых свойств в их состав вместо жидкого горючего вводят легкоплавкие гидрофобные воски и парафины (методом смешивания гранул селитры с расплавленным углеводородом). В индекс соответствующих водоустойчивых гранулитов добавляют букву «В», например, гранулит АС-4В.

Параллельно с гранулированными ВВ, не содержащими нитросоединений, в СССР развивались тротилсодержащие гранулированные ВВ, более стойкие к воде, чем ВВ простейшего состава.

Первыми советскими высоководоустойчивыми гранулированными ВВ были гранулотол (гранулированный тротил) и алюмотол (гранулированная смесь тротила с алюминиевым порошком), технология изготовления которых разработана совместно работниками науки и промышленности. Их производство освоено в 50-х годах XX в.

Детальное исследование свойств и параметров взрыва этих ВВ в водной среде с определением оптимальных размеров гранул и содержания алюминия в составе алюмотола выполнены Б. Я. Светловым, Р. Н. Солнцевой. В частности, установлено, что эти ВВ, обладающие резко отрицательным кислородным балансом, при взрыве в воде выделяют на 15–18 % больше тепла, чем при взрыве в воздухе, что согласуется с результатами термохимических исследований водосодержащих ВВ, выполненных А. Я. Апиным, Ю. А. Лебедевым и В. И. Пепекиным.

Вследствие исключительно малой растворимости тротила в воде гранулотол можно считать неограниченно водоустойчивым ВВ. Алюмотол обладает несколько меньшей стабильностью, так как алюминий способен взаимодействовать с водой, но в капсулированном состоянии его реакционная способность невелика и алюмотол способен длительное время пребывать под водой без разложения (за исключением сред с высокой щелочностью). Аналогичные гранулотолу и алюмотолу ВВ вскоре стали изготавливать и применять в других странах – пелетол и алюмотол в США, гранатолы в Болгарии и др.

Еще больший тепловой эффект, чем при взрывании в воде, гранулотол и алюмотол дают при взрывании в растворе аммиачной селитры. Это объясняется повышением плотности окружающей заряд жидкой среды, а также тем, что растворенный в воде окислитель способен вступать в экзотермическую реакцию с горючими продуктами взрывчатого превращения тротила. Данные соображения послужили основанием для изготовления механических смесей гранулированной селитры с гранулированным или чешуйчатым тротилом, названных первоначально зерногранулитами, а затем переименованных в граммониты. При погружении таких ВВ в воду селитра полностью или частично, в зависимости от количества воды в скважине, переходит в раствор. Смесей с низким содержанием тротила (граммонит 79/21) могут эффективно применяться только в слабо обводненных скважинах, смеси с более высоким его содержанием – в сильно обводненных, но не в скважинах с проточной водой.

Начиная с 60-х годов граммониты стали одним из основных видов промышленных ВВ для открытых работ, а граммонит

79/21, имеющий нулевой кислородный баланс, применяется также на подземных работах для заряжания минных камер и нисходящих скважин. Дальнейшее совершенствование ВВ данного типа привело к созданию высокоустойчивых гранулированных ВВ – гранитолов с малопористой структурой гранул, из которых селитра вымывается очень медленно.

Другим современным типом промышленных ВВ являются текучие водосодержащие суспензионные ВВ. Это взрывчатые смеси, состоящие из гранулированной аммиачной селитры, тротила и алюминия, пластифицированные водным гелем. Имеются сорта, которые не содержат алюминий или тротил. В последнем случае для обеспечения надежной детонации в них вводят пузырьки воздуха или других газов, а в качестве структурирующей (гелеобразующей) добавки – природные или синтетические полимерные вещества и смолы, набухающие в воде. Образующиеся структуры не только придают составам пластические свойства, но также предотвращают проникновение жидкой воды вглубь состава при его погружении в воду.

Плотность водосодержащих ВВ 1,3–1,5 г/см³. По этому показателю они приближаются к динамитам, но менее чувствительны к механическим воздействиям. Реологические свойства водосодержащих ВВ зависят от содержания в них загустителя. При малом содержании загустителя водосодержащие ВВ подвижны и могут перекачиваться с помощью насосов. Этот тип ВВ получил широкое развитие в США и Канаде в результате исследований М. Кука [6, с. 11]. Водосодержащие ВВ составляют около 10 % от общего количества промышленных ВВ, расходуемых в США и Канаде.

В СССР исследования и разработка этих ВВ была начата в 60-х годах XX в. Параллельно создавались несколько типов водосодержащих ВВ с различными реологическими свойствами.

К водосодержащим ВВ заводского изготовления относятся гранулированные составы, содержащие загуститель и аквани-ты, пластифицируемые водой в процессе пневмозаряжания.

Для приготовления ВВ непосредственно на горных предприятиях Институтом физики Земли АН СССР под руководством Г. П. Демидюка предложены водосодержащие ВВ под на-

званием ифзаниты, которые готовятся смешиванием насыщенного раствора аммиачной селитры, содержащего загуститель, с порошкообразными компонентами (тротилом, гранулированной селитрой). Ленинградским горным институтом под руководством профессора А. Н. Ханукаева разработана технология получения «горячельющихся» акватолов, которые заливаются в скважины в горячем состоянии [14]. При остывании часть селитры в них кристаллизуется. По аналогичной технологии изготавливают водосодержащие ВВ – карбатылы, разработанные Н. А. Анаскиным, содержащие низкоплавкую эвтектическую смесь аммиачной селитры с карбамидом.

В СССР и в других странах гранулированные и водосодержащие ВВ становятся основными типами непреходящих промышленных ВВ.

Как указывалось выше, первые предохранительные ВВ ограничивались по температуре взрыва, что вытекало из тепловой теории антигризутности, родоначальниками которой в 80-х годах позапрошлого столетия были французские ученые Малляр и Ле-Шателье. Этим требованиям отвечали аммиачно-селитренные смеси, причем во многие составы для снижения температуры взрыва вводили невзрывчатые соли, а для сохранения высокой детонационной способности – нитроглицерин.

В 40–50-х годах XX в. работами советских и зарубежных исследователей: К. К. Андреева, А. И. Гольбиндера, Л. В. Дубнова, Е. Одибера выявлено и ингибирующее (тормозящее) действие солей щелочных металлов и некоторых других соединений на реакцию взрывного окисления метана и других природных горючих газов. Эти исследования привели к выводу, что соли-пламегасители, вводимые в состав предохранительных ВВ, предотвращают воспламенение метано-воздушной смеси не только вследствие охлаждения продуктов взрыва, но и в результате своего ингибирующего действия. Отсюда следовал второй вывод о возможности повышения энергетических характеристик предохранительных ВВ или степени их предохранительности путем подбора солей-пламегасителей с наибольшей ингибирующей способностью, определяемой их химической природой и величиной удельной поверхности. На этой теоретической основе

создавались послевоенные предохранительные ВВ (аммониты, углениты, победиты и др.), разработанные Н. С. Бахаревиц, В. С. Васильевой, В. Ф. Старокожевым.

Наряду с классическим типом предохранительных ВВ, о которых сказано выше, в 30–50-х годах XX в. в Западной Европе и Японии широко применялись патроны в предохранительных оболочках. Основная масса солей-пламегасителей выносилась на периферию заряда в виде оболочки. Тем самым достигалась высокая степень антигризутности патронов и вместе с тем сохранялась необходимая детонационная способность, так как внутренняя часть патрона (ядро) не была перегружена невзрывчатыми солями. Применялись оболочки нескольких типов: активная, состоящая из бикарбоната натрия, поваренной соли и нитроглицерина (Германия, Чехословакия), трубчатая, твердая или сыпучая из солей-пламегасителей (Бельгия, Великобритания), пастообразная (Япония).

Под руководством Ф. М. Галаджия в 60-х годах прошлого века созданы патроны в двухстенных полиэтиленовых оболочках, заполняемых раствором аммиачной селитры. Во внутреннюю часть патронов помещалось стандартное предохранительное ВВ, например аммонит ПЖВ-20 (патроны ПВП-1-У) или угленит Э-6 (патроны СП-1). Такие патроны характеризовались высокой предохранительностью, малой горючестью и вместе с тем достаточной эффективностью. Производились в СССР в течение ряда лет. Созданию этих патронов предшествовали широкие исследования явления выгорания (дефлаграции) ВВ в производственных условиях. Они совпали с внедрением короткозамедленного взрывания, что побудило искать между ними причинную связь. Было развернуто и широкое теоретическое изучение этого вопроса. Исследования Ф. М. Галаджия и И. И. Попова, К. К. Андреева и В. Г. Хотина, Л. В. Дубнова и А. И. Романова, Ф. М. Гельфанда с сотрудниками показали, что главной причиной выгорания является потеря детонационной способности заряда, и что в этом случае в замкнутой зарядной камере (шпуре, скважине) при детонационном импульсе возникает горение ВВ. Таким образом, создаются благоприятные условия для выгорания.

Среди рекомендованных мер, направленных на устранение этого опасного явления как источника подземных газовых взры-

вов и пожаров, помимо горнотехнических мер (установления минимально допустимого расстояния между шпурами, тщательной очистки шпуров и др.) реализован ряд мер, связанных с улучшением свойств ВВ. Они сводились к повышению детонационной способности ВВ в уплотненном состоянии, снижению их способности к горению, повышению сопротивляемости динамическим нагрузкам. Реализация этих предложений выразилась, в частности, в создании предохранительного аммонита Т-19 повышенной детонационной способности и повышения качества других предохранительных аммонитов, разработке ряда конструкций сплошных (однопатронных) зарядов, создания невыгорающих патронов в водонаполненных полиэтиленовых оболочках. Кроме того, в методику испытаний введена новая проба на сохранность детонационной способности предохранительных ВВ при динамическом обжати, моделирующая условия одновременного взрывания двух зарядов, – испытание в углецементном блоке.

Во многих угледобывающих странах стали широко применять высокопредохранительные, так называемые селективно-детонирующие ВВ (углениты, ионит, бельгийский шарбрит, немецкие ветер-секюрит и ветер-карбонит, английские юниджекс и дайнаджекс и др.). В состав этих ВВ входят неодинаковые по химической активности компоненты, например нитроглицерин (10–15 %) и смесь хлористого аммония с нитратом натрия. Дополнительное преимущество таких ВВ состоит в том, что при взрыве в результате реакции между твердыми компонентами, например, хлористым аммонием и натриевой селитрой (ионообменная пара солей), выделяется ультрадисперсный хлористый натрий, в таком состоянии обладающий очень сильным ингибирующим (пламегасящим) действием. Принцип селективной детонации используется и в новейших разработках высокопредохранительных ВВ [5, с. 14].

Изучение теории и свойств современных промышленных ВВ необходимо для правильного выбора и их рационального использования в тех или иных конкретных условиях, для дальнейшего усовершенствования самих ВВ.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Бризантные ВВ (БВВ) – это вещества, при взрыве которых совершается работа разрушения и дробления. Основной вид их взрывчатого превращения – детонация.

Бризантность – это способность ВВ дробить, разрушать соприкасающиеся с ним предметы (металл, горные породы и т. п.). Величина бризантности говорит о том, насколько быстро образуются при взрыве газы. С бризантностью напрямую связана характеристика – скорость детонации, т. е. насколько быстро процесс взрыва распространяется по веществу. Измеряется бризантность в миллиметрах. Это условная единица.

Взрыв – это процесс, в котором за короткое время в ограниченном объеме выделяется большое количество энергии и образуются газообразные продукты взрыва, способные совершить значительную механическую работу или вызвать разрушения в месте взрыва. Взрыв может иметь место и при воспламенении и быстром сгорании газовых смесей или взрывчатых веществ в ограниченном пространстве, хотя при этом детонационная волна не образуется. Так, быстрое (взрывное) сгорание пороха в стволе артиллерийского орудия в процессе выстрела не является детонацией. Взрыв характеризуется очень быстрым превращением потенциальной энергии в кинетическую, связанным с внезапным изменением состояния вещества, которое сопровождается, как правило, резким повышением давления, температуры, образованием ударной волны и совершением механической работы (разрушение, перемещение, дробление, выбрасывание).

Взрывное горение – промежуточный режим между горением и детонацией, распространяется по ВВ со скоростью до нескольких сотен метров в секунду.

Взрывчатые вещества (ВВ) – это индивидуальные химические соединения или смеси таких соединений, способные под влиянием какого-либо внешнего воздействия (нагревание, трение, удар, и т. п.) к быстрой, самораспространяющейся химической реакции с выделением большого количества энергии и образованием газов, совершающих главным образом механическую работу разрушения. Они подразделяются на две группы: инициирующие ВВ и бризантные ВВ.

Взрывчатые материалы (ВМ) – ВВ и составы; пороха и ракетные твердые топлива; изделия, содержащие одно или несколько взрывчатых, пиротехнических веществ; средства инициирования, взрывная и прострелочная аппаратура.

Горение – сложный физико-химический процесс превращения исходных веществ в продукты сгорания в ходе экзотермических реакций, сопровождающийся интенсивным выделением тепла. Химическая энергия, запасенная в компонентах исходной смеси, может выделяться также в виде теплового излучения и света. Светящаяся зона называется фронтом пламени или просто пламенем.

Горючие добавки – вещества, содержащие в большом количестве углерод и водород (уголь, древесная мука, жидкие углеводороды), а также алюминий.

Детонация – это режим горения, в котором по веществу распространяется ударная волна, инициирующая химические реакции горения, в свою очередь, поддерживающие движение ударной волны за счет выделяющегося в экзотермических реакциях тепла. Комплекс, состоящий из ударной волны и зоны экзотермических химических реакций за ней, распространяется по веществу со сверхзвуковой скоростью и называется детонационной волной. Фронт детонационной волны – это поверхность гидродинамического нормального разрыва.

Иницирующие ВВ (ИВВ) – это ВВ, легко детонирующие от незначительного теплового или механического воздействия

(удар, трение, огонь, электрическая искра и т. п.). Для них характерен легкий переход от горения к детонации в тех условиях (атмосферное давление, непрочная оболочка или ее отсутствие, малые заряды), в которых такой переход в бризантных ВВ обычно не происходит.

Кислородный баланс – отношение количества атомов кислорода, содержащегося в ВВ, к количеству атомов кислорода, необходимого для полного окисления горючих элементов ВВ до CO_2 , H_2O , называется кислородным балансом (КБ), при этом азот выделяется в виде молекулярного газа N_2 . Различают нулевой, положительный и отрицательный кислородные балансы.

Метательные ВВ – это ВВ, применяемые в качестве метательных средств в огнестрельном оружии, в огнепроводных шнурах, замедлителях и т. п. Основной вид их взрывчатого превращения – быстрое горение. Это разные виды пороха – черный дымный, бездымный пироксилиновый и нитроглицериновый. К ним также относят различные пиротехнические смеси для фейерверков, сигнальных и осветительных ракет, осветительных снарядов, мин, авиабомб.

Окислители – соединения, содержащие в своем составе избыточный кислород, расходуемый на окисление углерода и водорода, которые входят в состав всех компонентов. Окислителями являются аммиачная, калиевая селитры и др.

Пиротехнические составы – это составы, служащие для получения специального эффекта (дымового, светового, зажигающего и т. д.). Основной вид их взрывчатого превращения – горение.

Пламегасители – соли (хлорид натрия, хлорид калия, хлорид кальция) – распространены в качестве пламегасителей для ВВ, используемых в подземных выработках, в которых возможно выделение метана и (или) взрывчатой пыли.

Пороха – твердые смеси различных соединений, способных без перехода в детонацию гореть в широком интервале давлений (1–10 000 атм.). Пороха являются источником энергии для сообщения снарядам, ракетам т. п. необходимой скорости полета к цели.

Скорость распространения фронта детонационной волны относительно исходного неподвижного вещества называется скоростью детонации. Скорость детонации зависит только от состава и состояния детонирующего вещества и может достигать нескольких километров в секунду как в газах, так и в конденсированных системах (жидких или твердых взрывчатых веществах). Скорость детонации значительно превышает скорость медленного горения, которая всегда существенно меньше скорости звука в веществе и не превышает десятков сантиметров в секунду или нескольких метров в секунду (при горении водород-кислородных смесей). Многие вещества способны как к медленному (дефлаграционному) горению, так и к детонации. В таких веществах для распространения детонации ее необходимо инициировать внешним воздействием (механическим или тепловым). В определенных условиях медленное горение может самопроизвольно переходить в детонацию. Детонацию, как физико-химическое явление, не следует отождествлять со взрывом.

Сенсибилизаторы – вещества, повышающие чувствительность взрывчатых веществ к детонационному или механическому импульсу. Ими могут быть взрывчатые и невзрывчатые материалы. Например мощные ВВ, вводимые в смеси для повышения чувствительности к передаче детонации (гексоген, нитроглицерин). В эмульсионных и суспензионных ВВ в качестве сенсибилизаторов часто применяют пузырьки воздуха или другого газа, которые при прохождении по ВВ ударной волны сжимаются, разогреваются и становятся очагами реакции вещества. Пузырьки воздуха вносятся во ВВ либо в процессе смешения компонентов, либо в виде полых микросфер из стекла или полимера. Пузырьки газа могут образовываться во ВВ и в результате разложения одного из компонентов химических веществ.

Стабилизаторы – вещества, вводимые в состав ВВ для повышения химической и физической стойкости и стабильности свойств ВВ. Наиболее распространенными стабилизаторами являются высокомолекулярные вещества, древесная мука, торфяная и жмыховая мука. Водятся в состав ВВ для предотвра-

щения расслоения водонаполненных и слеживания порошкообразных ВВ.

Термический распад – гомогенный процесс, протекающий во всем объеме заряда при данной температуре. Скорость термического распада ВВ измеряется числом молей, реагирующих в единицу времени в единицу объема (моль/(с·см³)). Таким образом, скорость термораспада соответствует данной температуре и одинакова во всех точках объема ВВ. Основные продукты разложения – оксиды горючих элементов (СО, СО₂, Н₂О и др.), азот, альдегиды, кислоты и т. п. Термический распад происходит при нагреве ВВ ниже температуры вспышки. Важное значение при этом имеет баланс подводимого и отводимого тепла (может произойти взрыв).

Тропиловый эквивалент (α) – безразмерная величина, равная отношению массы тринитротолуола (тротила) к массе взрывоопасного вещества, эквивалентных по действию воздушной ударной волны.

Для ВВ значение определяется по соотношению теплоты взрывчатого превращения данного ВВ и тротила, то есть:

$$\alpha = \frac{Q}{1000},$$

где Q – теплота взрывчатого превращения ВВ при воде – паре для плотного (литого, прессованного) состояния ВВ (Ккал/кг); 1000 – значение теплоты взрывчатого превращения прессованного тротила при воде–паре (Ккал/кг).

Его суть заключается в том, что мощность тротила условно принята за единицу (примерно так же, как за единицу мощности машин в свое время была принята мощность одной лошади). А все остальные ВВ сравниваются с тротилом. Проще говоря, сколько надо было бы взять тротила, чтобы произвести такую же взрывную работу, что и данное количество этого ВВ: 100 г гексогена дают тот же результат, что и 125 г тротила, а 75 г тротила заменят 100 г аммонита. ВВ повышенной мощности на 25 % сильнее тротила, а ВВ пониженной мощности на 20–30 % слабее тротила.

Флегматизаторы – вещества (жидкие, твердые или порошкообразные), применяемые в качестве примеси к взрывчатому веществу для снижения чувствительности к внешним воздействиям (удару, трению, искре и т. д.). Чаще всего это легкоплавкие углеводороды, которыми обволакиваются частицы ВВ, что приводит к снижению чувствительности к тепловому и инициирующему импульсам, увеличению водостойкости, улучшению прессуемости и пластичности (парафин, вазелин, церезин и др.)

Фугасность – работоспособность ВВ, способность продуктов взрыва производить работу при расширении в окружающей среде, разрушить и выбросить из области взрыва окружающие материалы (грунт, бетон, кирпич и т. п.). Эта характеристика определяется количеством образующихся при взрыве газов. Чем больше образуется газов, тем большую работу способно выполнить данное ВВ. Единица измерения фугасности – см³. Это тоже достаточно условная величина.

Чувствительность ВВ к механическим воздействиям – это способность ВВ к взрывчатым превращениям под влиянием внешних воздействий (удар, трение). Эта характеристика является важнейшей в плане безопасного изготовления и применения ВВ.

Р а з д е л ІІІ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

ВВ являются концентрированными источниками энергии, поэтому применяются в различных отраслях народного хозяйства, в военном деле, служат предметом международной торговли, что способствует увеличению роста их производства, поэтому знание основных параметров и свойств ВВ необходимо при их производстве и применении.

Известно большое количество химических соединений, способных к взрывчатым превращениям. Однако производят в промышленном масштабе лишь те из них, которые удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к ВВ, а именно:

имеющие достаточный запас потенциальной энергии, обеспечивающий выполнение необходимой работы (разрушение, метание и др.);

обладающие пределом чувствительности к внешним воздействиям, обеспечивающим безопасность обращения с ними и безотказное действие при использовании;

способные в течение длительного времени сохранять в определенных пределах физико-химические, механические и взрывчатые свойства;

исходное сырье для производства доступно в больших количествах. В настоящее время, благодаря развитию нефтехимии и органического синтеза, многие ВВ имеют широкую сырьевую базу [3, с. 6].

Все ВВ характеризуются физико-химическими, физико-механическими и взрывчатыми свойствами (рис. 1). Однако при их получении, эксплуатации и хранении на первый план выступают такие свойства, как **чувствительность и стойкость**.



Рис. 1. Классификация общих свойств ВВ

Эффективность и безопасность применения промышленных ВВ зависит не только от их взрывчатых характеристик, но и от физико-химических свойств, таких как химическая и физическая стабильность, водоустойчивость, увлажняемость, пластичность, текучесть, сыпучесть и ряд других.

Химическая и физическая стабильность определяют сохранность взрывчатых и эксплуатационных характеристик ВВ в течение гарантийного срока их использования, а также температурные режимы безопасной переработки, хранения и применения ВВ; реологические и физико-механические свойства – пригодность данного вида ВВ к механическим способам транспортирования и заряжания; увлажняемость – требования к упаковке; водоустойчивость – возможность применения ВВ в обводненных забоях и т. д. [5, с. 187].

При разработке, изготовлении, хранении, транспортировании, применении взрывчатых веществ и изделий на их основе обязательны для исполнения требования, установленные в техническом регламенте Таможенного союза 028/2012 [46] и ГОСТ 15.109 [18]. В данных документах указаны перечень показателей, необходимых для оценки безопасности взрывчатых веществ при их изготовлении и применении и определена система разработки и постановки на производство промышленных ВМ.

При сообщении ВВ извне определенного количества энергии часть молекул его получает избыток энергии. Минимальное количество энергии, которое надо сообщить молекулам, чтобы произошла реакция между ними, **называется энергией активации**. Минимальное количество энергии, достаточное для возбуждения взрывного превращения, служит мерой чувствительности ВВ к внешнему воздействию. Внешнее воздействие принято **называть начальным импульсом**. В качестве начального импульса могут выступать различные формы энергии: тепловая, механическая, электрическая и энергия взрыва. Поэтому начальный импульс делят на:

- тепловой;
- механический;
- электрический;
- взрывной.

Тепловой начальный импульс сообщается ВВ в виде нагрева, либо луча пламени. Параметром, в определенной мере характеризующим устойчивость ВВ к нагреванию или мерой чувствительности ВВ к тепловому начальному импульсу является **температура вспышки**. **Температурой вспышки ВВ** называется минимальная температура, до которой должно быть нагрето ВВ для его химического превращения со скоростью, достаточной для получения звукового эффекта и пламени [4, с. 35].

Однако процессы термического разложения начинаются при заметно меньших температурах, поэтому допустимая температура использования ВВ (термостойкость) заметно ниже, чем температура вспышки.

Мерой термической устойчивости ВВ обычно служит так называемый **вакуум-тест**. Навеску ВВ (1 или 5 г) помещают в емкость, из которой откачивают воздух. Вещество термостатируют при определенной температуре (обычно 120 °С) на протяжении 22, 40 или 48 ч (табл. 1). Затем измеряют объем выделившегося газа.

Более современным подходом является дифференциально-термический анализ (DTA), комплексно отражающий фазовые переходы, температуры эндотермических и экзотермических превращений во всем диапазоне температур. Измерение проводят в специальном приборе, сравнивающим температуры ВВ и температуру термостатирования. Результатом измерения является DTA-термограмма.

Используют также величины $t_{\text{нтр}}$ – температура начала разложения и $t_{\text{нпр}}$ – температура начала интенсивного разложения.

Таблица 1. Вакуум-тест и температура вспышки некоторых ВВ [45; 11, с. 25]

Взрывчатые вещества	Стабильность в вакууме, мл				Температура вспышки, °С		
	100, °С 5 г/40 ч	120, °С 5 г/40 ч	120, °С 1 г/48 ч	120, °С 0,25 г/22 ч	0,1 с	5 с	10 с
Октоген	0,37	0,45	0,07	<0,01	380	327	306
Азид свинца	1,0	0,07	<0,4	–	396	340	335
Стифнат свинца	0,4	0,3	<0,4	–	–	282	276
НЦ* (12,0 %N)	1,0	11 + (16 ч)	5,0	1,0–1,2	–	–	–
Нитрогуанидин	0,37	0,44	–	0,02–0,05	–	275	–
ТЭН	0,5	11 + (16 ч)	–	0,10–0,14	272	225	211
Гексоген	0,7	0,9	0,12	0,02–0,025	405	260	240
Тетрил	0,3	1,0	–	0,036	340	257	238
Тротил	0,1	0,23	0,005	0–0,012	570	475	465
Гремучая ртуть	–	–	–	–	263	210	199
Черный порох	–	–	–	–	510	427	356
Пентолит 50:50	–	–	–	–	290	220	204
ЭДНА	–	–	–	–	265	189	178
Азид серебра	–	–	–	–	310	290	–

* Нитроцеллюлоза.

Механический начальный импульс может быть подан в виде удара, трения, либо накола (для инициирующих ВВ). Согласно всем выдвинутым ранее гипотезам, большинство ВВ при ударе и трении возбуждаются по тепловому механизму. При минимальном механическом начальном импульсе возникают локальные участки разогрева, в которых происходит воспламенение, переходящее в горение, быстро ускоряющееся до скорости взрывного превращения. Для возбуждения взрыва необходимо, чтобы продолжительность механического воздействия, определяющая время разогрева локального участка ВВ, была больше времени задержки. Знание механизма возбуждения взрыва с помощью механического начального импульса позволяет правильно решать вопросы применения ВВ и обращения с ними. Чувствительность ВВ к механическому начальному импульсу определяется опытным путем и показывает способность ВВ к взрывчатым превращениям под влиянием внешних воздействий. Полученные опытным путем данные используют для оценки ВВ с точки зрения безопасного обращения с ними и безотказность их действия [4, с. 39].

Чувствительность к механическим воздействиям (удар, трение) является важнейшей характеристикой в плане безопасного изготовления и применения ВВ [45; 11, с. 23].

Чувствительность ВВ к удару определяют по ГОСТ 4545 [22] на лабораторном копре. Испытание заключается в том, что на навеску ВВ (0,05 г), заключенную в специальный прибор, сбрасывают с некоторой высоты груз определенного веса (от 2 до 10 кг).

При ударе навеска ВВ сжимается между роликами, а затем, если есть возможность, вытекает в окружающее пространство. Локальные очаги разогрева, приводящие к взрыву навески, могут возникать главным образом при течении ВВ в результате внутреннего трения. О том, произошел ли взрыв от удара или нет, судят по звуковому эффекту, появлению пламени или дыма или по обугливанию навески при ударе. Существует несколько методов оценки чувствительности ВВ по результатам опытов на копре. Чаще пользуются определением частоты взрывов из 25

и более испытаний при сбрасывании груза весом 2 и 10 кг с высоты 50–500 мм на лабораторном копре.

Результаты испытания на копрах не всегда однозначно характеризуют степень опасности обращения с тем или иным ВВ. Некоторые ВВ имеют повышенную чувствительность к удару, но вместе с тем характеризуются пониженной восприимчивостью к инициированию взрывом. Алюмотол, например, чувствителен к удару на копре, но в гранулированном виде он не взрывается от КД № 8 [10, с. 43].

При измерении чувствительности к удару часто пользуются понятиями **верхний** и **нижний предел**. Верхний предел – это минимальная высота падения груза, при котором наблюдается взрыв 100 % образцов данного ВВ. Нижний предел – это максимальная высота падения груза при которой ВВ не срабатывает в 100 % случаев из всего количества испытаний.

Установки и методы для измерения чувствительности к удару и трению могут заметно отличаться, к тому же сложно учитывать состояние ВВ, механические и термические способы обработки ответственных частей копров. Например, даже на установках одинаковой конструкции и при проведении нескольких десятков испытаний расхождение может достигать 5–10 %.

Естественно, при определении всех вышеуказанных параметров величины могут изменяться в довольно широких пределах (до ± 15 %) в зависимости от событий случайного характера. Поэтому результатом испытания является средняя величина, полученная при определенном количестве подрывов [45; 11, с. 23].

Чувствительность ВВ к удару зависит от температуры, плотности, физического состояния и наличия во ВВ тех или иных примесей. Как правило, с повышением температуры чувствительность ВВ к удару растет. Испытания на копре характеризуют лишь вероятность возникновения при ударе локальных очагов взрывчатого разложения и распространения этого разложения на объем вещества, подвергнувшийся сжатию и разогреву ударом. Увеличение плотности ВВ обычно ведет к снижению чувствительности к удару. Понижает чувствительность к удару пластичных ВВ увеличение вязкости желатинированием, что связано с удушением их детонационной способности.

У некоторых вторичных порошкообразных ВВ с уменьшением размера частиц можно заметить повышение чувствительности к удару, а у водонаполненных – понижение.

Инертные добавки в составе ВВ могут повышать чувствительность к удару (сенсбилизаторы) или понижать ее (флегматизаторы). Сенсбилизаторами чаще всего являются песок, мелкие куски породы, металлические стружки, мелкие осколки стекла и прочие засоряющие ВВ материалы. Тротил в чистом виде при испытании на чувствительность к удару дает около 20 % взрывов, а при загрязнении 5 % песка – 100 %. В связи с этим к ВВ обычно предъявляют строгие требования в отношении их чистоты и минимального содержания нерастворимых примесей и кремнезема. Для всех выпускаемых промышленных ВВ эти показатели строго регламентированы.

Сенсбибилизирующее влияние примесей объясняется тем, что включение твердых веществ во ВВ способствует при ударе концентрации энергии на твердых частицах и их острых гранях и создает условия возникновения локальных горячих очагов.

Инертные примеси с низкой температурой плавления в составе ВВ способствуют уменьшению чувствительности ВВ, так как значительная часть энергии удара в этом случае расходуется на плавление примеси.

Чувствительность ВВ к трению. В практике обращения со ВВ механическое воздействие на них чаще всего оказывается в виде трения. Трение может возникнуть, например, при транспортировании ВВ или при патронировании на производстве, а также при разбурировании отказавших шпуров, при попадании ВВ в трущиеся части машины во время механизированного заряжения скважин и т. д.

При испытании на чувствительность к удару возникновение взрыва связано с внутренним трением ВВ. Чаще всего чувствительные к удару ВВ оказываются чувствительными и к трению. Но некоторые ВВ «очень малой текучести» могут оказаться нечувствительными к удару, между тем трущий удар, при котором движение ВВ вызывается не выдавливанием, а принудительным сдвигом, может обнаружить высокую чувствительность таких ВВ.

Поэтому испытания на чувствительность к удару целесообразно дополнять испытанием ВВ на чувствительность к трению [10, с. 49] по ГОСТ Р 50835 [23].

В некоторых приборах при испытании на чувствительность к трению воздействие на ВВ осуществляется боковым ударом маятника по одному из роликов, между которыми зажата навеска ВВ. Эти результаты в общем согласуются с чувствительностью ВВ к удару.

За характеристику чувствительности, называемую нижним пределом, принимают максимальную нагрузку (величина прижатия навески p – МПа), при которой не происходит взрыв в ряде последовательных испытаний. Результаты испытаний по указанным методам необходимы для оценки безопасности ВВ в обращении (табл. 2).

Таблица 2. Чувствительность к удару и трению промышленных ВВ и изделий на их основе по результатам лабораторных испытаний в РКП «ЦУАИБ»

Взрывчатые вещества и изделия на их основе	Чувствительность к удару ГОСТ 4545, нижний предел не менее, мм	Чувствительность к трению ГОСТ Р50835, нижний предел давления прижатия, не менее, МПа
Альгетол 35	500	294
Гранипор БП-1	100	200
ЗГСЛШ-70–1000	100	200
Нитротол	100	200
Нитронит Э-50, Э-70	500	931
Нитробел	500	931,6
Тротил-УД	400	686,5
Шашки-детонаторы ПТУ-1000Л	100	200
Эмульсен – ГА марка 1	500	350
Эмульсен-ГАП	100	215,8

Электрический начальный импульс подают на ВВ, используемые в электрических средствах инициирования, путем накала металлической проволоки – мостика, электрической искры или электроразрядом. При накале металлической проволоки-мостика механизм возбуждения взрыва подобен тепловому.

При возбуждении взрыва электрической искрой наблюдается совместное действие нагрева и удара.

Происходит механизм возбуждения взрыва при пропускании электрического разряда через проволоку-мостик, запрессованную в заряд ВВ, и электрический взрыв мостика, сопровождающийся испарением металла и образованием ударной волны. В результате совместного воздействия удара и сильного разогрева ВВ взрывается.

Тепловой, механический и электрический начальные импульсы называют еще простыми импульсами. Как правило, они служат для возбуждения взрыва ВВ.

Взрывной начальный импульс подают на ВВ, используемые в снарядах, бомбах, минах и т. д., т. е. на БВВ. Восприимчивость ВВ к взрывному начальному импульсу характеризуется предельным инициирующим зарядом, под которым понимается минимальный заряд ИВВ, обеспечивающий полную детонацию определенного количества ВВ. На его величину влияют свойства БВВ и ИВВ, плотность и температура зарядов ИВВ и БВВ [4, с. 44].

Стойкостью называется способность ВВ сохранять в течение длительного времени физические, химические, а следовательно, и взрывчатые свойства.

Физическая стойкость характеризуется склонностью ВВ к изменению физических свойств: структуры, прочности, формы, размеров и т. д. Так, неочищенный тротил, содержащий примеси, при температуре хранения 35 °С выделяет тротиловое масло – легкоплавкую смесь ди- и тринитротолуола, что приводит к разрыхлению заряда. Аммотолы при хранении слеживаются, что сопровождается изменением формы и размера заряда. Следовательно, это вещества физически нестойкие, но стойкие химически.

Химическая стойкость – это способность ВВ сохранять при длительном хранении химический состав и химические свойства без изменения. Так, пироксилиновые пороха со временем теряют летучий растворитель, что сопровождается изменением структуры. Кроме того, в них происходят химические пре-

вращения, которые могут привести к самовоспламенению. Поэтому пироксилиновые пороха считают физически и химически не стойкими. Есть ВВ стойкие как физически, так и химически, они не изменяются при долгосрочном хранении. К ним относится наиболее широко используемое в народном хозяйстве и военном деле взрывчатое вещество – очищенный тротил [4, с. 45].

В основе теории химической стойкости лежит учение о термическом распаде ВВ, т. е. его медленное химическое разложение. Оно протекает во всей массе ВВ при температуре окружающей среды. Как правило, термический распад большинства ВВ при нормальной температуре незначителен. С ростом температуры его скорость возрастает. Если в ходе термического распада ВВ образуются продукты (оксиды азота, азотная кислота и т. п.), увеличивающие его скорость, т. е. служащие катализаторами, то процесс будет самоускоряющийся – автокаталитический. Скорость самоускоряющейся реакции ВВ зависит от их химического строения, наличия примесей и внешних условий. Менее стойкими ВВ являются нитросоединения, в которых атомы углерода в углеводороде связаны с нитрогруппами через кислород. Различные примеси влияют на химическую стойкость ВВ по-разному. Так, оксиды азота, выделяющиеся при разложении ВВ, образуют с влагой азотную и азотистую кислоты, которые ускоряют процесс разложения. А такие добавки, как дифениламин и другие, связывают окислы азота и замедляют разложение ВВ. Эти вещества являются стабилизаторами.

Из внешних условий на химическую стойкость сильно влияет температура, при которой хранятся ВВ. С ростом температуры увеличивается скорость разложения ВВ, а следовательно, понижается их химическая стойкость.

Химическую стойкость различных ВВ находят опытным путем при повышенных температурах [2, с. 43]. Определение химической стойкости бездымных порохов проводят по ГОСТ 11857 [21] методом лакмусовых проб при температуре термостатирования 106,5 °С.

Критический диаметр заряда – при иницировании детонации в цилиндрических зарядах посредством стандартного им-

пульса, для каждого ВВ, в зависимости от условий упаковки, существует так называемый **предельный диаметр заряда**. С уменьшением диаметра заряда ниже предельного, увеличиваются потери в окружающую среду, и скорость детонации уменьшается, так что при величине диаметра, меньше некоторого, **критического**, не удастся получить процесса устойчивой детонации [45; 11, с. 11].

Плотность ВВ – величина плотности имеет исключительную важность. Более того, большинство параметров ВВ, такие как бризантность и скорость детонации не имеют наглядности без указания плотности, при которой происходит измерение.

Различают плотность насыпную, получающуюся при уплотнении ВВ под действием собственного веса и **плотность монокристалла** (максимальная или рентгеноструктурная плотность). Это величина, которую определяют методом рентгеноструктурного анализа. Монокристалл не содержит дефектов, поэтому полученная величина является максимально возможной.

Некоторые вещества могут иметь несколько полиморфных модификаций, отличающихся упаковкой молекулы и, поэтому, имеющих разные плотность монокристалла и ряд других параметров. Так, например, для октогена известно 5 полиморфных модификаций, из которых для практического применения пригодна только одна.

Кристаллы вещества в массе содержат определенное количество дефектов и включений, поэтому плотность, измеряемая при помощи пикнометра и подобных лабораторных методов меньше рентгеноструктурной.

Плотность реально применяющихся ВВ всегда ниже максимальной. С помощью различных методов прессования (например, с помощью растворителей и приложения сверхвысоких давлений) ее можно приблизить к максимальной, однако всегда существует **точка перепрессовки**, когда прилагаемое давление уже практически не влияет на плотность ВВ, а в полученной шашке ВВ возникают трещины (табл. 3). При добавлении воскоподобных веществ и флегматизаторов прессуемость улучшается за счет уменьшения трения между частицами при запрессовке.

Таблица 3. Прессуемость различных ВВ

Взрывчатые вещества	Приложенное давление, kpsi						Плотность кристалла, г/см ³
	3	5	10	12	15	20	
Пикрат аммония	1,33	1,41	1,47	1,49	1,61	1,64	1,72
Гексоген	1,46	1,52	1,60	1,63	1,65	1,68	1,82
ЭДНА	–	1,39	1,46	–	1,51	1,55	1,71
Азид свинца	2,46	2,69	2,98	3,05	3,16	3,28	4,68
Стифнат свинца	2,12	2,23	2,43	2,47	2,57	2,63	3,10
ТЭН	–	1,48	1,61	–	–		1,77
ТНФ	1,40	1,50	1,57	1,59	1,61	1,64	1,76
Тетрил	1,40	1,47	1,57	1,60	1,63	1,67	1,73
Тротил	1,34	1,40	1,47	1,49	1,52	1,55	1,65

В настоящее время плотность для еще не полученных ВВ обычно прогнозируют при помощи квантовых расчетов с применением численных методов на компьютерах. Плотность промышленных ВВ определяют по ГОСТ 14839.18 [38].

Скорость детонации – это установившаяся постоянная скорость перемещения детонационной волны во ВВ. Для большинства твердых ВВ находится в пределах 3–9 км/с. На практике существует множество способов ее измерения, работающих на разных физических принципах. Скорость детонации также может быть вычислена при помощи различных методов, дающих более или менее удовлетворительные результаты.

Более точно скорость детонации можно рассчитать с применением такого условного параметра, как характеристическая скорость. Расчет можно вести при любой плотности. Этим способом также рассчитывают скорость детонации смесевых ВВ, и ВВ, содержащих инертные компоненты.

Теплота образования и энтальпия образования – термодинамические величины, указывающие какую энергию нужно затратить на образование определенного количества вещества из простых веществ при постоянном объеме (теплота образования) и постоянном давлении (энтальпия образования). При этом исходными условиями образования являются температура 298 К и давление 1 бар. Обычно определяют при сжигании вещества

и определения его теплоты сгорания в калориметрической бомбе. Затем производят расчет полученной теплоты сгорания и теплоты образования продуктов сгорания. В целом чем более положительны эти величины, тем больше теплота взрыва вещества при прочих равных условиях. При разработке новых индивидуальных ВВ теплоте образования уделяют самое пристальное внимание, так как возможности увеличения энергетики ВВ за счет приближения кислородного коэффициента к 1 уже давно исчерпаны.

Теплота взрыва определяет суммарный тепловой эффект первичных химических реакций, протекающих во фронте детонационной волны и вторичных равновесных реакций, происходящих при адиабатическом расширении продуктов взрыва после завершения детонации.

Энергия, генерируемая при взрыве, выделяется за счет разницы внутренних энергий конечных продуктов взрыва и внутренней энергии исходного ВВ.

Экспериментальное определение теплоты взрыва производят в калориметре (стальная бомба объемом от нескольких см³ до 50 л). Перед опытом в калориметрической бомбе откачивают воздух. На практике теплота взрыва определяет общую работоспособность ВВ (фугасное действие, а также многие детонационные свойства). Теплота взрыва каждого индивидуального ВВ не является его строгой константой, а варьируется в некоторых пределах и зависит от условий расширения продуктов взрыва, размеров заряда ВВ, а также его начальной плотности, при этом диапазон изменения будет тем больше, чем больше кислородный баланс данного ВВ будет отличаться от нулевого. Различают теплоту взрыва, в случае если вода находится в виде пара (низшая) или с учетом конденсации воды в жидкость (высшая). При этом случай, когда вода находится в виде пара, более соответствует реальным условиям взрыва.

Бризантность – это способность ВВ производить дробление среды в непосредственной близости к заряду (до 2,5 радиуса заряда), зависит главным образом от плотности ВВ и скорости детонации. Бризантность чаще оценивают косвенными методами –

путем измерения импульса взрыва по степени обжатия свинцового цилиндра, медного крешера или по отклонению баллистического маятника. В современной практике зачастую используется метод определения бризантности по **выбоине в стальной пластинке** (табл. 4).

Таблица 4. Сводные характеристики некоторых ВВ

Взрывчатые вещества	Плотность, г/см ³	Выбоина в стальной пластинке, мм	Скорость детонации, м/с
Октоген	1,81	7,82	8773
Гексоген	1,73	7,71	8489
ТЭН	1,72	7,56	8142
Тетрил	1,69	6,48	7573
ТАТБ	1,82	5,87	7539
Нитротриазолон	1,775	5,72	7959
Гексоген/полибутадиен 85:15	1,57	5,72	7897
Аминонитрогуанидин	1,61	5,59	8522
ТНТ	1,60	5,51	6913
ДИНА	1,62	–	7713

Для этого 20 г ВВ запрессовывают в цилиндрическую медную оболочку диаметром 19 мм и ставят на квадратную пластину из мягкой стали. Заряд ВВ подрывают при помощи 5 г заряда тетрила. По глубине или объему выбоины судят о бризантности ВВ. Существуют различные вариации метода.

В данном случае «выбоина в стальной пластинке» – оценка бризантности при подрыве цилиндрического заряда 35×100 мм при помощи вторичного детонатора. Измеряется глубиной выбоины в стальных пластинах. Скорость детонации находилась для цилиндрических зарядов 16×145 мм (25×250 мм для низкочувствительных ВВ).

Определение бризантности ВВ проводят по ГОСТ 5984 [25], устанавливающему различные методы испытаний. Наиболее распространен метод измерения бризантности **по Гессу** (табл. 5) – обжатие свинцового цилиндра (рис. 2). Установка состоит из толстой стальной пластины (I), на которой в вертикальном положении закреплен свинцовый цилиндр длиной 60 мм, диаме-

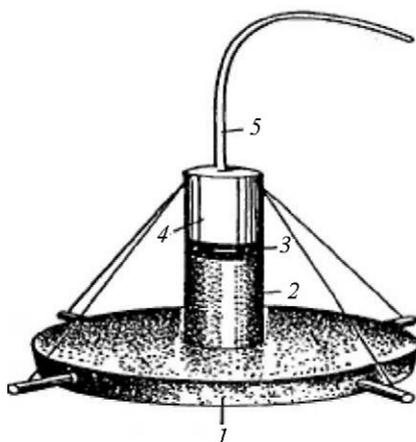


Рис. 2. Бризантометр Гесса

тром 40 мм (2). На цилиндр через более тонкую стальную пластинку (3) установлен заряд ВВ (4), 40 мм диаметром со стандартным детонатором № 8 (используемый в испытаниях детонатор № 8 старого образца содержит 0,5 г гремучей ртути и 1,0 г тетрила). Для измерения бризантности ВВ нормальной мощности (тротил, тринитробензол и т. п.) применяют заряд массой 50 г, для высокобризантных ВВ (ТЭН, гексоген) – 25 г (иначе происходит разрушение свинцового цилиндра). Взрыв инициируют при помощи огнепроводного шнура (5). Чтобы получать совместимые результаты, испытания обычно проводят при одинаковой плотности. Величина бризантности, измеренной по этому методу, обычно находится в пределах 7–30 мм.

Бризантность по Касту (обжатие медного крешера) – принципиально аналогичен пробе Гесса. В этом случае импульс взрыва через металлическую прокладку действует на массивный стальной поршень, который сплюсчивает небольшой медный крешер (табл. 5).

Метод **песочной пробы** – заряд ВВ, обычно 0,4 г запрессовывается в корпус капсуля-детонатора № 6 под давлением 20,7 МПа. Капсюль помещается в стальную бомбу, наполненную песком с определенной фракцией зерна, и инициируется с помощью огне-

Таблица 5. Взрывчатые свойства некоторых ВВ

Взрывчатые вещества	Чувствительность к удару ¹ , см	Фугасность, мл	Бризантность ² , мм		III г песка.
			I	II	
Гремучая ртуть	2 (3)	110	I	II	17,9–23,4
Азид свинца	3 (4)	110	–	–	13,8–15
Нитроглицерин	4–5	до 590	22 (1,6)	25 (25 г) ³	51,5 (ТНТ-43)
Нитроглицоль	20	620	22 (1,5)	–	55,5 (ТНТ-43)
Пироксилин	20	375	–	–	45 (ТНТ-48)
ТЭН	25 (10–17)	500	–	16 (25г)	62,9 (ТНТ-48)
Гексоген	35	480	24 (1.7)	18 (25г)	59 (ТНТ-48)
Тетрил	40	340	21 (1.6)	19 (50г)	54,2 (ТНТ-48)
Тротил	80 (100)	285	20 (1,6)	16 (50 г)	43–48
Аммонит № 6	80	до 400	13 (1,0)	15 (50 г)	–
Аммонит № 8	90	240	11 (1,0)	–	–
Альгетол-35	50	362	19 (1,0)	–	–
Дымный порох	90–110	–	–	–	–
Бездымный порох	60–90	–	–	–	–

¹ Определена по высоте, падая с которой груз массой 2 кг вызовет взрыв с 50 %-ной вероятностью. В скобках указаны данные из других источников.

² **I** – Обжатие свинцового цилиндра по Гессу, заряд 20 г при указанной плотности г/см³. **II** – стандартный по Гессу заряд 50 г при 1,0 г/см³. **III** – бризантность по песочной пробе.

³ Жидкий нитроглицерин плотностью 1,6 г/см³, другие ВВ испытаны при 1,0 г/см³, поэтому величина бризантности получена большей, чем у гексогена.

проводного шнура. Определяют массу раздробленного песка, прошедшего через сито. Если ВВ не инициируется от огня, то дополнительно к заряду подпрессовывается 0,3 г азид свинца и бризантность измеряется с вычетом массы песка, раздробленной при взрыве капсюля с 0,3 г азид свинца. Проводят 5 испытаний и определяют среднюю величину. Однако в целом величина бризантности по песочной пробе из-за малого размера используемых зарядов дает заниженные величины в случае использования маловосприимчивых бризантных ВВ типа тротила и т. п.

Бризантность индивидуальных ВВ может быть оценена, по формуле:

$$B = V^2 - p,$$

где V – скорость детонации; p – соответствующая скорости детонации плотность. Или по формуле Каста:

$$B = V - p - Q,$$

где Q – теплота взрыва. Однако эти формулы справедливы для подобных в химическом отношении ВВ, отражая только общие закономерности и часто имеют значительные расхождения с практикой, так как по ним невозможно учесть свойства продуктов взрыва.

Фугасность (работоспособность по методу Трауцля) – способность продуктов взрыва ВВ производить работу при расширении, зависит главным образом от теплоты взрыва, объема и состава выделившихся при взрыве газов. Измеряется, например, подрывом стандартного заряда (10 г) в свинцовой бомбе Трауцля (рис. 3) посредством детонатора № 8, и равна увеличению объема бомбы после взрыва, за вычетом расширения от детонатора (примерно 30 мл). Бомба представляет собой литой свинцовый цилиндр 200×200 мм с отверстием диаметром 25 мм и глубиной 115 мм. Перед испытанием свободное пространство канала заполняют песком (песчаная забойка), реже водой (водяная забойка). Величины фугасности для различных ВВ приведены в табл. 5.

Работоспособность (мощность) в баллистической мортире. Метод определения эффективности ВВ при подрыве заряда в специальной баллистической мортире. Метод распространен главным образом в англоязычных странах. В массивной сталь-

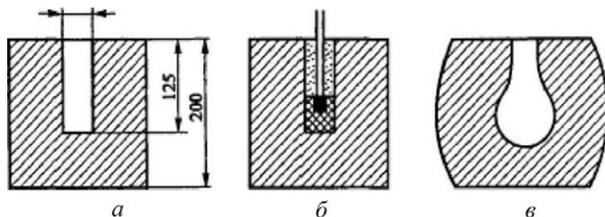


Рис. 3. Свинцовая бомба Трауцля. Схема по определению фугасности ВВ: *а* – бомба до снаряда; *б* – снаряженная бомба; *в* – бомба после взрыва

ной мортире, подвешенной в виде маятника, имеется взрывная камера, в которую помещают заряд испытуемого ВВ массой 10 г, и расширительная камера, в которую перед взрывом помещается поршень – снаряд. По отклонению мортиры оценивают эффективность ВВ относительно какого-либо стандартного ВВ, например тротила. Определение фугасности ВВ проводят по ГОСТ 4546 [24], устанавливающему основные методы проведения испытаний.

Метательная способность ВВ – это величина, характеризующая способность к метанию металлических пластин или оболочки продуктами взрыва ВВ. На практике имитирует эффективность ВВ в кумулятивных зарядах и в осколочных боеприпасах и поэтому несет гораздо большую практическую информацию, чем, к примеру, бризантность. В настоящее время метательная способность – основной параметр при оценке эффективности новых ВВ. Оценивается, как правило, в процентах от какого-либо стандартного ВВ, например октогена или ТГ. Наибольшее распространение на практике получили следующие методы:

1. Метод **баллистического маятника** – прямое измерение импульса взрыва. Заряд ВВ находится в непосредственном контакте с наконечником маятника. Определяют отклонение или скорость маятника.

2. Метод **торцевого метания** пластин – определяется скорость метания с торца металлической пластины при подрыве ВВ в толстостенном цилиндре.

3. Метание **цилиндрической оболочки** (цилиндр-тест, отечественный аналог – Т-20) – определяется скорость (W) или удельная величина кинетической энергии ($W^2/2$) цилиндрической медной оболочки заряда при данной степени расширения V/V_0 , т. е. отношения объема продуктов детонации к объему ВВ.

Метательная способность, по сути, является более современным аналогом бризантности, ее можно использовать непосредственно для предсказания эффективности осколочного или кумулятивного действия конкретных боеприпасов, тогда как бризантность показывает лишь дробящее действие ВВ относительно друг друга. Хотя в целом эти понятия тождественны и связаны.

Объем продуктов взрыва – объем газообразных продуктов взрыва 1 кг ВВ, взорванного в специальной бомбе. Эта величина с определенной степенью погрешности может быть подсчитана теоретически. В условиях сверхвысоких давлений имеют место реакции:



в результате чего, объем продуктов взрыва ВВ может заметно изменяться, при изменении плотности заряда ВВ. Это справедливо даже для ВВ, имеющих кислородный баланс близкий к 1 (например ТЭН).

Тропиловый эквивалент – это величина, основанная на действии взрыва относительно взрыва определенной массы стандартного ВВ – тротила. На данный момент тротиловый эквивалент имеет несколько определений:

1. Для промышленных ВВ – показатель способности выбрасывать породу по сравнению с тротилом.

2. Для фугасных и термобарических боеприпасов – масса тротила, создающая на заданном расстоянии такое же давление или импульс, как при взрыве 1 кг испытуемого ВВ. Эта величина является современным аналогом параметра «фугасность», позволяющая моделировать и оценивать поражающее действие взрывной волны при проектировании конкретного боеприпаса. Фугасность же показывает относительную работоспособность ВВ друг относительно друга.

3. При приблизительной оценке действия взрыва саперами и криминалистами – масса тротила эквивалентная по бризантному действию, взорванному ВВ. Однако такой способ оценки не вполне корректен, так как основан на субъективных факторах. На практике же при взрывных работах поступают следующим образом: при расчетах используют ВВ нормальной мощности (тротил, пикриновая кислота, пластит), в случае ВВ пониженной мощности (аммониты) количество ВВ увеличивают на 25 %, а в случае ВВ повышенной мощности (гексоген, окфол) уменьшают на 25 % [45; 11, с. 15].

Токсичность. Наконец, подавляющее большинство ВВ обладают более или менее выраженной токсичностью, что должно всегда учитываться при производстве взрывчатых и пиротехнических материалов (табл. 6). Например, тротил раньше считался нетоксичным веществом. Но во время Первой мировой войны при производстве только одного тротила в США было зафиксировано более 17 тысяч случаев отравления, из которых 475 оказались смертельными. Благодаря принятым мерам количество отравлений во время Второй мировой войны исчислялось уже несколькими десятками.

Таблица 6. Предельно допустимая концентрация (ПДК) некоторых ВВ

Взрывчатые вещества	Кожный контакт	ПДК за рабочую смену, (8 ч) мг/м ³	ПДК разовая (15 мин), мг/м ³
Нитроглицерин	+	–	0,1
Нитроцеллюлоза	–	15	–
ТЭН	+	–	0,1
Тротил	+	0,1	0,5
Динитротолуол	+	1,5	–
Пикрат аммония	+	0,1	0,3
Пикриновая кислота	+	0,1	–
Гексоген	+	1,0	–
Октоген	+	1,0	–
Тетрил	+	1,5	–
Азид свинца	–	50 мкг/м ³ (свинец)	–
Стифнат свинца	–	50 мкг/м ³ (свинец)	–
Гремучая ртуть	+	–	0,1 (ртуть)

Так как большинство ВВ являются нитросоединениями, для них характерны действия на организм и отравления, свойственные для нитросоединений, а именно:

1. Дерматозы – экземы и другие поражения кожи, вызванные непосредственным контактом. Эти типы воздействий свойственны для ароматических нитросоединений.

2. Метгемоглобинемия – повышение содержания метгемоглобина в крови. Характерно для подавляющего большинства органических нитросоединений и нитратов.

3. Вазодилатация – расширение кровеносных сосудов вплоть до потери сознания. Первые признаки отравления – головная боль. Характерно для нитроэфиров. Более того, некоторые нитроэфиры: нитроглицерин, тетранитропентаэритрит (ТЭН) находят применение в медицине в качестве сосудорасширяющих средств.

4. Хронические отравления тяжелыми металлами – обычно наблюдаются на производствах, связанных с изготовлением иницирующих ВВ и пиротехнических составов.

5. Некоторые компоненты ВВ, такие как динитротолуолы и нитрозосоединения, кроме токсического действия являются потенциальными канцерогенами и мутагенами.

Основные способы поступления в организм это:

вдыхание аэрозоля;

кожный контакт (свойственно главным образом ароматическим и жидким нитросоединениям);

пероральное поступление или случайное проглатывание. Например в армии США зафиксированы случаи отравления гексогеном связанные с тем, что солдаты использовали пластичные ВВ вместо жвачки, либо разогревали на них пищу [45; 11, с. 25].

Р а з д е л IV

КЛАССИФИКАЦИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

В основу классификации ВВ положено их назначение, агрегатное состояние и способы возбуждения взрывчатых превращений.

По назначению все взрывчатые материалы подразделяют на четыре больших класса: **ВВ, пороха, ракетное топливо и пиротехнические составы.**

ВВ, как говорилось выше, это индивидуальные соединения или смеси, предназначенные главным образом для совершения механической работы разрушения. Они подразделяются на две группы: **ИВВ и БВВ**. БВВ обладают повышенной по сравнению с ИВВ мощностью с пониженной чувствительностью к внешним воздействиям.

Основное назначение ИВВ – преобразование простого начального импульса (удар, накол, трение, электрический разряд и т. п.) в импульс детонационный или огневой. Поэтому в технической литературе ИВВ называют первичными, а бризантные – вторичными.

Пороха – это пластифицированные системы, способные к воспламенению и последующему горению параллельными слоями. Основная область применения порохов – метание боеприпасов из ствольных систем. По своему составу и способу пластификации современные пороха подразделяют на пироксилиновые и баллиститные. *Пироксилиновые пороха* представляют собой уплотненные нитраты целлюлозы с очень небольшим содержанием остаточного растворителя и воды. *Баллиститные пороха* – это гомогенные твердые растворы нитратов целлюлозы

в труднолетучем растворителе (чаще всего нитроглицерине). По сравнению с пироксилиновыми порохами баллистические пороха обладают повышенными энергетическими характеристиками, поскольку нитроглицерин является более мощным веществом, чем нитраты целлюлозы. Поэтому в состав оружейных порохов часто вводят низкоэнергетические добавки (например, динитротолуол), понижающие температуру горения. Кроме того, в составе порохов обязательно должны содержаться стабилизаторы химической стойкости, а также различного рода баллистические и технологические добавки.

Ракетные топлива предназначены для создания реактивной силы на активных участках траекторий ракет различных классов. По агрегатному состоянию они подразделяются на жидкие топлива (ЖРТ), ТРТ и топлива смешанного агрегатного состояния (ТСАС).

Пиротехнические составы применяются с целью получения того или иного пироэффекта (воспламенительного, зажигательного, дымового, светового и т. п.). Чаще всего пиротехнические составы – это механическая смесь неорганического окислителя и металлического горючего с добавкой какого-либо органического вещества-цементатора. Типичным представителем пиротехнических составов является, например, дымный порох, состоящий из калийной селитры, серы и древесного угля в соотношении 75:15:10.

Рассмотренная классификация взрывчатых материалов, как и всякая классификация вообще, в известной мере условна и не может претендовать на абсолютную полноту и завершенность. Ее основное предназначение состоит в том, чтобы обеспечить формулирование самых общих представлений об областях применения и наиболее существенных свойствах взрывчатых систем различных групп. Это необходимо для технически грамотного подхода к анализу закономерностей детонации и горения – главных видов взрывчатого превращения.

Выяснению закономерностей протекания этих процессов посвящено огромное количество работ, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях. Поэтому основной задачей

данного пособия является обобщенное изложение накопленного теоретико-экспериментального материала в возможно более простой форме, доступной для понимания каждого, кто знаком с основами высшей математики, теоретической физики, физической химии и молекулярно-кинетической теории [15, с. 9].

По физическому состоянию ВВ могут быть твердыми (монокристаллическими или сыпучими), пластичными и жидкими. Монокристаллические твердые ВВ, примером которых могут служить литой тротил, смеси тротила с гексогеном и алюминием (ТГА), смеси тротила с аммиачной селитрой и алюминием (ТСА) и др., применяются в основном в военном деле. В качестве промышленных ВВ они используются в небольших количествах.

Твердые ВВ применяют, как правило, в сыпучем состоянии в виде порошков и гранул. Сыпучими твердыми ВВ являются гранулированный тротил (гранулотол), смесь тротила с алюминиевым порошком (алюмотол), аммониты, пороха, смеси гранулированной аммиачной селитры с нефтепродуктами, дисперсным алюминием или тротилом.

Пластичные ВВ обычно состоят из смеси твердых компонентов с жидкой желатинированной массой и по консистенции напоминают крутое, а в некоторых случаях и жидкое тесто или сметану.

В горной промышленности применяют пластичные ВВ разной консистенции на водной основе – водосодержащие ВВ. Твердые компоненты таких ВВ в большинстве случаев представлены чешуирированным или гранулированным тротилом и аммиачной селитрой. Жидкая часть смеси состоит из насыщенного водного раствора кальциевой, натриевой и аммиачной селитры с добавкой растворимого в воде загустителя. К этой группе ВВ относятся так называемые льющщиеся ВВ – акватолы, а также эмульсионные ВВ.

Примером жидких ВВ являются нитроглицерин, нитроглицерин и некоторые другие нитроэферы, которые используются в настоящее время только в качестве компонентов порохов, детонитов и некоторых предохранительных ВВ.

По химическому составу различают две группы ВВ: индивидуальные химические соединения и механические смеси.

Индивидуальные ВВ. В первую группу входят химические соединения, молекулы которых в определенных условиях способны к распаду с образованием новых, преимущественно газообразных, соединений с выделением энергии. К ним относятся:

ИВВ (первичные):

соли тяжелых металлов гремучей кислоты, например, гремучая ртуть $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ и гремучее серебро AgONC ;

производные азотистоводородной кислоты, например, азид свинца $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, азид серебра AgN_3 и циануртриазид $\text{C}_3\text{N}_3(\text{N}_3)_3$;

соли тяжелых металлов стифниновой и пикриновой кислот, называемые стифнатами и пикратами, например, тринитрорезорцинат (стифнат) свинца $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}\cdot\text{H}_2\text{O}$ (сокращенно ТНРС);

тетразен $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_{10}\text{O}$.

БВВ, включающие инициирующие (вторичные) ВВ (тетрил, ТЭН, октоген, гексоген) и обычные бризантные (тротил, нитрогликоль, нитроглицерин, пикриновая кислота и др.):

нитросоединения ароматического ряда, например, тринитротолуол (тротил) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$, тринитрофенол (пикриновая кислота) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{OH}$, тринитрофенилметилнитрамин (тетрил) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{NCH}_3\text{NO}_2$, октоген $\text{C}_4\text{N}_4\text{H}_8(\text{NO}_2)_4$, динитробензол $\text{C}_6\text{H}_4(\text{NO}_2)_2$ и др., а также некоторые нитропроизводные аминов, например, триметилтринитрамин (гексоген) $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3$, нитрогликоль $\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2$, нитродигликоль $\text{OC}_4\text{H}_8(\text{ONO}_2)_2$;

нитросоединения или эфиры азотной кислоты, например, глицеринтринитрат (нитроглицерин) $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$, аммиачная селитра (нитрат аммония) NH_4NO_3 , а также нитраты целлюлозы (клетчатки) – пироксилины и коллоксилины, пентаэритриттетранитрат (ТЭН) $\text{C}(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4$ и т. д.

Механические смеси. Ко второй группе относятся разнообразные капсульные составы для КД и капсулей-воспламенителей (последние представляют собой главным образом механические смеси гремучей ртути, хлората калия и трехсернистой сурьмы), а также смеси БВВ. К смесивым принадлежат, по существу, все наиболее типичные промышленные ВВ: аммониты, граммониты, гранулиты, детониты, динамоны и водосодер-

жащие ВВ, оксидквиты – различные порошкообразные органические поглотители, пропитанные жидким кислородом.

В эту же группу входят пороха (в частности, дымный, пушечный пироксилиновый порох, баллиститный, кордитный и порох на нелетучем растворителе) и пиротехнические составы (осветительные, сигнальные, трассирующие, зажигательные и дымовые), представляющие собой механические смеси из окислителей и горючих веществ [16, с. 161].

4.1. Иницирующие взрывчатые вещества

ИВВ – это вещества, легко детонирующие от незначительного теплового или механического воздействия (удар, трение, огонь, электрическая искра и т. п.). Для них характерен легкий переход от горения к детонации в тех условиях (атмосферное давление, непрочная оболочка или ее отсутствие, малые заряды), в которых такой переход в БВВ обычно не происходит.

Производство и обращение с ИВВ требует соблюдения особых мер предосторожности из-за опасности возникновения взрыва. Перевозка допустима только в виде готовых изделий.

ИВВ используются в КД для возбуждения детонации БВВ, в капсулях-воспламенителях для воспламенения порохов и пиротехнических составов. В КД, как правило, применяются индивидуальные соединения, а в капсулях-воспламенителях – различные смеси [45; 11, с. 30].

ИВВ – это особая группа ВВ, обладающих наиболее высокой чувствительностью к внешним воздействиям и предназначенных для возбуждения (инициирования) взрывчатого превращения в зарядах других ВВ или процесса горения в пороховых и ракетных зарядах.

ИВВ при поджигании лучом огня на воздухе, как правило, легко воспламеняются, и процесс горения немедленно переходит в детонацию. БВВ в аналогичных условиях спокойно сгорают, и лишь в некоторых случаях горение может перейти в детонацию (при горении больших количеств ВВ). Особенностью ИВВ является также их способность детонировать в малых ко-

личествах, что объясняется незначительной величиной критических диаметров.

Это качество ИВВ, а также высокая чувствительность к простым начальным импульсам и определяют их практическое применение. ИВВ используют как в чистом виде, так и в смесях и комбинациях с другими (взрывчатыми и невзрывчатыми) веществами в различных средствах инициирования, необходимых для возбуждения детонации и горения.

ИВВ совершенно непригодны для изготовления разрывных зарядов как вследствие весьма высокой чувствительности, так и вследствие сравнительно низких взрывчато-энергетических характеристик.

ИВВ разделяются на две группы: индивидуальные химические соединения и инициирующие смеси.

По назначению индивидуальные ИВВ могут быть основными, выполняющими главную роль при инициировании, и вспомогательными, предназначенными для изменения некоторых свойств основного ИВВ, например, для повышения чувствительности к наколу жалом или лучу пламени, для усиления жгучести пламени и повышения его температуры.

В зависимости от химической природы группа индивидуальных ИВВ разделяется на ряд подгрупп:

1. Соли тяжелых металлов гремучей кислоты (фульминаты), например, гремучая ртуть $\text{Hg}(\text{ONC})_2$.

2. Соли тяжелых металлов азотистоводородной кислоты (азиды), например, азид свинца $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$.

3. Соли тяжелых металлов, например, стифнат свинца $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}$ (тенерес).

4. Непредельные азотоводороды, например, тетразен $\text{C}_2\text{H}_8\text{ON}_{10}$.

5. Ацетилениды тяжелых металлов, например, ацетиленид меди CuC_2 .

6. Отдельные представители некоторых классов органических соединений [1, с. 2].

4.1.1. Чувствительность инициирующих взрывчатых веществ

ИВВ имеют наиболее высокую чувствительность к различным видам начального импульса. В средствах инициирования для возбуждения взрыва или для воспламенения ИВВ используются обычно простые начальные импульсы, а именно удар бойка, накол жалом, луч пламени, нагрев, искра, трение и т. п.

Практически чувствительность ИВВ оценивается по их отношению к тепловым и механическим воздействиям.

Чувствительность к тепловому воздействию (нагреву) чаще всего характеризуется температурой вспышки.

Температура вспышки ИВВ величина условная. Она не является минимальной температурой, ниже которой вспышка не может произойти, она не характеризует также легкости воспламенения ВВ. Температура вспышки не является и температурой начала взрывчатого «разложения» подобно тому, как температура кипения не является температурой начала испарения жидкости. Таким образом, температура вспышки не является строго определенной физико-химической константой ВВ, она зависит от навески ВВ, от конструкции прибора, в котором определяется температура, и от целого ряда других факторов. Поэтому для получения сравнимых данных по температурам вспышки различных ВВ необходимо определять их в совершенно одинаковых условиях (стандартизованных), установив при этом определенную величину периода индукции.

За температуру вспышки обычно принимают температуру, при которой период задержки до вспышки составляет 5 мин.

Опытное определение температуры вспышки производится в приборе (рис. 4), состоящем из электрообогреваемой железной бани, заполненной парафином или легкоплавким сплавом Вуда (50 % Вi + 25 % Рb + 12,5 % Sn + 12,5 % Cd; $t_{пл.} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Сверху баня закрывается железной крышкой с отверстиями для термометра и металлической гильзы.

Баня нагревается до температуры, близкой к ожидаемой температуре вспышки. Навеска ИВВ в 0,01 г (для БВВ – 0,05 г),

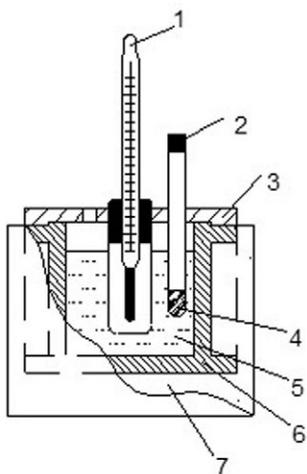


Рис. 4. Прибор для определения температуры вспышки: 1 – термометр; 2 – гильза; 3 – крышка; 4 – ВВ; 5 – сплав; 6 – корпус бани; 7 – кожух (футляр)

прессованная в таблетку под давлением 500–1000 кг/см², помещается в гильзу, которая закрывается пробкой.

Гильза опускается в нагретую баню на глубину 30 мм и регистрируется время, прошедшее с момента опускания гильзы в баню до момента вспышки, который определяется по вышибанию пробки. Так проводят ряд опытов при различных температурах и с точностью до 5 °С определяют ту минимальную температуру, ниже которой при выдержке в 5 мин вспышка не наблюдается.

Эта температура условно принимается за температуру вспышки. В последнее время за температуру вспышки принимают ту температуру, при которой период индукции составляет

5 с, так как для ряда ВВ при температуре, составляющей период индукции 5 мин, вспышка либо совсем не наблюдается, либо происходит намного раньше, т. е. не представляется возможным установить температуру, при которой время задержки равно 5 мин.

Для определения температуры вспышки при периоде задержки 5 с, используется усовершенствованный прибор, снабженный устройством для быстрого высыпания ВВ в гильзу, находящуюся в бане, и электросекундомером, позволяющим регистрировать небольшие промежутки времени (с момента высыпания ВВ до вспышки).

В табл. 7 приведены значения температур вспышки ИВВ, соответствующие периоду индукции 5 мин.

Чувствительность ИВВ к механическим воздействиям обычно оценивается чувствительностью к удару и наколу (жалом) (табл. 8).

Чувствительность ИВВ к удару определяется с помощью приборов, называемых копрами. Принцип работы всех копров одинаков – удар свободно падающего груза с определенной вы-

Таблица 7. Температура вспышки ИВВ

Взрывчатые вещества	Температура вспышки, °С
Тетразен	140
Гремучая ртуть	170
Тенерес	275
Азид свинца	310

Таблица 8. Чувствительность некоторых ИВВ [11, с. 49]

Иницирующие ВВ	Электростатическая искра, Дж	Трение, %. Серия 25 испытаний, 588 кПа, угол 80°	Удар, см, 400 г груз, 100 %-ное срабатывание	Удар, см, 400 г груз, 100 %-ный отказ
Азид свинца	0,003–0,007	100	24	10,5
ГНРС	0,0009	70	36	11,5
Тетразен	0,006	70	6,0	3,5
ДАНФ	0,012	25	40	17,5

соты по навеске испытуемого ВВ. При этом механическая (кинетическая) энергия удара переходит в тепловую, вследствие чего возникают местные разогревы («горячие точки»), являющиеся очагами взрыва (табл. 9).

Таблица 9. Чувствительность к удару различных ИВВ на копре Велера [11, с. 31]

Иницирующие ВВ	Масса падающего груза, г	Верхний предел, мм	Нижний предел, мм
Гремучая ртуть серая	600	80	50
Азид меди II	600	70	10
Гремучее серебро	600	125	70
Тетразен	600	65	45
ГМТД	600	210	140
Азид свинца	975	235	70
Азид серебра	914	245	150
ГНРС	1215	>250	140
Пикрат свинца	1215	>250	>250

Для испытания ИВВ применяется дуговой (секторный) рычажный копер, который состоит из плиты (основания) со стальной наковальней, измерительной дуги с делениями (в сантиметрах), груза, укрепленного на конце вращающегося вокруг шарнира рычага, и подвижной задержки, с помощью которой груз удерживается на определенной высоте (рис. 5).

Чувствительность ИВВ характеризуется двумя пределами – верхним и нижним. Оба предела находят по ряду испытаний (обычно не менее десяти).

Верхний предел чувствительности – это минимальная высота, при падении груза с которой обеспечивается 100 % взрывов. Верхний предел характеризует безотказность действия ИВВ и изделий из них.

Нижний предел чувствительности – это максимальная высота, при падении груза с которой не получается ни одного взрыва. Нижний предел имеет значение для оценки безопасности ВВ при производстве, хранении изделий и при их боевом применении. В табл. 10 приведены значения верхнего предела (Н100) чувствительности ИВВ при массе груза 0,6 кг.

В настоящее время для определения чувствительности ИВВ к удару используется вертикальный копер состоящий из основания, на котором укреплены три строго параллельные между со-

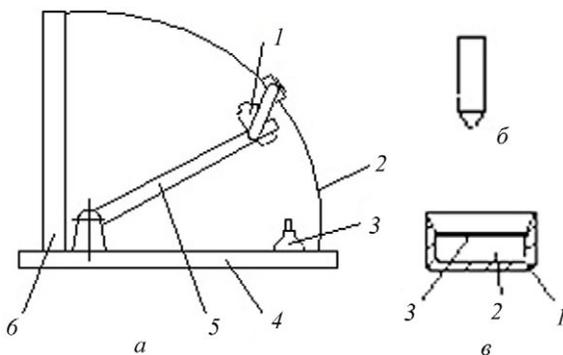


Рис. 5. Рычажный копер: *a* – схема копра: 1 – груз; 2 – измерительная дуга; 3 – наковальня; 4 – плита; 5 – рычаг; б – стойки; б̄ – боек; в – снаряженный колпачок: 1 – колпачок; 2 – ИВВ; 3 – фольговый кружок

Таблица 10. Верхние пределы чувствительности ИВВ

Взрывчатые вещества	H_{100} , см
Тетразен	6,5
Гремучая ртуть	8,5
Азид свинца	25,0
Тенерес	50,0

бой вертикальные стойки – направляющие. Между стойками скользит груз массой 200 г, который удерживается в верхнем положении грузодержателем, снабженным кнопкой для освобождения груза. Высота падения груза отсчитывается на специальной масштабной линейке. На основании прибора укреплена матрица для сборки со взрывчатым веществом. Матрица фиксирует положение сборки и обеспечивает большую безопасность при испытании ВВ – она закрывает сборку со ВВ и направляет продукты взрыва в одну сторону. Сборка для ВВ состоит из направляющей муфты и роликов (рис. 6).

Для испытания навеска ВВ массой 0,01 г высыпается в направляющую муфту, в которую вставлен нижний ролик, после чего вставляется верхний ролик и сборка прессуется под давлением в 1000 кг/см^2 . После прессования верхний ролик извлекается, сборка устанавливается в матрицу прибора, а в отверстие направляющей втулки вставляется боек, который должен касаться ВВ. Затем с помощью стопорного устройства на необходимой высоте устанавливается груз и производится опыт.

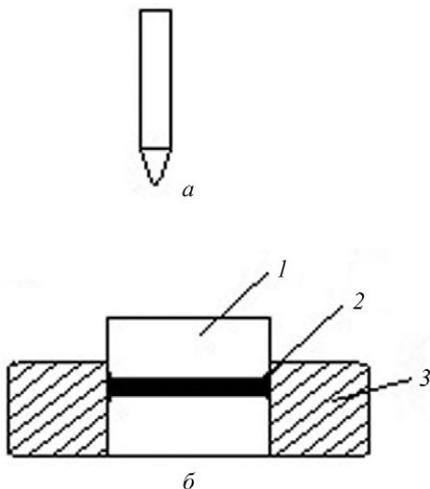


Рис. 6. Сборка и жало для вертикального копра: *a* – жало; *б* – сборка: 1 – ролики; 2 – ВВ; 3 – направляющая муфта

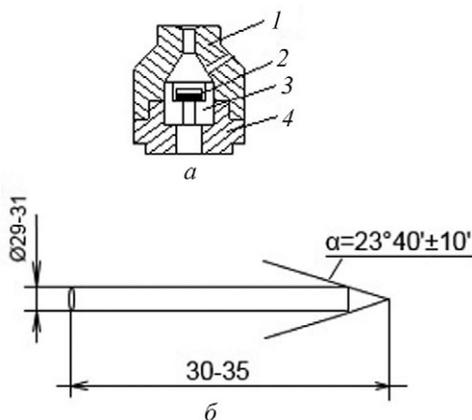


Рис. 7. Сборка и жало для электрокопра: *а* – сборка; 1 – крышка; 2 – капсуль; 3 – плашка с гнездом для капсуля; 4 – поддон; *б* – жало

Чувствительность ИВВ к наколу жалом определяется и характеризуется аналогично чувствительности их к удару, испытания проводятся на электрокопре Рдултовского (рис. 7), который состоит из массивного основания и вертикальной стойки с делениями. По стойке движется обойма с электромагнитом, которая с помощью стопорного винта может закрепляться на различной высоте. Электромагнит при включенном токе удерживает грушевидной формы груз массой 100 или 200 г, который падает при выключении тока. ИВВ испытывают обычно в тех оболочках накольных капсулей, в которых они применяются на практике. Снаряженный капсуль помещается в специальную сборку (рис. 6, *а*), состоящую из поддона, разрезных плашек с гнездом под капсуль и крышки с отверстиями, через одно из которых вставляется стандартное жало (рис. 6, *б*); остальные отверстия служат для выхода газов, образующихся при срабатывании капсуля.

Иногда определяется чувствительность ИВВ к трению, которая представляет собой главным образом интерес с точки зрения безопасности при производстве и применении ИВВ.

Испытание чувствительности к трению производится на копре К-44-3, совмещающем в себе гидравлический пресс (обеспечивает плавное приложение нагрузки до 20000 кг/см^2) и маятник – ударник, укрепленный на рычаге (рис. 8).

Навеска испытуемого ВВ (0,02–0,5 г) помещается между плоскими торцами двух роликов, которые при помощи гидравлического пресса могут поджиматься. При ударе маятника ударник сдвигает верхний подвижный ролик. Сдвиг верхнего ролика относительно неподвижного нижнего по навеске ВВ происходит на 1,5 мм (постоянно для всех испытаний). Угол падения маятника тоже постоянный – 90° . Мерой чувствительности к трению принимается величина нормального прижатия при отсутствии взрывов (нижний предел) из 25 испытаний [1, с. 3].

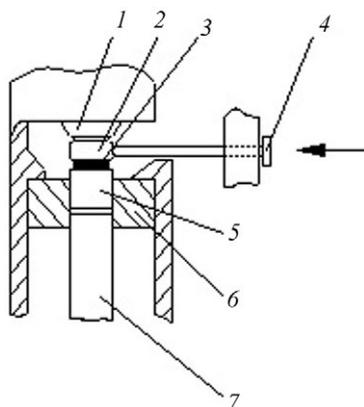


Рис. 8. Рабочий узел копра трения: 1 – упор; 2 – подвижной ролик; 3 – ВВ; 4 – стержень, передающий удар; 5 – неподвижный ролик; 6 – муфта; 7 – пуансон для передачи давления на ролик

4.1.2. Иницирующая способность иницирующих взрывчатых веществ

Способность ИВВ вызывать детонацию других ВВ характеризуется **предельным иницирующим зарядом**, т. е. минимальным зарядом ВВ, способным в определенных условиях вызывать детонацию БВВ (для тетрила и тротила составляет соответственно: гремучая ртуть – 0,29 и 0,36 г, азид свинца – 0,025 и 0,09 г).

Иницирующая способность определяется степенью нарастания скорости взрывчатого превращения в постоянную детонационную волну (скоростью перехода горения в детонацию). Эта скорость зависит только от природы каждого конкретного ИВВ,

а не от его взрывчатых характеристик, а также от плотности, степени чистоты, размера кристаллов и тому подобных характеристик. При инициировании малочувствительных ВВ, когда инициирующие заряды имеют массу более нескольких граммов, скоростью перехода горения в детонацию можно пренебречь, и определяющими условиями для возбуждения устойчивой детонации являются, главным образом, бризантность, теплота взрыва и прочие параметры, характеризующие силу возбуждающего основной заряд ВВ. Для повышения надежности срабатывания капсюлей-детонаторов, ИВВ обычно дополнительно запрессовывают в специальную металлическую чашечку, которая уменьшает отток газов и тем самым способствует более быстрому переходу горения в детонацию.

При увеличении давления прессования для многих ИВВ возникает так называемый **эффект мертвой запрессовки (перепрессовки)**. Он заключается в потере способности перехода горения в детонацию ИВВ. Тем не менее эти ИВВ не теряют способность детонировать от других средств инициирования. Причиной этого эффекта является резкое возрастания времени перехода горения в детонацию.

Существует также большое количество так называемых **псевдоиницирующих ВВ** – веществ, которые также воспламеняются от простых начальных импульсов, однако период нарастания скорости взрывчатого распада у них слишком велик и вследствие этого они не обладают инициирующей способностью в нормальных условиях. Некоторые из них могут быть с успехом использованы в различных воспламенителях.

Иницирующая способность является важнейшим и у ряда ИВВ особо выраженным свойством (табл. 11). Она обуславливается, прежде всего, физико-химическими свойствами ИВВ и достаточно высокими их энергетическими характеристиками. Чем выше энергетические характеристики и прежде всего скорость детонации, тем выше и инициирующая способность.

Из находящихся широкое применение ИВВ наибольшее ускорение взрывчатого превращения имеет азид свинца; гремучая ртуть наделена значительно меньшим ускорением; еще меньшие ускорения имеют тетразен и тенерес.

Таблица 11. Сравнительная характеристика инициирующей способности основных ИВВ для детонирования 0,4 г ТЭНа [45; 11, с. 30]

Давление запрессовки ТЭНа, кг/см ²	0	2000	2000	2000	2000
Давление запрессовки ИВВ, кг/см ²	0	0	500	1000	2000
ИВВ	Минимальное количество инициатора, г				
Азид свинца (технический некристаллизованный)	0,04	0,17	0,05	0,05	0,04
Азид свинца (кристаллизованный)	0,015	0,1	0,01	0,01	0,01
Азид серебра	0,005	0,11	0,005	0,005	0,005
Гремучая ртуть	0,3	0,33	Потеря инициирующей способности для данного заряда		
Тетразен	0,16	0,25			
Тринитрорезорцинат свинца	0,55	1,0			

Практически предельный инициирующий заряд определяется тем наименьшим (по массе) количеством ИВВ, которое способно вызвать полную детонацию 1,0 г БВВ, запрессованного в гильзу КД № 8 под давлением 1000 кг/см². С этой целью несколько гильз снаряжается одинаковым количеством БВВ и различными количествами ИВВ запрессовывается под давлением около 500 кг/см².

Инициирующая способность считается тем выше, чем меньше предельный заряд. В табл. 12 приведены значения предельных инициирующих зарядов.

Таблица 12. Предельные инициирующие заряды ИВВ

Бризантные ВВ	Инициирующие ВВ, г			
	Азид свинца	Гремучая ртуть	Тетразен	Тенерес
Тротил	0,09	0,36	–	–
Тетрил	0,025	0,29	>1,0	>1,0
Гексоген	0,05	0,19	–	–
ТЭН	0,03	0,17	–	–

Величина предельных инициирующих зарядов зависит не только от инициирующей способности ИВВ, но и от чувствительности или восприимчивости к детонации инициируемых

(вторичных) зарядов, изготавливаемых из БВВ. Предельный инициирующий заряд тем больше, чем меньше инициирующая способность ИВВ и ниже восприимчивость к детонации БВВ. С повышением инициирующей способности и восприимчивости к детонации предельный инициирующий заряд уменьшается.

Поэтому величиной предельного инициирующего заряда характеризуется не только инициирующая способность ИВВ, но и восприимчивость БВВ к инициированию (детонации).

Инициирующая способность, а следовательно, и величина предельного инициирующего заряда являются постоянными лишь при определенных условиях. При других условиях применения ИВВ инициирующая способность их, а значит, и величина предельного инициирующего заряда, становятся иными. Так, например, в условиях, способствующих большим потерям энергии, инициирующая способность ИВВ сильно снижается, а масса предельного инициирующего заряда возрастает, так как уменьшается ускорение взрывчатого превращения, увеличивается участок, на котором скорость процесса возрастает до скорости детонации, и участок детонации, необходимый для возбуждения детонации БВВ.

К факторам, влияющим на инициирующую способность и соответственно на величину предельного инициирующего заряда, относятся материал и устройство оболочек, в которые помещаются ВВ, порядок снаряжения (давление прессования, количество запрессовок и т. д.), величина кристаллов ВВ, примеси, характеристики начального импульса и другие.

При снаряжении КД заряд ИВВ берется всегда выше предельного, иногда в несколько раз. Объясняется это тем, что с увеличением массы заряда ИВВ инициирующее действие КД возрастает до определенного предела, за которым дальнейшее увеличение массы инициирующего заряда лишь незначительно повышает инициирующее действие КД. Поэтому при разработке снаряжения КД необходимо определить не только предельный инициирующий заряд, но и оптимальную массу заряда ИВВ. Например, оптимальный масса заряда азид свинца колеблется в пределах 0,15–0,25 г, в то время как предельный инициирующий заряд по тетрилу составляет 0,025 г.

**Таблица 13. Взрывчато-энергетические характеристики ИВВ
и некоторых БВВ**

Взрывчатые вещества	ρ , г/см ³	D , м/с	Q_v		W	
			ккал/кг	ккал/л	л/кг	л/л
Гремучая ртуть	4,0	5050	415	1660	311	1244
Азид свинца	4,0	5100	390	1560	308	1232
Тенерес	2,9	5200	370	1073	435	1262
Тетразен	1,47	5000	550	808	450	662
Тротил	1,6	7000	1010	1616	730	1168

ИВВ характеризуются высокой чувствительностью ко всем видам простого начального импульса, большим ускорением взрывчатого превращения, легкостью перехода горения в детонацию и достаточно высокими взрывчато-энергетическими характеристиками (табл. 13). Поэтому они являются хорошими инициаторами взрывных процессов и широко применяются в различных изделиях, предназначенных для возбуждения взрывных процессов и процессов горения, причем заряды ИВВ берутся небольшой массы.

Малая масса иницирующих зарядов очень удобна в применении, так как изделия получаются небольших размеров, и обеспечивается необходимая безопасность в обращении с боеприпасами и их применении. Чем меньше заряды ИВВ, тем инициаторы и боеприпасы более безопасны в обращении и применении, и, наоборот, с увеличением массы зарядов ИВВ опасность возрастает [1, с. 9].

4.1.3. Индивидуальные иницирующие взрывчатые вещества

Фульминаты или соли гремучей кислоты. Фульминаты – это соли неустойчивой в свободном виде гремучей кислоты HCNO . Они очень чувствительны к механическим воздействиям. На практике применяют фульминат ртути и серебра. Высокой иницирующей способностью отличаются фульминаты меди и кадмия, однако они слишком дороги при промышленном производстве и химически нестойки.

Гремучая ртуть, фульминат ртути, Hg (CNO)₂. Гремучая ртуть была известна достаточно давно. Практическое применение ее относится к началу позапрошлого столетия. В 1815 г. она начала применяться в капсюлях-воспламенителях, а позднее в 1865 г. в КД.

Физико-химические свойства. Белый или серый (содержит примесь коллоидной ртути) кристаллический порошок, в сухом виде очень чувствительный к удару, трению, огню, наколу и т. п. Взрывается при действии концентрированной серной кислоты H_2SO_4 , разлагается концентрированными кислотами в том числе и HNO_3 . Растворимость в воде: 0,07 г на 100 г воды при 12 °С, 0,77 г при 100 °С. При кипячении и при действии щелочей гремучая ртуть разлагается. Плохо растворима в этаноле, лучше в водных растворах KCN и NH_3 (в теплых – заметно разлагается). Растворима в этанолаmine и пиридине; при прибавлении воды может выкристаллизовываться в чистом виде. Ядовита. Белая модификация заметно более устойчива к химическим и тепловым воздействиям. Малоустойчива к солнечному свету – при облучении темнеет с образованием ртути в поверхностных слоях. Скорость горения составляет 15,5 мм/с. Гремучая ртуть энергично реагирует с алюминием или магнием, особенно в присутствии влаги, что может даже послужить причиной взрыва, поэтому необходимо не допускать ее контакта с этими металлами. В сухом состоянии очень медленно реагирует с медью, кадмием, серебром. Не взаимодействует в сухом или влажном состоянии с железом или сталью. Чистая белая гремучая ртуть в отсутствии влаги с металлами не взаимодействует. Плотность монокристалла – 4,42 г/см³ (насыпная – 1,22–1,6 г/см³).

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. При ударном воздействии гремучая ртуть, содержащая 10 % влаги, разлагается без взрыва. При влажности 30 % полностью теряет чувствительность. Медленное разложение гремучей ртути начинается при температуре выше 50 °С, даже в сухой атмосфере, при 90–95 °С почти полностью разлагается за несколько дней с образованием желтого невзрывчатого вещества. Температура вспышки около 180 °С. Оптимальная чувствительность

к наколу проявляется при прессовании под давлением 700–750 кг/см². Гремучая ртуть, флегматизированная парафином в количестве 20 % обладает довольно низкой чувствительностью, но способна детонировать от КД. Ранее применялась в качестве ВВ для детонирующего шнура. Для уменьшения чувствительности можно флегматизировать добавлением к смоченной гремучей ртути небольшого количества крахмала. Из-за высокой чувствительности хранение гремучей ртути допустимо только под слоем воды.

Иницирующая способность. Горение неплотно спрессованных зарядов переходит в детонацию. При значительном уплотнении теряет свойства ИВВ (подвержена перепрессовке). Минимальный иницирующий заряд в КД при запрессовке с чашечкой для тетрила, гексогена и ТЭН-а 0,29 г, для тротила 0,36 г. Гремучая ртуть, содержащая добавку азид свинца, обладает почти такой же иницирующей способностью, как и чистый азид.

Энергетические характеристики. Скорость детонации гремучей ртути составляет 2300 м/с при плотности 1,25 г/см³, 4480 м/с при плотности 3,3 г/см³, 5400 м/с при плотности 4,17 г/см³. Объем продуктов взрыва достигает 315 л/кг. Теплота взрыва – 1,79 МДж/кг. Фугасность – 110 мл. Бризантность (песочная проба, заряд 0,4 г) 17,9–23,4 г песка (тротил 43–48 г).

Применение. В обычные КД запрессовывают под давлением 250–300 кг/см², что соответствует плотности 3–3,5 г/см³.

Фульминат серебра, гремучее серебро, AgCNO. *Физико-химические свойства.* Представляет собой бесцветные игольчатые кристаллы, темнеющие на свету. Нерастворим в азотной кислоте, разлагается в соляной.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки около 200 °С. Более чувствителен к удару и трению чем гремучая ртуть. Чувствительность к удару – 22 (азид свинца – 30, гексоген – 80). Чрезвычайно опасен в обращении, но полученный в виде очень тонкого порошка менее чувствителен, чем гремучая ртуть.

Иницирующая способность. Иницирующая способность фульмината серебра по тротилу при испытании без чашечки – 0,14 г (гремучая ртуть в этих условиях 0,35 г).

Энергетические характеристики. В отличие от гремучей ртути бризантность увлажненного AgCNO практически не отличается от бризантности сухого.

Применение. Применялся и применяется в хлопушках и других пиротехнических устройствах развлекательного характера, так как при взрыве не образует ядовитой ртути. Известно использование в детонаторах итальянского производства для ВМФ [45; 11, с. 32].

Неорганические азиды – соли тяжелых металлов азотистоводородной кислоты (азиды), например, азид свинца $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$. Азиды – это соли азотистоводородной кислоты HN_3 . Соли тяжелых металлов обладают взрывчатыми свойствами. На практике применяются азиды свинца, серебра и кадмия. Азиды бария и стронция довольно малочувствительны к удару, раньше применялись в системах электровоспламенения.

Азид свинца, LA, $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$. Физико-химические свойства. Существует в 4-х кристаллических модификациях: в изделиях применяется **а**)-форма – бесцветный кристаллический, технический – серый порошок. Азид свинца практически нерастворим в воде (0,023 г на 100 г воды при 18 °С, 0,09 г на 100 г воды при 70 °С), плохо растворим в водных растворах ацетата свинца, ацетата аммония и натрия, хорошо – в этаноламинах. При кипячении с водой разлагается с постепенным выделением азотистоводородной кислоты. В присутствии влаги и CO_2 разлагается по поверхности с образованием карбоната и основного азид свинца. На свету разлагается на свинец и азот (по поверхности), при интенсивном облучении свежеполученный азид свинца может разлагаться со взрывом. В сухом виде химически устойчив и с металлами не реагирует. При хранении азид свинца не должен соприкасаться с медью и ее сплавами, так как в присутствии влаги образует смеси азидов меди с непредсказуемыми свойствами. Токсичен. Плотность – 4,71 г/см³ (насыпная около 1,2 г/см³).

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Достаточно термостоек; начинает разлагаться при 245–250 °С, температура вспышки чистого **а**)-азид свинца около 330 °С (температура вспышки декстринового 275 °С). Чувствительность

к удару увлажненного азида свинца не намного меньше, чем сухого; он может быть увлажнен до 30 % практически без потери взрывчатых свойств. Менее чувствителен к удару, чем гремучая ртуть, но более чувствителен к трению, чем гремучая ртуть (декстриновый менее чувствителен). При попытке растирания в фарфоровой ступке детонирует. Недостаточно восприимчив к лучу огня и искре из-за наличия пленки основных солей свинца, возникающей в результате воздействия влажной углекислоты при хранении. У свежеполученного химически чистого азида восприимчивость к действию пламени очень высока. Весьма опасен в обращении из-за высокой чувствительности к трению (свежеполученный азид свинца более чувствителен к трению, чем технический), чувствительность к механическим воздействиям в большой степени зависит от размера кристаллов и способе кристаллизации. В процессе синтеза возможно взрывное разложение на стадии получения насыщенного раствора, кристаллизации и сушки. Известны случаи самопроизвольных взрывов при пересыпании. Считается, что азид свинца, полученный из ацетата свинца, более опасен в обращении, чем полученный из нитрата.

Иницирующая способность. У азид свинца способность детонировать БВВ в несколько раз выше чем у гремучей ртути из-за более узкого преддетонационного участка. Минимальный иницирующий заряд чистого азид свинца в КД при запрессовке с чашечкой для тетрила – 0,025 г, гексогена – 0,02 г, тротила – 0,09 г. Не подвержен перепрессовке.

Энергетические характеристики. Теплота взрыва составляет 1,54 МДж/кг, скорость детонации – 4630 м/с при 3,0 г/см³, 5300 м/с при 4,1 г/см³. Объем продуктов взрыва – 308 л/кг. Фугасность – 110 мл. Бризантность по песочной пробе 13,8–15 г песка (тротил 43–48 г). Давление на фронте детонационной волны 15,8 ГПа при 3,7 г/см³.

Применение. В КД запрессовывают под давлением 600–700 кг/см². Впервые азид свинца был получен Курциусом в 1891 г. при приливании раствора ацетата свинца к раствору азид натрия или аммония. В 1907 и 1908 гг. были взяты патенты на

использование азид свинца в капсулях-детонаторах. Однако вплоть до 1920 г. практического применения азид свинца не находил ввиду высокой чувствительности и опасности обращения с чистым кристаллическим продуктом. И только с конца 20-х – начала 30-х годов XX в., когда были отработаны методы осаждения с применением органических коллоидов, началось массовое промышленное производство азид свинца, сравнительно безопасного и пригодного для снаряжения детонаторов. В США производство декстринового азид свинца началось в 1931 г. Во время Второй мировой войны азид свинца начал вытеснять гремучую ртуть в КД, и к концу XX в. почти полностью вывел ее из употребления.

Азид свинца применяется в огневых, электрических и ударных КД, обычно с добавками ТНРС, увеличивающего чувствительность к пламени и тетразеном, повышающим восприимчивость к удару и наколу. Азид свинца используется в алюминиевых или в стальных корпусах, реже в медных, лакированных и луженых.

Азид серебра, AgN_3 . Физико-химические свойства. Бесцветные кристаллы. В воде нерастворим, негигроскопичен. Может быть перекристаллизован из водного аммиака. По химической устойчивости превосходит азид свинца. Чувствителен к ультрафиолетовому свету и разлагается по поверхности. Не совместим с тетразеном и соединениями серы, например с сульфидом сурьмы.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Размягчается при 250 °С, плавится при 300 °С, при быстром нагревании детонирует при 270–300 °С. Чувствительность к удару сравнительно мала и составляет 77,7 см для груза 0,5 кг, тогда как для гремучей ртути только 12,7 см. Крупнокристаллический азид серебра имеет большую чувствительность.

Иницирующая способность. Минимальный иницирующий заряд для тротила 0,07 г, для тетрила 0,02 г.

Энергетические характеристики. Максимальная скорость детонации составляет 4400 м/с. Плотность – 4,81 г/см³, по другим данным – 5,1 г/см³. Объем продуктов взрыва – 244 л/кг. Фугасность – 115 мл. Бризантность (песочная проба) – 44,1 г песка (гремучая ртуть в этих условиях – 37,2 г).

Применение. Находит применение в малогабаритных средствах инициирования, широкому использованию мешает лишь высокая цена серебра.

Азид кадмия, $Cd(N_3)_2$. Физико-химические свойства. Бесцветный кристаллический порошок, труднорастворимый в воде (растворяется со слабым гидролизом). Плотность – 3,24 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура плавления – 291 °С с разложением. Температура вспышки около 360 °С. По чувствительности занимает промежуточное положение между азидами свинца и серебра.

Иницирующая способность. Минимальный иницирующий заряд для тротила – 0,04 г, для тетрила – 0,01 г.

Энергетические характеристики. Теплота взрыва около 2,5 Мдж/кг. Скорость детонации – 4200 м/с при 3,2 г/см³.

Применение. Находит применение в малогабаритных термостойких герметичных инициаторах [45; 11, с. 34].

Стифнаты – соли стифниновой кислоты (тринитрорезорцинаты). Стифниновая кислота представляет собой светло-желтое кристаллическое вещество жгучее на вкус и плохо растворимое в воде (0,69 г на 100 г воды при 25 °С). Хорошо растворяется в ацетоне и других органических растворителях. Обладает свойствами ВВ. Скорость детонации составляет 7450 м/с. Фугасность – 284 мл. Чувствительность к удару – 43 см (пикриновая кислота – 87 см, тротил – 100 см). Все стифнаты являются чувствительными ВВ, особенно опасны соли тяжелых металлов. На практике применяются нормальный и основной стифнат свинца, а также стифнат бария.

Стифнат свинца, тенерес, трицинат, ТНРС, $C_6H(NO_2)_3 O_2Pb$. Физико-химические свойства. Золотисто-желтые или темно-красные кристаллы. Практически нерастворим в воде (0,09 г на 100 г воды при 20 °С) и органических растворителях. Неигроскопичен. Разлагается под действием света и минеральных кислот, с металлами не взаимодействует. Скорость горения при атмосферном давлении составляет 25–30 см/с. Плотность – 3,09 г/см³. Плотность безводного – 2,9 г/см³, насыпная плотность – 1,0–1,6 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. При нагревании выше 100 °С медленно теряет кристаллизационную воду (если кристаллы охладить, то они опять через некоторое время поглощают пары воды из воздуха), при 200 °С начинает разлагаться, при 240 °С взрывается. Температура вспышки – 275 °С. Чувствителен к удару, трению, огню, искре. Менее чувствителен к удару и трению чем гремучая ртуть, при увлажнении чувствительность сильно уменьшается. Легко воспламеняется от луча огня и искры.

Иницилирующая способность. Легко перепрессовывается и электризуется. Иницилирующая способность самого ТНРС незначительна (1,5 г для слабоспрессованного тетрила) – поэтому его обычно рассматривают как псевдоиницилирующее ВВ.

Энергетические характеристики. Теплота взрыва составляет 1,55 МДж/кг, теплота образования – 1,75 МДж/кг, энтальпия образования – 1,76 МДж/кг, скорость детонации – 5200 м/с при плотности 2,9 г/см³. Фугасность – 130 мл. Бризантность (песочная проба, навеска 0,4 г) – 24 г – инициированный гремучей ртутью и 11 г – инициированный огнепроводным шнуром (тротил 48 г). Объем продуктов взрыва – 270 л/кг, по другим данным – 368 л/кг.

Применение. Впервые был получен Герцем в 1914 г. В 1918 г. он был предложен для снаряжения детонирующих шнуров, в 1919 г. – КД с применением азидов свинца и ТНРС, а с 1925 г. его стали добавлять к азиду свинца для улучшения чувствительности к пламени. В 1927 г. началось производство и в СССР. Позже послужил основой некорродирующих ударных составов для замены гремучей ртути в капсюлях-воспламенителях. Динитро- и тринитрорезорцинаты свинца используются в капсюлях-воспламенителях, КД, пиропатронах, для воспламенения порохов; в чистом виде и в смесях с азидом свинца (для улучшения воспламеняемости и воспламеняющей способности последнего).

В Великобритании производится стифнат бария, который применяют для изготовления электровоспламенительных и замедлительных составов [45; 11, с. 41].

Непредельные азотоводороды – производные тетразола.
Тетразен $C_2H_8ON_{10}$, моногидрат 5-(4-амидино-1-тетразено) тетразола. *Физико-химические свойства.* Желтоватые клиновидные кристаллы. В насыпном виде представляет собой рыхлую кристаллическую массу с насыпной плотностью 0,45 г/см³. Почти нерастворим в воде (0,02 г на 100 г воды при 22 °С) и в органических растворителях. Слабогигроскопичен – 0,77 % при 90 % влажности и 30 °С. При воспламенении взрывается со слабым хлопком и с выделением серого дыма. Скорость горения при атмосферном давлении составляет 0,78 см/с. С разбавленными кислотами может образовывать соли, многие из которых обладают более высокой иницирующей способностью, чем сам тетразен. Разлагается щелочами. С металлами в обычных условиях не взаимодействует. Плотность – 1,635 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки 140 °С. При нагревании выше 60 °С разлагается, в присутствии влаги разрушается углекислым газом.

В обычных условиях и при нагревании до 75 °С в сухой атмосфере весьма стабилен. Чувствителен к удару, трению, огню, наколу, искре. По чувствительности к удару и особенно наколу превосходит гремучую ртуть, менее чувствителен к трению.

Иницирующая способность. Горение не переходит в детонацию уже при давлении прессования 200 кг/см².

Энергетические характеристики. Теплота образования – 1,3 МДж/кг, энтальпия образования – 1,0 МДж/кг. Теплота взрыва – 2,3 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 400–450 л/кг. Фу-гасность – 155 мл. Бризантность (песочная проба заряд 0,4 г) – 28 г, тротил – 48 г. Скорость детонации до 5300 м/с.

Применение. Впервые был получен Гофманом в 1910 г., тщательно изучен Ринкенбахом в 1931 г., однако строение вещества было установлено только в 1955 г. Смесь тетразена с азидом свинца для применения в детонаторах была запатентована в 1940 г., однако вещество уже применялось в немецких ударных составах во время Второй мировой войны. Используется исключительно в смесях (в количестве до 15 %, обычно до 5 %) в ударных и накольных капсюлях-воспламенителях (ударные

составы содержат 2–3 % тетразена, накольные – больше). А также для сенсбилизации азида свинца, ТНРС и других менее чувствительных ИВВ (улучшает восприимчивость к удару и наколу).

Ртутная соль нитротетразола (нитротетразолат ртути), $Hg(N_4CNO_2)_2$. *Физико-химические свойства.* Бесцветное кристаллическое вещество. Плохо растворима в воде. Растворима в 20 %-ном растворе ацетата аммония. Разлагается щелочами.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки – 268 °С, по другим данным детонирует при 215 °С. К удару более чувствительна чем азид свинца, к трению гораздо менее чувствительна. Чувствительность к механическим воздействиям на уровне гремучей ртути.

Иницирующая способность. Предельный иницирующий заряд по гексогену в 4 раза меньше, чем для азида свинца: минимальный заряд по тетрилу – 0,006 г (азид свинца в этих условиях 0,02 г).

Энергетические характеристики. Теплота взрыва составляет 2,59 Мдж/кг.

Применение. Была предложена для применения в средствах инициирования для ВМС США.

Получение. Получают сливанием водного раствора 5-нитротетразолат натрия и нитрата ртути. В отличие от азида свинца стойка во влажной атмосфере [45; 11, с. 43].

Ацетилениды (соли ацетилена). Рассмотренные ранее ИВВ (гремучая ртуть, азид свинца, тенерес, тетразен) не исчерпывают все иницирующие вещества. Имеется большое количество соединений, обладающих иницирующей способностью и представляющих известный практический интерес. Некоторые из них приводятся ниже.

Ацетилениды являются металлическими производными ацетилена. Получаются они при пропускании ацетилена через растворы соответствующих солей. Ацетилениды тяжелых металлов обладают высокой чувствительностью [1, с. 31].

Комплекс ацетиленида серебра с нитратом серебра, $Ag_2C_2 \cdot AgNO_3$. *Физико-химические свойства.* Бесцветный порошок, медленно разлагающийся кислотами. В воде нерастворим.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки – около 210 °С. Менее чувствителен к удару, чем Ag_2C_2 и гремучая ртуть.

Иницирующая способность. По иницирующей способности превосходит гремучую ртуть и аналогичен азиду свинца. Иницирующая способность составляет 0,02 г для тетрила, для Ag_2C_2 в этих условиях минимальный иницирующий заряд – 0,05 г.

Энергетические характеристики. Теплота взрыва составляет 1,89 МДж/кг, скорость детонации – 2710 м/с при 2,92 г/см³, 4450 м/с при 5,36 г/см³. Фугасность – 136 мл.

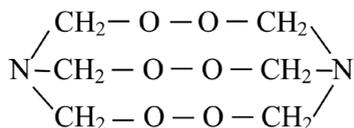
Применение. В качестве ИВВ не применяется из-за цены.

Ацетиленид серебра, Ag_2C_2 . Представляет собой бесцветные кристаллы, нерастворимые в воде и органических растворителях, температура вспышки составляет 120–140 °С. Теплота взрыва – 1,23 МДж/кг. Получают пропусканием ацетилена через аммиачный раствор нитрата серебра.

Ацетилениды меди I, Cu_2C_2 . Коричнево-красное или черное кристаллическое вещество, нерастворимое в воде и органических растворителях. В сухом виде очень чувствителен к удару, трению, огню, наколу. Восприимчив к искре. При незначительном увлажнении теряет взрывчатые свойства. Температура вспышки около 120 °С. Взрыв сравнительно безопасен, так как образуется мало летучих и газообразных продуктов. Скорость детонации невысока. Использовался в электровоспламенителях. В настоящее время не применяется [45; 11, с. 56].

Отдельные представители некоторых классов органических соединений.

Органические перекиси, ГМТД, гексаметилентрипероксиддиамин



Физико-химические свойства. Гексаметилентрипероксиддиамин или перекись триметиламина представляет собой белое кристаллическое вещество. По химической природе нейтрален.

С металлами не взаимодействует. Химическая стойкость практически невелика. Бесцветный кристаллический порошок. Растворимость при 20 °С в воде – 0,01 % (при 75 °С и 48 ч выдержке 2,25 %), ацетоне – 0,33 %, спирте – 0,01 %. Может взрываться при действии концентрированной H_2SO_4 . Раздражающе действует на слизистые оболочки. Довольно устойчив к свету. В контакте с водой полностью разлагается за 4 месяца. В сухом виде при пониженной температуре сохраняется в течение года и может быть использован после промывки. Заметно разлагается при температуре выше 60 °С с выделением метиламина. При 100 °С полностью разлагается за 24 ч. Корродирует большинство из металлов, даже в сухом виде, химически совместим практически со всеми ВВ. Плотность монокристалла составляет 1,57 г/см³. Насыпная плотность – 0,66 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки 149 °С (с периодом индукции 3 с). В сухом виде чувствительность к удару 3–4 см для груза 2 кг (менее чувствителен, чем гремучая ртуть). Чрезвычайно чувствителен к трению. Легко взрывается при слабом растирании в ступке. При добавлении 15 % и более минерального масла чувствительность к трению может быть уменьшена до уровня гремучей ртути, при этом чувствительность к удару практически не уменьшается. Крупные кристаллы взрываются при прессовании и очень опасны в обращении. Очень восприимчив к лучу огня и искре.

Иницирующая способность. Не перепрессовывается. Иницирующая способность в несколько раз выше, чем у гремучей ртути и близка к азиду свинца и составляет 0,1 г для тротила, 0,05 г для тетрила и ТНФ.

Энергетические характеристики. Теплота образования составляет 1,61 МДж/кг. Энтальпия образования – 1,73 МДж/кг. Теплота взрыва – 3,29 МДж/кг. Фугасность – 340 мл. Бризантность (песочная проба, заряд 0,5 г) – 42,5 г, гремучая ртуть – 16,5 г. Объем продуктов взрыва – 1097 л/кг. Скорость детонации в 5,5 мм трубке при плотности 0,88 г/см³ – 4510 м/с, 1,1 г/см³ – 5100 м/с.

Применение. Впервые был получен Байером и Виллигером в 1900 г. сливанием растворов сульфата аммония, формалина и перекиси водорода.

Известен ряд патентов (1912 г., 1917 г.) по снаряжению капсюлей-детонаторов и взрывных заклепок, однако на практике не применяется из-за недостаточной стойкости и опасности в обращении. Иногда используется как доступное ИВВ для инициирования детонации ВВ в лабораториях [45; 11, с. 54].

Диазосоединения. Многие диазосоединения сильновзрывчаты, обладают высокой инициирующей способностью. По причине невысокой химической и термической стойкости, а также опасности в обращении большинства подобных веществ, находят практическое применение только ДАНФ и перхлорат 2,4-динитрофенилдиазония.

Диазодинитрофенол, 4,6-динитробензол-2-диазо-1-оксид, ДХД, ДАНФ, DINOL, DDNP, $C_6H_2N_4O_5$. *Физико-химические свойства.* Желто-оранжевые кристаллы (технический имеет цвет от зеленого до темно-коричневого). Хорошо растворим в ацетоне (6,0 г на 100 г при 25 °С), соляной кислоте. Плохо растворим в воде – 0,08 % при 25 °С, этаноле 0,84 г на 100 г растворителя при 25 °С, 2,43 г на 100 г при 50 °С. Практически нерастворим в эфире. При хранении на прямом солнечном свете быстро темнеет по поверхности, однако устойчив на рассеянном свете. Не совместим с азидом свинца. При обычной температуре не реагирует с концентрированными кислотами, но разлагается щелочами. При действии азиды натрия образует натриевую соль динитроазидофенола. Значительно более устойчив при хранении и нагревании, чем гремучая ртуть и более безопасен. Скорость горения составляет 2,15 см/с (заряд бронированный коллодием, 4 мм диаметром, плотность 1,45 г/см³). В отличие от большинства ИВВ малотоксичен. Плотность – 1,71 г/см³. Насыпная плотность – 0,3–0,9 г/см³. Плохо прессуется и обладает плохой сыпучестью. Хранят обычно в воде. Совместим почти со всеми ВВ (кроме азидов) и конструкционными материалами.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура плавления составляет 157 °С, температура вспышки – около 177 °С. Чувствителен к огню, при поджигании в количестве нескольких граммов или в закрытой емкости детонирует. Увлажненный теряет восприимчивость к удару и не детонирует

от КД. Чувствительность к удару для груза 0,5 кг (5 ударов) – 22,5 см, в этих условиях гремучая ртуть – 15 см, азид свинца 17,5 см, ТНРС – 20 см. Склонен к электризации.

Иницирующая способность. Для тротила и тетрила минимальный иницирующий заряд 0,163 г и 0,075 г (в этих условиях для гремучей ртути 0,21 г и 0,165 г, для азид свинца 0,16 г и 0,03 г соответственно). Является лучшим инициатором чем азид свинца для малочувствительных ВВ типа пикрата аммония. Не перессовывается при запрессовке под давлением 9136 кг/см².

Энергетические характеристики. Теплота образования составляет 0,99 МДж/кг, энтальпия образования – 0,92 МДж/кг. Теплота взрыва – 3,44 МДж/кг, скорость детонации – 4400 м/с при 0,9 г/см³, 6600 м/с при 1,5 г/см³, 6900 м/с при 1,0 г/см³. Объем продуктов взрыва – 876 л/кг, фугасность – 326 мл. Бризантность – 95–97 % от тротила (песочная проба).

Применение. Впервые был получен П. Гриссом еще в 1858 г., однако интерес к нему как к ИВВ был проявлен только в 1933 г. и уже через год в США был получен патент на промышленное производство. С тех пор используется, в основном, в нетоксичных ударных воспламенительных составах, электродетонаторах (в детонаторах возможно использование в самостоятельном виде и в смесях), во взрывных заклепках.

Перхлорат 2,4-динитрофенилдиазония. *Физико-химические свойства.* Желтоватые кристаллы, плохо растворимые в воде. Плотность – 1,65 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки – 230 °С, достаточно термостоек. Менее чувствителен к механическим воздействиям, чем гремучая ртуть и азид свинца. К наколу чувствительность на уровне гремучей ртути. Чувствительность к удару грузом 1 кг (50 % взрывов с высоты) – 18 см.

Иницирующая способность. Минимальный иницирующий заряд по тротилу, тетрилу, гексогену и ТЭНу (без чашечки) – 0,03, 0,014, 0,007 и 0,006 г.

Применение. Предложено применение в КД в самостоятельном виде или в качестве добавки к БВВ в детонаторах [45; 11, с. 50].

Комплексные соединения. Комплексные соединения представляют интерес с точки зрения возможности регулировки их физико-химических характеристик путем варьирования их структурных составляющих. Наиболее известными и перспективными являются соединения тетразола с аммиакатами перхлоратов переходных металлов.

Тетраамин-цис-бис кобальта III перхлорат, $Co(NH_3)_4(CNO_2)_2N_8ClO_4$, ВНСР. Физико-химические свойства. Оранжево-красные игольчатые кристаллы, нерастворимые в холодной воде. Негигроскопичен и малотоксичен. Плотность – 2,05 г/см³. Насыпная плотность – 0,3–0,6 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки – 269 °С, продукт термостоек до ~200 °С. Не изменяется при выдержке в течение 1 года при 70 °С (в запаянной ампуле). Чувствителен к огню. Устойчив к разрядам статического электричества. Светочувствителен, способен воспламеняться от луча неодимового лазера. По восприимчивости к механическим воздействиям близок к БВВ. Чувствительность к удару для груза 2,5 кг – 17 см. ТЭН, гексоген и азид свинца в этих условиях дают 12, 24 и 4 см соответственно.

Иницирующая способность. Как и подобные комплексы, вещество ВНСР имеет ярко выраженный участок перехода горения в детонацию (ПГД) и обладает оптимальной плотностью запрессовки. При высоких плотностях возникает эффект перепрессовки, при низких же плотностях ускорение фронта воспламенения оказывается недостаточным для образования детонационной волны. Минимальный иницирующий заряд в КД для гексогена 0,05 г. Время перехода горения в детонацию 10–11 мкс.

Энергетические характеристики. Теплота термического разложения составляет 3,32 МДж/кг. Измеренная скорость детонации – 7117 м/с при плотности 1,79 г/см³. Расчетная скорость детонации – 8100 м/с при плотности 1,97 г/см³.

Применение. Впервые был предложен в качестве ИВВ сравнительно недавно, в 1986 г. Осваивается в качестве ИВВ для применения в системах лазерного иницирования, пленочных зарядов для взрывных технологий (передача светового импульса

от лазера к КД осуществляется, например, через оптоволоконные каналы), в безопасных электродетонаторах. Применяется в системах пироматериалов ракет. Может быть использован в КД в индивидуальном виде без вторичного заряда БВВ.

Пентаамин кобальта III перхлорат, $Co(NH_3)_5ClO_4$, НСР. Физико-химические свойства. Малотоксичен. Плотность – 2,03 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Устойчив при 6 ч выдержке при 200 °С. Температура вспышки (5 с) – 257 °С.

Иницирующая способность. Имеет участок ПГД в диаметре 6,25 мм при плотности 1,60–1,63 г/см³ – 4,5 мм. Минимальный иницирующий заряд в КД для гексогена – 0,15 г.

Энергетические характеристики. Скорость детонации составляет 6650 м/с при плотности 1,61 г/см³.

Применение. Прошел испытания в прострелочно-взрывной аппаратуре.

Перхлорат 5-гидразинотетразол ртути II, $CH_4Cl_2HgN_6O_8$. Физико-химические свойства. Продукт негигроскопичен, не растворим в воде и большинстве органических растворителей, растворим в ДМСО (диметилсульфоксид). Плотность – 3,45 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки (5 с) – 186 °С. Это вещество имеет очень низкий порог чувствительности к импульсному лазерному излучению в видимой и ближней ИК-области спектра и может применяться в виде пленочных зарядов с оптически прозрачными полимерами.

Иницирующая способность. Минимальный иницирующий заряд в КД для гексогена – 0,015 г.

Энергетические характеристики. Скорость детонации составляет около 6 000 м/с при плотности 3,4 г/см³.

Применение. Предложен для применения в системах лазерного инициирования.

Вещество «Циркон», (GTG), $[Cd(NH_2NHCONHNH_2)_3](ClO_4)_2$. Физико-химические свойства. Токсичен.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки 350 °С. Чувствительность к удару на копре К-44-1 – 25 см (азид свинца 35 мм).

Иницирующая способность. Размер преддетонационного участка при диаметре 4 мм и плотности 1,6 г/см³ – 2,7 мм.

Энергетические характеристики. Скорость детонации – 4400 м/с при плотности 1,95 г/см³. Теплота взрыва – 3,9 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 730 л/кг.

Применение. Рекомендован к применению в оптических системах иницирования. Рекомендован для использования в безопасных КД.

Комплекс состава $(NH_4)_2[Fe(NT)_4(H_2O)_2]$, где (NT-нитротетразол). *Физико-химические свойства.* Кристаллы оранжевого цвета. Плотность составляет 2,18 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Чувствительность к удару – 25 см (ТЭН – 14 см, азид свинца – 9,6 см, стифнат свинца – 14 см). По другим данным чувствительность к удару – 12 см, груз 2,5 кг.

Энергетические характеристики. Скорость детонации – 7140 м/с при плотности 1,71 г/см³.

Применение. Предложен для использования в безопасных средствах иницирования [45; 11, с. 46].

Соли ароматических нитрофуроксанов.

Калия 4,6-динитро-7-гидрокси-7-гидробензофуроксанид, $C_6H_3N_4O_7K$, KDNBF. *Физико-химические свойства.* Светло-оранжевые или темно-красные кристаллы, плохо растворимые в воде (0,24 г на 100 г воды при 30 °С). При 30 °С и влажности 90 % гигроскопичность составляет 0,27 %. Нетоксичен. Плотность – 2,21 г/см³.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура вспышки 207–210 °С. Начало интенсивного разложения выше 190 °С. Чувствительность к удару при грузе 100 г: 1 взрыв из 6 ударов при высоте падения груза 20 см (ТНРС – 20 см, гремучая ртуть – 12 см). Чувствительность к трению также аналогична ТНРС.

Иницирующая способность. Псевдоиницирующее ВВ, для подрыва требует 0,1 г азид свинца или 0,3 г гремучей ртути.

Энергетические характеристики. Бризантность по песчаной пробе – 44,8 г песка (93 % от бризантности ТНТ). В тех же условиях гремучая ртуть – 27,3–59 % ТНТ, азид свинца – 40 % ТНТ, диазодинитрофенол – 94–105 % ТНТ. Объем продуктов взрыва – 604 л/кг. Теплота взрыва – 3,04 МДж/кг.

Применение. Впервые получен в 1898 г. (Drost). Производство началось в США вскоре после Второй мировой войны. Используется в нетоксичных смесях с окислителем (KNO_3) и добавками, повышающими чувствительность к удару (стеклянный порошок), для ударного воспламенения пиротехники и порохов, а также в ударных смесях вместо ТНРС.

Пикрилхлорид – 2,4,6-тринитрохлорбензол, $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{Cl}$.
Физико-химические свойства. Бесцветный кристаллический порошок, желтеющий на свету. Практически не растворим в воде (0,018 г на 100 г воды при 15 °С, 0,346 г на 100 г воды при 100 °С), очень хорошо растворим в ацетоне (212 г на 100 г при 17 °С, 546,4 г на 100 г при 50 °С). В горячей воде гидролизует до пикриновой кислоты. Плотность составляет 1,76 г/см³. Токсичен. При попадании на кожу тринитро- и динитрохлорбензолов появляются дерматиты и ожоги.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура плавления – 85 °С.

Энергетические характеристики. Скорость детонации – 7200 м/с при 1,74 г/см³. Фугасность – 300 мл.

Применение. В Первую мировую войну частично использовался в качестве ВВ (выделяющиеся при взрыве хлор и хлороводород вызывали раздражающее действие). Используется как сырье для производства нитросоединений ароматического ряда.

При обработке пикрилхлорида аммиаком может быть получен:

Пикрамид или тринитроанилин, $\text{C}_6\text{H}_2\text{NH}_2(\text{NO}_2)_3$. *Физико-химические свойства.* Желтое или оранжево-красное кристаллическое вещество почти нерастворимое в воде, умеренно растворим в спирте и эфире, хорошо в ацетоне (212 г на 100 г ацетона при 17 °С), толуоле, этилацетате, ледяной уксусной кислоте и других. С некоторыми ВВ образует эвтектические смеси.

Восприимчивость к нагреванию и внешним воздействиям. Температура плавления составляет 188–189 °С с разложением. Температура вспышки – около 350 °С.

Энергетические характеристики. Теплота взрыва – 4,14 МДж/кг. Плотность составляет 1,762 г/см³. Скорость детонации – 7300 м/с при плотности 1,72 г/см³. Фугасность – 296 мл. Объем продуктов взрыва – 724 л/кг.

Применение. Может применяться в боеприпасах, но обычно служит сырьем для производства других ВВ [45; 11, с. 57].

4.1.4. Иницирующие смеси

Помимо индивидуальных ИВВ, иницирующей способностью обладают их смеси, а также смеси, либо вовсе не содержащие ИВВ, либо содержащие как взрывчатые, так и невзрывчатые компоненты. Такие смеси называются иницирующими. Они могут быть использованы в тех же целях, что и индивидуальные ИВВ.

Однако применяются иницирующие смеси в основном в инициаторах воспламенения, хотя не исключено их использование в некоторых видах инициаторов взрыва обычно в качестве вспомогательного элемента.

Иницирующие смеси, предназначенные для сообщения теплового импульса заряду ВВ, пороховым и ракетным зарядам, называются воспламенительными составами и используются для снаряжения капсюлей-воспламенителей, капсюльных втулок, воспламенителей, усилителей, огнепроводных шнуров и т. п.

Воспламенительные составы или содержат ИВВ, или нет. Они действуют от удара, накола жалом, трения и теплового импульса и в соответствии с этим иногда называются ударными, накольными, терочными и тепловыми.

Удар, накол, трение или нагрев вызывают воспламенение воспламенительных составов, и дальнейший процесс их превращения обычно всегда протекает в форме горения.

Воспламенительные составы, содержащие ИВВ. Воспламенительные составы должны обладать достаточной воспламе-

няющей способностью, обеспечивающей безотказное воспламенение последующих элементов цепей инициирования. Воспламеняющая способность в конечном счете определяет надежность действия боеприпасов и поэтому является важнейшей характеристикой воспламенительных составов.

Надежность воспламенения зависит также от массы заряда воспламенительного состава. С увеличением массы воспламеняющая способность возрастает, однако это происходит лишь до некоторого предела. Применение слишком больших воспламенительных зарядов ухудшает условия воспламенения, так как образующийся мощный луч пламени может разрушать поверхностные элементы воспламеняемого объекта до их возгорания.

Воспламеняющая способность зависит от рецептуры составов и определяется структурой пламени, его температурой, длиной и временем действия. Следовательно, для обеспечения оптимальной воспламеняющей способности воспламенительные составы должны содержать компоненты, дающие при сгорании достаточное количество твердых продуктов.

Воспламеняющая способность увеличивается также с ростом температуры пламени, что достигается подбором соотношения компонентов состава.

Индивидуальные ИВВ обладают сравнительно невысокой воспламеняющей способностью вследствие исключительной кратковременности действия и отсутствия в продуктах их превращения твердых частиц.

Для обеспечения нужной воспламеняющей способности и других необходимых качеств в воспламенительные составы на основе ИВВ вводятся так называемые регулирующие добавки: горючие и окислители.

В качестве горючих используют вещества, которые при сгорании образуют большое количество твердых продуктов. К таким веществам относятся трехсернистая сурьма или антимоний SbS_3 , роданистый свинец $Pb(CNS)_2$, силицид кальция $SiCa$ и другие.

Окислителями в воспламенительных составах являются вещества, богатые кислородом и способные сравнительно легко

отдавать его, такие как хлорат калия (бертолетова соль) $KClO_3$, нитрат бария $Ba(NO_3)_2$, перекись бария BaO_2 , свинцовый сурик PbO_4 , нитрат калия (калиевая селитра) KNO_3 и др. Окислители обеспечивают сгорание компонентов воспламенительного состава.

Из ИВВ в воспламенительных составах применяются гремучая ртуть, тенерес, тетразен, стифнаты калия и некоторые другие. Они придают составу необходимую чувствительность к простым начальным импульсам и создают условия для взаимодействия горючего с окислителем.

В зависимости от конкретного назначения и требований, предъявляемых к данному составу, содержание компонентов в нем может быть различным.

Ударные, напольные и терочные составы содержат в своей рецептуре гремучую ртуть, хлорат калия и антимоний. Напольные составы, применяющиеся в капсулах-воспламенителях различных взрывных устройств, отличаются от ударных и терочных, применяемых для воспламенения пороховых зарядов в стрелковом оружии и артиллерии, повышенным содержанием гремучей ртути. Это связано с тем, что напольные составы действуют от накола и должны обладать более высокой чувствительностью по сравнению с ударными, действующими от мощного ударного импульса.

Гремучертутные ударные составы, содержащие хлорат калия, вызывают коррозию канала ствола оружия вследствие образования хлоридов, которые притягивают атмосферную влагу, переходят в раствор и диссоциируют на ионы. Ионы хлора вызывают интенсивное окисление железа, и канал ствола покрывается ржавчиной. Радикальным средством борьбы с коррозией является замена гремучертутнохлоратных составов другими, которые получили название некорродирующих или неоржавляющих ударных составов. В этих составах вместо гремучей ртути применяется тенерес и тетразен, в качестве окислителя – нитрат бария, а в качестве горючих – антимоний, силицид кальция, ферросилиций, алюминий.

Наиболее часто встречающиеся составы приведены в табл. 14.

Таблица 14. Воспламенительные составы

Составы	Содержание, %			
	Гремучая ртуть	Хлорат калия	Антимоний	Сера
Ударные составы:				
артиллерийские	25,0	37,5	37,5	–
минометные	35,0	40,0	25,0	–
винтовочные	16,7	55,5	27,8	–
Накольный состав	50,0	25,0	25,0	–
Терочный состав	–	60,0	30,0	10,0

В военной технике и народном хозяйстве широко применяются электрические инициаторы, воспламенительный состав которых действует от теплового импульса, получаемого от электрического источника тока. Основной частью электрических инициаторов является электрический воспламенитель, представляющий собой мостик сопротивления, окруженный воспламенительным составом.

В этих воспламенительных составах чаще всего используется теллурид и в некоторых случаях ацетиленид меди, азид свинца и др. [1, с. 33].

4.2. Классификация бризантных взрывчатых веществ

В настоящее время известно большое число БВВ, однако практическое значение имеют лишь немногие из них.

ВВ могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Примерами твердых ВВ являются тротил, гексоген, октоген, тэн; жидких – нитроглицерин, нитроглицоль, диглицольдинитрат; газообразных – смесь водорода с кислородом, метана с воздухом. Практическое применение в промышленности и военном деле имеют только твердые и жидкие ВВ [9, с. 7].

БВВ – это группа ВВ, характеризующихся значительно большим, чем у ИВВ, воздействием на окружающую среду, способных к устойчивой детонации и используемые во взрывной технике как средство дробления, разрушения горных пород, соору-

жений, конструкций и в других целях. Название бризантные происходит от французского слова *brisant* – разбивающий, дробящий.

БВВ по сравнению с ИВВ имеют меньшую чувствительность к простым импульсам (луч пламени, удар, накол), и в обычных условиях применения с помощью этих импульсов вызвать детонацию БВВ практически невозможно. Поэтому при использовании БВВ их детонацию возбуждают взрывным импульсом с помощью КД и часто с применением дополнительных детонаторов.

Особенностью БВВ является меньшее ускорение взрывчатого превращения или больший период нарастания его скорости до скорости детонации, чем у ИВВ. Вследствие этого максимальная скорость взрывчатого превращения (скорость детонации) в данных условиях может быть достигнута лишь в значительных по величине зарядах БВВ по сравнению с инициирующими.

БВВ имеют гораздо большие, чем у ИВВ, взрывчато-энергетические характеристики (теплоту взрыва, скорость детонации, удельный объем газообразных продуктов и т. д.).

Небольшая чувствительность и высокие взрывчато-энергетические характеристики определили основное назначение БВВ. Они служат для разрушения и дробления окружающих объектов и применяются для изготовления разрывных зарядов в боеприпасах (снарядах, минах, боевых частях ракет) и подрывных средствах; некоторые БВВ используются в детонаторах, КД и детонирующих шнурах. Значительное количество БВВ применяется в качестве компонентов ракетных топлив и порохов. В этом случае они служат не для разрушения, а для сообщения движения ракете или снаряду.

По химическому составу БВВ подразделяют на две большие группы: индивидуальные соединения и взрывчатые смеси [1, с. 40].

4.2.1. Индивидуальные бризантные взрывчатые вещества

Это ВВ, химическое превращение которых протекает в форме детонации. Менее чувствительны к внешним воздействиям, чем инициирующие. Их детонацию легче вызвать ударно-вол-

новым воздействием, чем от луча огня. Практически это осуществляется с помощью небольших масс ИВВ, помещенных в капсуль-детонатор, детонация в котором возбуждается от луча огня и контактно передается вторичному ВВ. Однако некоторые БВВ все же обладают достаточно высокой чувствительностью к удару и весьма взрывоопасны в чистом виде (нитроглицерин, ТЭН, пироксилин), другие БВВ не детонируют даже при простреле винтовочной пулей (динитробензол, тротил), что непосредственным образом отражается на области их применения [45; 11, с. 59]. В индивидуальных ВВ процесс химического превращения протекает одностадийно в виде реакции мономолекулярного распада [5, с. 9].

Данную группу ВВ составляют преимущественно органические вещества, содержащие одну или несколько групп NO_2 . В зависимости от характера атома, с которым связаны нитрогруппы, различают: С-нитросоединения ($\text{C}-\text{NO}_2$), N-нитросоединения – нитрамыны ($\text{N}-\text{NO}_2$) и О-нитросоединения – эфиры азотной кислоты ($\text{O}-\text{NO}_2$) [9, с. 8]:

а) нитроароматические углеводороды; например, тринитротолуол или тротил $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$;

б) нитроамины; например, тринитрофенилметилнитрамин или тетрил $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{N}(\text{NO}_2)\text{CH}_3$;

в) нитроэфиры; азотнокислые эфиры многоатомных спиртов; например, глицеринтринитрат или нитроглицерин $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$, пентаэриттетранитрат или ТЭН – $\text{C}(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4$.

Приведенная классификация индивидуальных БВВ не охватывает всех взрывчатых соединений, которых насчитывается огромное количество и многие из которых не могут быть строго отнесены к той или иной группе. Здесь приведены основные наиболее характерные группы БВВ, нашедшие более или менее широкое применение [1, с. 41].

К этой группе ВВ относятся также соли азотной кислоты. Наибольшее применение имеет аммиачная селитра, а также нитраты органических оснований (гуанидина, мочевины, метиламина и др.).

Взрывчатые свойства индивидуальных соединений обусловлены наличием в их молекулах нитрогрупп в определенном соотношении с числом атомов углерода и водорода, входящих в молекулу. Это соотношение должно обеспечивать минимально необходимый для появления взрывчатых свойств кислородный баланс [9, с. 8].

4.2.2. Бризантные взрывчатые вещества – ароматические нитросоединения

Среди всех промышленных и боевых ВВ ароматические нитросоединения занимают первое место по производству и применению.

Тротил $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$. Тротил (2,4,6-тринитротолуол, α -тринитротолуол или симметричный тринитротолуол, тол, ТНТ) впервые был получен в 1863 г. Начало применения тротила в военной технике относится к 1902 г.

Физико-химические свойства. Тротил – кристаллическое вещество желтоватого цвета. Плотность монокристалла составляет 1,71 г/см³; гравиметрическая плотность – 0,75–0,85 г/см³.

Тротил хорошо прессуется, причем при давлениях прессования порядка 3500–4000 кг/см² может быть получена плотность 1,61–1,62 г/см³.

При нагревании тротил плавится без разложения. Температура плавления химически чистого тротила – 80–85 °С. В технике обычно пользуются не температурой плавления, а температурой затвердевания, что теоретически означает одно и то же (точка фазового перехода), но температура затвердевания практически проще определяется. Температура фазового перехода является весьма точным критерием чистоты вещества, Поэтому первым и важнейшим требованием в ТУ на тротил является температура затвердевания, по которой и устанавливается категория промышленного тротила. Чем выше температура затвердевания, тем меньше технологических примесей (динитротолуола, изомеров тротила и др.). В зависимости от температуры затвердевания установлены следующие категории тротила:

- I категория – 80,2 °С,
- II категория – 80,0 °С,
- III категория – 79,0 °С,
- IV категория – ниже 79 °С.

Плотность расплавленного (жидкого) тротила меньше твердого и составляет примерно 1,45 г/см³. Поэтому при затвердевании происходит уменьшение объема (усадка), что должно учитываться при изготовлении зарядов методом отливки. Литой тротил может иметь плотность 1,54–1,61 г/см³.

Гигроскопичность тротила незначительная – не более 0,05 %. В холодной воде практически нерастворим: при 25 °С в 100 г воды растворяется 0,015 г тротила; при температуре кипения воды растворимость достигает 0,15 %, что является достаточно большой величиной и приводит к значительным потерям тротила при его производстве во время промывок горячей водой.

Тротил хорошо растворяется во многих органических растворителях – бензоле, толуоле, ацетоне. Например, в 100 г ацетона растворяется при обычной температуре около 130 г тротила.

Тротил относится к классу ароматических полинитросоединений. Поэтому тротил в химическом отношении является веществом малоактивным, обладающим низкой реакционной способностью, и это надо считать его большим преимуществом, как ВВ. При хранении тротила не требуется ни герметической укупорки, ни отапливаемых складских помещений.

Будучи веществом нейтральным, тротил не реагирует с металлами и их окислами ни при охлаждении, ни при нагревании.

Концентрированная серная и азотная кислоты при обычной температуре растворяют тротил, но не взаимодействуют с ним и только при температуре больше 100 °С происходит разрушение тротила с образованием разнообразных продуктов. Так, азотная кислота окисляет тротил в тринитробензолную кислоту. Серноазотная смесь окисляет тротил с разрушением бензольного ядра и с образованием газообразных продуктов и тетранитрометана.

Тротил взаимодействует с водными и спиртовыми растворами щелочей, образуя сложные металлические производные от

темно-коричневого или ярко-красного до малинового цвета. Взаимодействие со щелочами может служить качественной реакцией на тротил.

Металлические производные тротила являются высокочувствительными веществами, подобными ИВВ. Следовательно, щелочи повышают чувствительность тротила. Поэтому по техническим условиям в готовом тротиле щелочность не допускается.

Тротил взаимодействует с аммиаком подобно тому, как он реагирует со щелочами. Реакция с аммиаком опасна в тех случаях, когда боеприпасы снаряжены смесью аммонийной селитры NH_4NO_3 и тротила. При медленном воздействии NH_4NO_3 на металл корпуса выделяется аммиак NH_3 , который и образует с тротилом окрашенные высокочувствительные соединения, опасные в обращении и боевом применении. Эти соединения постепенно превращаются в смолистые вещества, которые уже не обладают выраженными взрывчатыми свойствами. Образование нестойких и опасных окрашенных соединений особенно энергично происходит при действии на тротил водного или увлажненного аммиака, что являлось причиной многочисленных катастроф с боеприпасами, снаряженными аммонийно-селитренными ВВ на основе тротила, особенно при разрядке боеприпасов с помощью пара.

Солнечный свет действует на тротил (происходит фотоизомеризация), вызывая его потемнение, понижение температуры затвердевания и повышение чувствительности. Поэтому необходимо при хранении изолировать тротил от действия света.

Тротил имеет весьма высокую химическую стойкость. При обыкновенной температуре он может храниться в течение неопределенно длительного времени. Заметное разложение тротила начинается при температуре больше $150\text{ }^\circ\text{C}$, т. е. гораздо выше температуры его затвердевания (плавления), что позволяет изготавливать тротилловые заряды методом заливки и осуществлять в процессе производства сушку тротила в расплавленном состоянии при $120\text{ }^\circ\text{C}$.

Тротил, подобно многим нитросоединениям, ядовит, и при работе с ним необходимо соблюдать меры безопасности.

Восприимчивость к внешним воздействиям и энергетические характеристики. Тротил имеет невысокую чувствительность ко всем видам простейших импульсов, причем жидкий тротил чувствительнее твердого. Температура вспышки тротила составляет 290–300 °С. Тротил с трудом зажигается от спички, зажечь его гораздо труднее, чем бумагу или керосин. При воздействии лучом пламени тротил спокойно и медленно горит коптящим пламенем. Горение небольшого количества тротила можно потушить водой. Даже в больших количествах (десятки и сотни килограммов) горение происходит без взрыва, и лишь в закрытом объеме (например, в корпусе снаряда) может перейти в детонацию. При быстром нагревании до 240 °С тротил детонирует.

Тротил обладает наиболее низкой среди основных БВВ чувствительностью к механическим воздействиям, что делает сравнительно безопасным обращение с тротилом и является его большим достоинством. Чувствительность тротила к удару по стандартной пробе ГОСТ 4545 [22] (груз 10 кг, высота 25 см) составляет 4–8 %.

Тротил можно сверлить, пилить, т. е. подвергать механической обработке. Однако при этом необходимо применять специальный инструмент и соблюдать меры предосторожности.

Чувствительность тротила к механическим воздействиям сильно возрастает при наличии примесей веществ с большой твердостью (песка, стекла и др.). Так, при содержании песка около 0,25 % чувствительность тротила возрастает в несколько раз (становится порядка 30 %). Поэтому засоренность тротила не допускается. Технические условия предусматривают жесткие нормы по содержанию неорганических примесей (зола, кремнезема) в готовом тротиле.

Чувствительность тротила зависит от дисперсности: с укрупнением частиц чувствительность возрастает (может достигать 20–25 %).

К прострелу обыкновенной пулей и удару осколков тротил малочувствителен, как правило не загорается и не детонирует. Тротиловая шашка не взрывается при падении на землю с любой высоты.

Тротил обладает удовлетворительной восприимчивостью к детонации, но он также менее чувствителен по сравнению с другими основными БВВ. Восприимчивость к детонации прессованного тротила характеризуется следующими величинами предельного инициирующего заряда: гремучей ртути – 0,30 г, азида свинца – 0,09 г.

Порошкообразный и прессованный тротил легко детонирует от капсуля-детонатора № 8, а литой дает отказы. В последнем случае для безотказной детонации необходимо применение дополнительного детонатора из тетрила или из прессованного тротила.

Тротил не теряет восприимчивости к детонации и взрывчатых свойств, если его взрывать под водой.

Взрывчато-энергетические характеристики тротила при плотности заряда $\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$ следующие:

$$D = 7\,000 \text{ м/с};$$

$$Q_v = 4,19 \text{ МДж/кг};$$

$$W = 730 \text{ л/кг};$$

$$T = 3500 \text{ }^\circ\text{К}.$$

Примечание. Теплота взрыва тротила $Q_v = 4,19 \text{ МДж/кг}$ принимается как эталон для расчета.

Работоспособность тротила по расширению в свинцовой бомбе составляет $\Delta W = 305 \text{ мл}$. Бризантность по обжатию свинцовых столбиков – $\Delta H = 16 \text{ мм}$.

Тротил обладает практически достаточной устойчивостью к детонации. Наименьший критический диаметр заряда тротила без оболочки составляет 7 мм. Заряды меньшего диаметра не дают устойчивой детонации.

Применение тротила. Тротил удачно сочетает ряд ценных свойств: высокую химическую стойкость, малую чувствительность, химическую инертность, сравнительно низкую температуру затвердевания и достаточно высокие взрывчато-энергетические характеристики. В силу этого тротил и в настоящее время является одним из основных БВВ. В чистом виде он используется для снаряжения боеприпасов практически всех типов, для изготовления подрывных средств и промежуточных детонаторов.

Тротил находит широкое применение и в виде сплавов и смесей с другими взрывчатыми и невзрывчатыми веществами. Эти сплавы и смеси используются для снаряжения боеприпасов специального назначения (кумулятивных, зажигательных, морских снарядов, мин, торпед и т. д.). Недостатком тротила является его меньшая фугасность сравнительно с гексогеном. Поэтому для мощных фугасных боеприпасов в настоящее время тротил в чистом виде не применяется. Другим недостатком тротила можно считать невозможность снаряжения заливкой боеприпасов малых калибров, взрыватели к которым не имеют детонаторов. Указанный недостаток обуславливается тем, что литой тротил недостаточно восприимчив к взрывному импульсу КД или маломощного детонатора [1, с. 44].

Динитронафталин, $C_{10}H_6(NO_2)_2$. ВВ со слабо выраженными взрывчатыми свойствами. Динитронафталин применялся для снаряжения боеприпасов во время Второй мировой войны. Его получают действием нитрующей смеси на моонитронафталин или непосредственно из нафталина с соответственным увеличением нитрующей смеси.

В техническом динитронафталине обычно содержится небольшая массовая доля (от 5 до 10 %) моонитронафталина и продуктов окисления нафталина.

В заводских условиях динитронафталин получают в виде мелких гранул желтовато-коричневого цвета плотностью около 1500 кг/м^3 .

Температура плавления технического продукта составляет около $50 \text{ }^\circ\text{C}$. При медленном нагревании динитронафталина до $318 \text{ }^\circ\text{C}$ происходит его разложение со вспениванием.

Динитронафталин малогигроскопичен. В воде и в спирте почти нерастворим, но растворяется в ацетоне, бензоле, ксилоле, уксусной кислоте. С металлами не взаимодействует. Стоек к нагреванию. Отличается очень низкой чувствительностью к механическим воздействиям, но, подобно ТНТ, способен детонировать.

Динитронафталин – весьма слабое ВВ, Производимое им расширение в свинцовой бомбе не превышает 80 мл.

Вследствие малой мощности динитронафталин самостоятельного значения как ВВ не имеет. Он широко применяется в смесях с аммонийной селитрой, известных под названием динафталинов или динафтитов. Наиболее часто применявшаяся смесь содержала 88 % аммонийной селитры в 12 % динитронафталина. Указанный состав использовался в годы Великой Отечественной войны для снаряжения артиллерийских снарядов и мин с корпусами из сталистого чугуна.

К этой группе ВВ так же относятся тринитробензол, ксилитл и пикриновая кислота [2, с. 38].

4.2.3. Бризантные взрывчатые вещества – нитроамины

БВВ, относящиеся к нитроаминам, стоят на втором месте по производству после нитросоединений. Промышленностью из этого класса ВВ в большем количестве производится гексоген и октоген.

Гексоген, $C_3H_6N_6O_6$. Гексоген (циклотриметилентринитроамин, циклонит, RDX, T_4) впервые был получен в 1899 г., но изучение его свойств началось после Первой мировой войны. Работами советских ученых в 1932–1933 гг. была доказана перспективность нового ВВ, имеющего неограниченную сырьевую базу. В последующие годы и особенно после Второй мировой войны гексоген стал важнейшим БВВ.

Физико-химические свойства. Гексоген – белое кристаллическое вещество с плотностью 1,816 г/см³. Флегматизированный гексоген изготавливается в виде гранул слабо-розового цвета. При прессовании под давлением 1500–2000 кг/см² достигается плотность 1,56–1,73 г/см³. Чистый гексоген прессуется очень плохо.

Прессованные заряды непрочны, расслаиваются на части и легко растрескиваются, особенно при резких изменениях температуры. Плохая прессуемость чистого гексогена объясняется структурой кристаллов и отсутствием пластичного пограничного слоя в поликристаллах. Флегматизированный гексоген прессуется удовлетворительно. Температура плавления гексогена – 204,5 °С, причем плавление происходит с разложением.

Гексоген практически негигроскопичен – около 0,1 % (для флегматизированного гексогена – 0,007 %). Плохо растворяется в воде (в холодной – 0,01 %, в горячей – 0,15 %), эфире, спирте и хлороформе. Несколько растворяется в ацетоне (около 7 %).

По химической природе гексоген относится к гетероциклическим аминам. В химическом отношении гексоген – вещество нейтральное. С техническими металлами не взаимодействует. Не реагирует с разбавленными щелочами и кислотами. Концентрированная серная кислота разлагает гексоген с образованием закиси азота N_2O и муравьиного альдегида CH_2O .

Гексоген не взаимодействует с пленками из полихлорвиниловых смол, полиэтилена, полиметилметакрилата, тефлона и полиизобутилена, формальдегидных пластмасс.

Гексоген обладает высокой химической стойкостью, превосходящей стойкость тетрила. При нагревании он начинает разлагаться с заметной скоростью только при 180–200 °С. Примеси сильно снижают стойкость гексогена. Взаимодействие солнечного света не вызывает его изменений. Гексоген (а также тэн) при пересыпании, просеивании сильно электризуется.

Восприимчивость к внешним воздействиям и энергетические характеристики. По чувствительности ко всем видам начального импульса гексоген превосходит тетрил, но уступает тэну. Чувствительность к удару по стандартной пробе составляет 70–80 %. При простреле пульей (осколком) детонирует.

Температура вспышки чистого гексогена равна 230 °С. При зажжении лучом огня он горит ярким пламенем, при этом возможен переход горения в детонацию.

Гексоген обладает высокой восприимчивостью к детонации (большей, чем тетрил). Заряды из гексогена при любой плотности и при диаметре от 5 мм полностью детонируют от КД № 8. Предельные инициирующие заряды по гексогену составляют 0,05 г азиды свинца или 0,19 г гремучей ртути. У флегматизированного гексогена взрывчатые свойства ниже, чем у чистого. Чувствительность флегматизированного гексогена в несколько раз меньше нефлегматизированного.

Гексоген – это ВВ с отрицательным кислородным балансом, равным 22 %. При взрыве гексогена образуются продукты как полного, так и неполного окисления, но не происходит выработки свободного углерода.

Взрывчато-энергетические характеристики чистого гексогена при плотности $\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$ следующие:

$$D = 8100 \text{ м/с};$$

$$Q_v = 5,53 \text{ МДж/кг};$$

$$W = 910 \text{ л/кг};$$

$$T = 4400 \text{ }^\circ\text{К}.$$

Работоспособность по расширению в свинцовой бомбе $\Delta W = 470 \text{ мл}$. Бризантность по обжатию свинцовых столбиков $\Delta H = 16 \text{ мм}$ (при заряде 25 г). Гарантийный срок хранения в складских условиях составляет 20 лет. Гексоген применяют в сплавах с тротилом, также в пластичных ВВ типа гексопластов, в эластичных детонирующих шнурах. На его основе изготавливают такие ВВ, как А-IX-1, А-IX-2, А-IX-3 (см. цв. вклейку, фото 1–4).

Применение гексогена. Повышенная чувствительность и плохая прессуемость гексогена ограничивает применение его в чистом виде. Он используется иногда для изготовления детонаторов и вторичных зарядов в КД. В прошлом применялся в детонирующих шнурах. Получил широкую известность флегматизированный гексоген (под обозначением А-IX-1), а также гексоген в смесях и сплавах с различными ВВ.

Гексоген имеет практически неограниченную сырьевую базу, так как уротропин и азотная кислота, в конечном счете, получают из угля, воздуха и воды [1, с. 54].

Октоген, $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_8\text{O}_8$. Октоген (циклотетраметилтетраминтроамин, НМХ) является аналогом гексогена. Впервые получен в 1943 г.

Октоген – это белое кристаллическое вещество плотностью $1,87 \text{ г/см}^3$ и с температурой плавления $276\text{--}277 \text{ }^\circ\text{C}$ (с разложением).

Химическая стойкость октогена достаточно высокая. К нагреванию более стоек, чем гексоген.

Октоген не гигроскопичен, в воде при $15\text{--}20 \text{ }^\circ\text{C}$ растворяется около 0,003 % октогена, при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ – 0,02 %.

По токсичности октоген аналогичен гексогену, он поражает центральную нервную систему, в основном головной мозг, нарушает кровообращение и вызывает малокровие.

Октоген характеризуется высокой чувствительностью к механическим воздействиям.

Температура вспышки октогена составляет 291 °С, критический диаметр детонации монокристалла – 18 мм. Октоген отличается сравнительно высокой термостойкостью: температуру 200 °С выдерживает 8 ч 30 мин, 205 °С – 4 ч 30 мин, 220 °С – 2 ч.

По взрывчатым свойствам октоген почти не отличается от гексогена. Чувствительность к удару и восприимчивость к детонации такие же, как у гексогена.

Взрывчато-энергетические характеристики при $\rho = 1,77 \text{ г/см}^3$:

$$D = 8400 \text{ м/с};$$

$$Q_v = 5,40 \text{ МДж/кг};$$

$$W = 940 \text{ л/кг};$$

$$\Delta W = 430\text{--}450 \text{ мл}.$$

Октоген как термостойкое ВВ используется в зарядах для перфорации глубоких нефтяных скважин, в термостойких капсулах-детонаторах, дополнительных детонаторах, детонирующих шнурах.

В США его применяют при температуре до 210 °С, в основном при прострелочно-взрывных работах, а также при дроблении горячих слитков, разгрузке и ремонте доменных печей и т. п.

Октоген иногда используют в качестве вторичного ВВ в средствах инициирования повышенной термической стойкости [1, с. 75].

Тетрил, $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{N}(\text{NO}_2)\text{CH}_3$. Тетрил (2, 4, 6-тринитрофенилметилнитрамин, тетралит, пиронит) впервые был получен в 1877 г. Практическое применение тетрила относится к 1910 г.

Физико-химические свойства. Тетрил – это кристаллическое вещество белого, а технический продукт светло-желтого цвета. Плотность монокристалла составляет $1,725 \text{ г/см}^3$. Гравиметрическая плотность – $0,9\text{--}1,0 \text{ г/см}^3$. Тетрил очень хорошо прессуется, причем при давлениях прессования порядка $500\text{--}1500 \text{ кг/см}^2$ может быть получена плотность $1,5\text{--}1,65 \text{ г/см}^3$.

Температура плавления тетрила составляет 129,5 °С (с разложением). Практически негигроскопичен (около 0,015 %). Очень плохо растворяется в воде. Хорошо растворяется в бензоле, дихлорэтане и ацетоне. Для растворения 1 массовой части тетрила требуется около 4 массовых частей кипящего бензола.

По химической природе тетрил является ароматическим нитроамином. В химическом отношении он является веществом нейтральным, на технические металлы не действует. При длительном нагревании с водой тетрил медленно разлагается, образуя пикриновую кислоту. Реагирует со щелочами и карбонатами. При нагревании тетрила с разбавленными растворами щелочей образуются нитраты и некоторые другие продукты. Со спиртовыми растворами алкоголятов толуольный раствор тетрила образует красные высокочувствительные металлические производные, подобные металлическим производным тротила. Серная кислота в присутствии металлической ртути отщепляет от молекулы тетрила один атом азота в виде окиси NO и образует тринитрофенилметиламин. Окрашивает кожу в красный цвет и довольно ядовит.

Химическая стойкость тетрила несколько ниже, чем у тротила и других нитросоединений, но достаточна для продолжительного хранения в обычных условиях. При температуре выше 110 °С начинается заметное разложение тетрила, при 145–150 °С оно сопровождается значительным газообразованием.

Восприимчивость к внешним воздействиям и энергетические характеристики. Тетрил имеет более высокую чувствительность, чем тротил, и составляет 50–60 % к удару по стандартной пробе. При простреле пульей (осколком) тетрил детонирует.

Температура вспышки равна 190 °С (ниже, чем у других БВВ). При действии луча пламени тетрил горит энергичнее тротила, причем горение может перейти в детонацию.

Восприимчивость к детонации у тетрила выше, чем у тротила. Тетрил детонирует от КД, но при плотности выше 1,56 г/см³ могут быть случаи неполной детонации.

Тетрил имеет отрицательный кислородный баланс равный 47 %, поэтому детонация тетрила сопровождается образованием значительного количества свободного углерода и окиси углерода.

Взрывчато-энергетические характеристики тетрила при плотности $\rho = 1,63 \text{ г/см}^3$, следующие:

$$D = 7500 \text{ м/с};$$

$$Q_v = 4,61 \text{ МДж/кг};$$

$$W = 756 \text{ л/кг};$$

$$T = 3800 \text{ }^\circ\text{К}.$$

Работоспособность по расширению в свинцовой бомбе $\Delta W = 340 \text{ мл}$. Бризантность по обжатию свинцовых столбиков $\Delta H = 19 \text{ мм}$.

Детонация тетрила протекает устойчиво. Предельный минимальный диаметр заряда, при котором детонация еще устойчивая, без оболочки – 10 мм, а в оболочке – 6 мм.

Применение тетрила. Из-за высокой чувствительности тетрил не применяется для изготовления разрывных зарядов.

Тетрил использовался в основном для изготовления детонаторов и КД. Вследствие высокой чувствительности тетрила к механическим воздействиям он непригоден для снаряжения снарядов, кроме малокалиберных, в которых его применяли как в чистом, так и во флегматизированном виде. Во время Первой мировой войны использовали сплавы тетрила с тротилом или гексогеном для снаряжения некоторых снарядов, бомб, мин и торпед.

Тетрил широко применяется для изготовления детонаторов и вторичных зарядов КД. В прошлом тетрил находил широкое применение в смеси с гремучей ртутью в детонирующих шнурах [1, с. 51].

4.2.4. Бризантные взрывчатые вещества – нитроэфиры

ВВ, относящиеся к классу нитросоединений – нитроэфиров, самостоятельно, как правило, не применяются. Они входят в состав многих промышленных взрывчатых смесей и составляют основу нитроцеллюлозных порохов и твердых ракетных топлив. Промышленностью в больших количествах производятся такие нитросоединения, как пироксилин, коллоксилин, тринитратглицерин, динитратдигликоль, нитроглицерин, ТЭН.

ТЭН, С (CH_2ONO_2)₄ (пентаэритритетранитрат, пента, пентрит, РЕТН). Впервые был получен в 1901 г. Однако прак-

тическое применение ТЭНа относится к периоду Второй мировой войны.

Физико-химические свойства. ТЭН – белое кристаллическое вещество плотностью $1,773 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления $141,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (плавится с разложением). Обладает летучестью и частично сублимируется при нагревании до $75 \text{ }^\circ\text{C}$. Пары ТЭНа могут вызвать головную боль. При плавлении образуется бесцветное масло, которое при охлаждении вновь кристаллизуется. При температуре выше точки плавления начинается разложение, которое сопровождается вспениванием продукта, вызываемого выделением диоксидов азота.

При прессовании ТЭНа можно достичь плотности $1,70 \text{ г/см}^3$. Прессуется плохо и заряды из него получают низкого качества, что объясняется непрочностью и хрупкостью кристаллов ТЭНа. ТЭН негигроскопичен. Практически нерастворим в воде. Из органических растворителей лучшим для него является ацетон (почти единственный растворитель). При обыкновенной температуре растворимость ТЭНа в ацетоне порядка 20 %.

По химической природе ТЭН является азотнокислым эфиром четырехатомного спирта пентаэритрита. Он нейтрален. Не взаимодействует с металлами. Разлагается щелочами и кислотами – омыляется (как всякий сложный эфир). ТЭН достаточно стоек и превосходит многие нитраты многоатомных спиртов, но менее стоек, чем гексоген.

Заметное разложение ТЭНа начинается при температуре $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Примеси и кислоты снижают химическую стойкость ТЭНа и его взрывчато-энергетические характеристики. Плохо очищенный (даже со следами кислот) ТЭН малостоек и при длительном хранении может самовоспламениться. Совершенно недопустимы примеси к ТЭНу активных окислителей-хлоратов, перхлоратов.

Восприимчивость к внешним воздействиям и энергетические характеристики. ТЭН обладает высокой чувствительностью ко всем видам начального импульса. По чувствительности он превосходит гексоген. Более чувствителен к удару, чем тротил, тетрил и даже гексоген.

Чувствительность к удару по стандартной пробе составляет 100 %. Высокая чувствительность ТЭНа обусловлена большой хрупкостью и низкой прочностью его частиц (кристаллов). Температура вспышки – 215 °С. При действии луча пламени ТЭН в замкнутом объеме способен детонировать. На воздухе в небольших количествах горит сильным пламенем без взрыва.

Восприимчивость к детонации также весьма высока. Так, прессованный ТЭН детонирует от 1 мг азида свинца, а прессованный тетрил – от 20 мг (в одинаковых условиях испытаний).

В отличие от многих БВВ, ТЭН полностью детонирует при увлажнении до 30 %.

ТЭН – это ВВ с отрицательным кислородным балансом равным 10 %. При детонации, наряду с продуктами полного окисления, образуются и продукты неполного окисления.

Взрывчато-энергетические характеристики ТЭНа при плотности $\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$ следующие:

$$D = 7900 \text{ м/с};$$

$$Q_v = 5,79 \text{ МДж/кг};$$

$$W = 790 \text{ л/кг};$$

$$T = 4600 \text{ °К}.$$

Работоспособность по пробе на расширение в свинцовой бомбе $\Delta W = 480\text{--}500$ мл. Бризантность по обжатию свинцовых столбиков $\Delta H = 16$ мм (заряд 25 г).

Применение. Из-за высокой чувствительности и трудности флегматизации ТЭН не нашел широкого применения. Он используется для изготовления детонаторов для некоторых боеприпасов и вторичных зарядов в КД. Применение ТЭНа для снаряжения средств инициирования вполне оправдывается, так как из всех мощных БВВ только он обладает минимальным периодом индукции (малым участком нестационарной детонации), наивысшей температурой и давлением продуктов детонации и высоким коэффициентом полезного действия. Возможно применение ТЭНа в сплавах с тротилом (пентэлиты) для кумулятивных боеприпасов. Чистый ТЭН используют в качестве вторичных зарядов для снаряжения КД, а флегматизированный – для снаряжения детонирующего шнура, детонаторов, кумулятивных и некоторых других зарядов [1, с. 57].

4.2.5. Чувствительность бризантных взрывчатых веществ

С точки зрения боевого использования для БВВ наиболее важное значение имеет их чувствительность к взрывному импульсу, или восприимчивость к детонации.

Однако для сравнительной оценки чувствительности БВВ с целью определения степени безопасности обращения с ними, а также безотказности и надежности действия, для БВВ не менее важное значение имеет чувствительность к тепловым и механическим воздействиям.

Чувствительность БВВ к тепловым воздействиям, как и в случае ИВВ, характеризуется температурой вспышки, которая определяется точно так же, как для инициирующих ВВ, но навеска БВВ берется большая (0,05 г).

Температура вспышки БВВ колеблется в пределах 200–300 °С. В табл. 15 приведены температуры вспышки некоторых ВВ при 5-минутном периоде индукции.

При значительно меньшей, чем у ИВВ, чувствительности к механическим воздействиям БВВ могут иметь и меньшую температуру вспышки, что дополнительно свидетельствует об условности этой характеристики.

Таблица 15. Температура вспышки БВВ

Бризантные ВВ	Температура вспышки, °С
Тетрил	190–200
Нитроглицерин	200–205
ТЭН	210–220
Гексоген	225–235
Тротил	300–310

Восприимчивость БВВ к тепловым воздействиям существенно зависит от условий воздействия. Непосредственное действие луча огня на открытом воздухе вызывает обычно только горение БВВ, которое лишь в некоторых случаях (например, при горении очень больших масс ВВ) переходит в детонацию. Если

возгорание происходит в замкнутом объеме, то следом почти всегда наступает детонация. При зажжении БВВ, находящегося в незамкнутом объеме (например, выжигание заряда из снаряда), горение часто сопровождается переходом в детонацию.

Чувствительность БВВ к удару характеризуется процентом взрывов, полученных из 100 испытаний при сбрасывании на навеску ВВ груза определенной массы с определенной высоты. Стандартными условиями испытаний по ГОСТ 4545 [22] являются груз 10 кг и высота падения 25 см.

Испытания к удару производятся на вертикальном копре, имеющем такое же устройство, как и вертикальный копер для ИВВ, но больших размеров (рис. 9). Чувствительность некоторых БВВ при стандартных условиях испытания приведена в табл. 16.

Иногда чувствительность к удару оценивается не процентом взрывов, а удельной работой удара, т. е. работой, отнесенной к единице площади поперечного сечения металлических цилиндров, по которой эта работа распределяется. В табл.17 показаны данные таких испытаний.



Рис. 9. Вид вертикального копра К-44-II

Таблица 16. Чувствительность к удару БВВ по ГОСТ 4545

Взрывчатые вещества	% взрывов
Тротил	4–8
Аммонийно-селитренные ВВ	16–24
Тетрил	45–60
Гексоген	70–80
ТЭН	100

Приведенные в табл. 16 и 17 данные не являются абсолютными количественными характеристиками чувствительности БВВ, однако при большом числе испытаний эти характеристики могут служить для достаточно уверенной сравнительной оценки чувствительности различных ВВ и, следовательно, для суждения о большей или меньшей опасности ВВ в условиях их применения.

Таблица 17. Работа удара

Взрывчатые вещества	Работа удара, кг/см ²
Гремучая ртуть	0,08
Азид свинца	0,12
ТЭН	0,8
Гексоген	1,3
Тетрил	1,6
Пикриновая кислота	2,0
Аммонийно-селитренные ВВ	2,5–3,0
Тротил	3–4

Чувствительность к трению представляет интерес с точки зрения безопасности при производстве и применении ВВ. Наряду с этим чувствительность к трению имеет значение при изготовлении зарядов шнекованием, когда ВВ подвергается сильному трению. Определение чувствительности БВВ к трению производится теми же способами, что и для ИВВ при помощи копров (рис. 10) по ГОСТ Р50835 [23].

Чувствительность БВВ к взрывному импульсу (инициированию) или восприимчивость к детонации обычно характеризует-



Рис. 10. Вид прибора К-44-3

ся величиной предельного инициирующего заряда, т. е. минимальным зарядом ИВВ, обеспечивающим полную детонацию определенного количества БВВ. Таким образом, если для ИВВ предельный инициирующий заряд характеризует их инициирующую способность, то для БВВ – чувствительность к детонации, т. е. к взрывному импульсу.

БВВ способны гореть и детонировать, причем горение может переходить в детонацию. Характер превращения, а также переход горения в детонацию зависит от условий возбуждения, вида и интенсивности начального импульса.

От простых начальных импульсов, встречающихся в практике, БВВ преимущественно только загораются. При действии же взрывного импульса БВВ, как правило, безотказно детонируют [1, с. 42].

4.2.6. Механические смеси взрывчатых веществ

За исключением тротила индивидуальные ВВ крайне редко применяются в изделиях в чистом виде. Добавляя к ВВ различные компоненты удается добиться нужных механических харак-

теристик исходного заряда. Смешивая различные ВВ и окислители достигается низкая стоимость конечной смеси, что широко используется при массовом производстве ВВ, особенно промышленных. Различают смесевые БВВ для военного применения и для использования в промышленности, например при добыче полезных ископаемых. Хотя в действительности это разделение условно, так как при крупномасштабной войне промышленные ВВ после некоторой доработки могут использоваться в военных изделиях. К смесевым принадлежат, по существу, все наиболее типичные промышленные ВВ: аммониты, граммониты, гранулиты, детониты, динамоны и водосодержащие ВВ, оксиликвиты – различные порошкообразные органические поглотители, пропитанные жидким кислородом [45; 11, с. 172].

К этой же группе относятся разнообразные капсульные составы для КД и капсулей-воспламенителей (последние представляют собой главным образом механические смеси гремучей ртути, хлората калия и трехсернистой сурьмы).

В эту же группу входят пороха (в частности, дымный, пушечный пироксилиновый порох, баллиститный, кордитный и порох на нелетучем растворителе) и пиротехнические составы (осветительные, сигнальные, трассирующие, зажигательные и дымовые), представляющие собой механические смеси из окислителей и горючих веществ [16, с. 163].

Смесевые БВВ. Сложные БВВ также многочисленны. Можно указать следующие комбинации составов:

1) взрывчатое вещество + взрывчатое вещество; например, тротил + гексоген;

2) взрывчатое вещество + невзрывчатое вещество, например, аммонийная селитра + древесная мука;

3) смеси невзрывчатых веществ, состоящие из окислителя и горючего [1, с. 41].

Все многообразие применяемых или запатентованных взрывчатых смесей можно свести к двум основным типам: состоящим из окислителя и горючего и состоящим из одного или нескольких индивидуальных ВВ и различного рода добавок, обеспечивающих заданные технологические или эксплуатационные свойства смеси.

Взрывчатые смеси первого типа (окислитель–горючее) широко представлены в современном ассортименте промышленных ВВ. В отличие от взрыва индивидуальных ВВ взрывчатое превращение смеси данного типа происходит в две стадии. Первой стадией является разложение или газификация одного или нескольких компонентов, второй стадией – взаимодействие продуктов разложения (газификация) между собой или с частицами неразлагающегося компонента, например металла. При этом компоненты смеси могут быть сами по себе как взрывчатыми, так и невзрывчатыми. Основная часть тепла при взрыве этих смесей выделяется на второй стадии процесса, т. е. в результате вторичных реакций взаимодействия в газовой фазе или во взвеси. Тепловые же эффекты первой стадии могут быть как экзотермичными, так и эндотермичными.

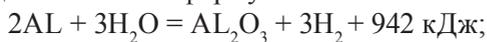
Взрывчатые смеси типа окислитель–горючее имеют ряд преимуществ перед индивидуальными ВВ: они, как правило, более экономичны, позволяют регулировать состав продуктов и тепловые эффекты взрыва. К их недостаткам можно отнести пониженную по сравнению с индивидуальными ВВ детонационную способность, меньшую физическую стабильность.

В качестве окислителей в большинстве случаев используют минеральные соли, способные при разложении выделять свободный кислород. К ним относятся соли азотной (нитраты аммония, натрия, калия, кальция и др.), хлорной (перхлораты аммония, натрия, калия), хлорноватой (хлорат калия) кислот. Наиболее широкое применение в составах ВВ получил нитрат аммония (аммиачная селитра), на основе которого создан целый класс промышленных ВВ. Перхлоратные и хлоратные ВВ используются в очень ограниченных масштабах. Известны, но сравнительно мало применяются также составы, в которых в качестве окислителя содержатся жидкий кислород (оксиликвиты), жидкие окислы азота, азотная кислота, тетранитрометан.

В качестве горючего во взрывчатых смесях используют высококалорийные органические соединения (жидкие и твердые продукты переработки нефти, различные виды целлюлозы и др.), металлы и их соединения (алюминий, ферросилиций и др.),

индивидуальные ВВ с отрицательным кислородным балансом, выделяющие при своем разложении горючие газы – окись углерода, водород, метан и твердое вещество – сажу (тротил, динитрофталин и др.).

Если в качестве горючего применяют металлические порошки, например алюминий, то окислителем могут служить не только соединения, выделяющие при своем разложении свободный кислород, но и соединения, содержащие связанный кислород, но способные вступать в экзотермическую реакцию взаимодействия с металлом, например, пары воды и углекислый газ. При этом алюминий окисляется до своего высшего окисла, водород полностью восстанавливается, а двуокись углерода переходит в окись по формулам:



Поставщиком кислородсодержащих газов могут быть почти все индивидуальные ВВ. Поэтому на практике применяют смеси индивидуальных ВВ с металлами, в которых ВВ выступает в роли окислителя по отношению к металлу, например, смесь тротила с алюминием (алюмотол). При этом получают выигрыш по теплоте взрыва.

Взрывчатые смеси второго типа komponуются для достижения каких-либо специальных свойств ВВ. Например, многие мощные индивидуальные ВВ, такие, как гексоген, октоген, плавятся при высокой температуре (выше 200 °С) с разложением. Для получения литьевого состава эти вещества смешивают с другими индивидуальными ВВ, имеющими низкую температуру плавления, например с тротилом (температура плавления около 80 °С). Из такой смеси делают отливки нужной формы, например шашки-детонаторы. При взрыве каждый из компонентов такой смеси разлагается независимо с выделением соответствующего количества тепла, суммарный тепловой эффект складывается. Некоторое отклонение от правила аддитивности возможно из-за равновесных реакций в продуктах взрыва. Ко многим мощным индивидуальным ВВ для снижения их чувствительности к механическим воздействиям добавляют 4–8 %

низкоплавких углеводородов (воск, парафин, церезин), называемых флегматизаторами. В этих смесях флегматизаторы с энергетической точки зрения являются балластом. В другие смеси вводят вещества, называемые сенсibiliзаторами, повышающие чувствительность, например, к инициирующему импульсу. В качестве сенсibiliзатора в промышленные ВВ часто вводят нитроглицерин (углениты).

Характерным видом взрывчатой смеси рассматриваемого типа являются желатин-динамиты. Они состоят из нитроглицерина и нитроклетчатки (7–8 %). Цель введения нитроклетчатки в нитроглицерин – придание ему гелеобразной консистенции. Обращение с таким студнеобразным ВВ (возможность его патронирования) значительно более удобно и безопасно, чем с жидким нитроглицерином.

Смеси, содержащие нитроглицерин или другие жидкие нитраты спиртов (нитрогликоли) в качестве основного взрывчатого компонента или в качестве сенсibiliзатора, получили наименование нитроэфирсодержащих ВВ или динамитов.

Во многих случаях взрывчатые смеси имеют признаки обоих типов, т. е. их можно отнести к смешанному типу. Например, большинство нитроэфирсодержащих ВВ помимо жидкого или желатинированного нитроглицерина содержат смесь окислителя (неорганического нитрата) и горючего (древесная мука). В таких смесях нитроглицерин имеет многоцелевое назначение: как мощный взрывчатый компонент, как пластификатор и как сенсibiliзатор. К взрывчатым смесям смешанного типа можно отнести также водосодержащие промышленные ВВ, пластифицированные водным гелем, и предохранительные ВВ, взрывчатой основой которых, например, является смесь аммиачной селитры с тротилом, а третий компонент (соль-пламегаситель) обеспечивает необходимые предохранительные свойства.

По условиям применения ВВ выбираются с наиболее высокими для данной обстановки технико-экономическими показателями. Для каждого типового условия использования должен быть выбран оптимальный тип ВВ, в рамках которого могут быть несколько сортов, отвечающих наиболее высоким технико-экономическим показателям взрывных работ [5, с. 10].

4.2.7. Литьевые взрывчатые смеси на основе плавких взрывчатых веществ

К ним относятся взрывчатые смеси на основе главным образом тротила, заряды из которых готовятся заливкой непосредственно в боеприпас. Вещество, которое используется как литьевая основа, должно удовлетворять следующим требованиям:

малая чувствительность к механическим воздействиям;
высокая механическая прочность готовых отливок;
как можно меньшая усадка при затвердевании.

Температура плавления 70–100 °С (меньшая температура может послужить причиной разжижения ВВ в боеприпасе при хранении, тогда как более высокая температура заливки недопустима по причине безопасности).

Тротил (тринитротолуол) – основное массово выпускаемое ВВ, удовлетворяющее всем этим условиям, плавится при 80–81 °С, что позволяет удобно, технологично и безопасно готовить смеси на его основе заливкой.

Литьевые свойства смесевых ВВ зависят от концентрации твердой фазы, природы компонентов, размеров, фракционного состава, формы и плотности упаковки частиц, а также от межфазной энергии на границе раздела твердой и жидкой фаз.

Основные представители:

1. Смеси **ТГ, Гексатол, Hexolite, Hexotol, Cyclotol** – механические или литьевые смеси гексогена (в том числе флегматизированного) и тротила.

Литьевые смеси гексогена и тротила впервые были разработаны немцами и одновременно англичанами непосредственно перед Второй мировой войной. Некоторые содержат в своем составе специальные сорта воска. Имеют цвет от желтого до желто-коричневого. После Второй мировой войны были созданы специальные малочувствительные смеси «В» с большим количеством воска и с добавками полимеров, состоящие из: гексогена – 57,5–61,5 %; тротила – 37,2–41,8 %; специального воска, образующего суспензию в тротиле – 0,7–1,3 %. Скорость детонации – 7920 м/с, при 1,72 г/см³. Бризантность – 112–121 % от тротила.

Фугасность составляет 131 % от тротила. Работоспособность в баллистической мортире – 134 % от тротила. Термостойкость – 0,051 мл газа с 0,25 г за 22 ч при 120 °С и 0,05–0,16 мл с 1 г за 48 ч. Теплота взрыва – 5,02 МДж/кг (табл. 18).

2. В морских и бризантно-фугасных боеприпасах используются смеси тротил – гексоген, содержащие алюминий: смеси ТГА, ТГАФ, МС (СССР), Нехотонал (Швеция), торпех, НВХ, DBX (США и Великобритания) и т. д. Для снаряжения крупных боеприпасов обычно применяют вакуум-вибрационную заливку.

Торпех-2. Гексоген – 42 %, тротил – 40 %, алюминий – 18 %. Бризантность составляет 132–160 % от тротила (песочная проба). Скорость детонации – 7660 м/с при 1,8 г/см³. Фугасность – 140–166 % от тротила. Работоспособность в баллистической мортире – 134–164 % от тротила. Использовался в торпедах и в авиабомбах времен Второй мировой войны. Впоследствии заменен менее чувствительными смесями.

ТГА-16 (СССР). Гексоген – 24 %, тротил – 60 %, алюминий – 16 %. Скорость детонации – 6700 м/с при плотности снаряжения 1,67 г/см³. Теплота взрыва – 5,7 МДж/кг. Бризантность – 18–20 мм (тротил – 13 мм). Чувствительность к удару для груза 10 кг и высоты 25 см – 13 % (тротил 4–8 %). ВВ для снаряжения армейских боеприпасов, например, мин.

ТГАФ-5М (СССР). Гексоген – 59 %, тротил – 19 %, алюминий – 17 %, церезин – 5 %. Скорость детонации – 7700 м/с при плотности снаряжения 1,75 г/см³. Теплота взрыва – 6,28 МДж/кг. Термостойкость – 1 ч при 200 °С. Разработан в 40–50-х годах XX в., используется в армейских боеприпасах. Его аналог (смесь МС) применялся на флоте.

МС (СССР). Гексоген – 57 %, тротил – 19 %, алюминий – 17 %, церезин – 7 %. Скорость детонации – 7600 м/с при плотности снаряжения 1,70 г/см³. Теплота взрыва – 5,9 МДж/кг. Бризантность – 18–22 мм (тротил – 13 мм). Чувствительность к удару для груза 10 кг и высоты 25 см – 20 % (тротил 4–8 %). ВВ для снаряжения морских боеприпасов.

МС-2 (ФС, морская смесь) (СССР). Тротил – 21 %, алюминий – 27 %, церезин – 5,2 %, остальное – гексоген. Скорость

детонации – 7200 м/с, при плотности снаряжения 1,75 г/см³. Теплота взрыва – 7,2 МДж/кг.

НТА-3 (США). Октоген – 49 %, тротил – 29 %, алюминий – 22 %. Объем продуктов взрыва – 680 л/кг. Скорость детонации 7866 м/с при плотности снаряжения 1,90 г/см³ (литой, заряд без оболочки диаметром 2,54 см). Бризантность по песочной пробе – 61,3 г (тротил – 48 г). Теплота взрыва – 4,98 МДж/кг. Пригоден для заливки в снаряды и бомбы. Разработан в 1958 г.

ТОКАФ (СССР). Октоген – 60 %, тротил – 18 %, алюминий – 17 %, церезин – 5 % Скорость детонации составляет 7860 м/с при плотности снаряжения 1,75 г/см³. Теплота взрыва – 6,53 МДж/кг. Термостойкость – 1 ч при 200 °С. Разработан в 1960-х годах, использовался в различных армейских боеприпасах.

Таблица 18. Характеристики литьевых смесей ТГ и ТГА

Взрывчатые вещества	Температура заливки, °С	Плотность, г/см ³	Скорость детонации, м/с	Бризантность, мм	Фугасность, мл	Чувствительность к удару, см**
ТГ90/10	82	1,52	7070	4,4	316	24
ТГ80/20	82	1,63	7210	4,5	320	12
ТГ70/30	82	1,64	7420	4,7	353	8
ТГ60/40	82	1,67	7510	4,9	357	10
ТГ50/50	–	1,70	7570	5,1	368	12
ТГ40/60	–	1,70	7670	5,2	388	8
ТГА70/15/15	85	1,72	6960	4,5	–	24
ТГА50/25/25	85	1,85	7680	4,9	397	24
ТГА50/20/30	85	1,80	7400	4,7	–	24
ТГА40/45/15*	90	1,79	7500	5,3	478	24

* Известен как TORPEX.

** Груз 10 кг.

3. Октол (Octol) – плавкая смесь тротила (обычно 20–30 %) и октогена. Более поздние модификации содержат небольшое количество полимеров для увеличения прочности и предотвращения экссудации. В небольших количествах литьевые смеси с 60 % октогена изготавливались в США вскоре после оконча-

ния Второй мировой войны, тем не менее считается, что разработаны в 1958 г. для применения в некоторых кумулятивных и осколочных боеприпасах, где стоимость ВВ не имела решающего значения. Наиболее часто применялся октол 75/25 (Октол тип I) и 70/30 (Октол тип II), который использовался в частности, в первых модификациях кумулятивных зарядов для американских 66 мм противотанковых гранатометов M72 LAW. Они изготавливались вибрационной заливкой с использованием ультразвука для придания смеси текучести. Для Октола 77/23 скорость детонации – 8540 м/с при плотности 1,80 г/см³. Теплота взрыва – 4,89 МДж/кг.

4. **Пентолит (пентритол)** – литьевая смесь ТЭНа (обычно 50 %) и тротила. Температура плавления 76,4 °С. Чувствительность к удару для груза 10 кг ($H = 25$ см) – 44 %. Скорость детонации пентолита составляет 7450 м/с. Плотность – 1,63–1,67 г/см³. Критический диаметр детонации – 6,7 мм при 1,65 г/см³. Объем продуктов взрыва – 35,5 моль/кг. Бризантность – 121 % от тротила (песочная проба). Работоспособность в баллистической мортире –

Таблица 19. Характеристики смесей тротил (ТНТ)/ТЭН

% ТНТ	Скорость детонации*, м/с	Скорость детонации**, м/с	Чувствительность к удару, кгм/см ²	Фугасность, мл
0	6005	5200	0,20	515
10	5870	5000	0,15	480
20	5785	4790	0,22	440
30	5675	4600	0,42	425
40	5510	4550	0,80	390
50	5490	4850	0,99***	370
60	5385	4400	1,25	350
70	5345	4100	1,60	340
80	5260	3720	1,65	315
90	5050	3650	1,75	295
100	4865	–	4,10	290

* Заряд при 1,04 г/см³ диаметром 30 мм.

** Заряд при 1,0 г/см³ диаметром 8 мм.

*** Уровень тетрила.

122 % от тротила. Следует отметить, что пентолит не рекомендуется длительно хранить, так как за несколько лет он претерпевает некоторые структурные и химические изменения, например, повышается кислотность, в связи с этим литьевые смеси с гексогеном выглядят предпочтительнее. Использовался уже в 30-х годах XX в., однако по настоящему массовое производство было развернуто в первые годы Второй мировой войны, к концу войны начал вытесняться смесями тротил–гексоген. Применялся главным образом в промежуточных детонаторах, а также в боеприпасах (в том числе кумулятивных гранатах), детонирующем шнуре и т. п. В настоящее время используется в промежуточных детонаторах для промышленных взрывных работ (табл. 19).

5. **Алюмотол** (военное название – **Тритонал**) – литьевая смесь тротила и порошка алюминия (обычно 15–20 %). Обладает высокой водоустойчивостью. Теплота взрыва – 5,3–5,6 МДж/кг, скорость детонации 4000 м/с при плотности 1,0 г/см³. При добавлении воды – до 6000 м/с при плотности 1,35 г/см³. Мощность взорванного под водой выше, чем на воздухе, так как вода участвует в окислении алюминия, поэтому в промышленности чаще всего алюмотол используют в водонаполненном состоянии. Применяются для взрывных работ, иногда для снаряжения фугасных боеприпасов. Не восприимчив к КД № 8.

6. Сплав **тетритол–гексоген** – литьевая смесь ГТТ: гексоген – 75 %, тротил – 12,5 %, тетрил – 12,5 %. Использовалась в отечественных зенитных и бронебойных снарядах во время Второй мировой. Позже в США был разработан похожий состав РТХ-1, состоящий из 50 % тетрила, 30 % гексогена и 20 % тротила. Температура заливки составляет 90–95 °С, температура плавления эвтектики – 67 °С. Скорость детонации – 7400–7655 м/с при плотности 1,68 /см³. Работоспособность в баллистической мортире – 132 % от тротила. Использовался в минах и для подрывных работ.

7. **Тетритолы** – сплавы тетрила и тротила. Применялись во время Второй мировой войны в промежуточных детонаторах, кумулятивных зарядах и для взрывных работ вместо пентолита.

Температура заливки – 100 °С, температура плавления эвтектики – 68 °С. Применялись тетритолы 80/20, 75/25, 70/30 и 65/35. Скорость детонации тетритола составляет 75/25 7380 м/с при 1,59 г/см³. Эффективность в баллистической мортире – 122 % от тротила, высоконаполненные тетритолы по эффективности в кумулятивных боеприпасах эквивалентны пентолиту 50. В настоящее время не применяются.

8. Сплав **тротил–динитронафталин (ТД)**. Были задействованы в СССР во время Второй мировой войны в осколочных авиабомбах и минометных минах. Наиболее известные – сплав **К-2** (20 % динитронафталина, известен как **ТД-80**), заменивший собой токсичный сплав **К-1** (тротил-динитробензол) и **К-3** (10 % динитронафталина, известен как **ТД-90**). Использование сплавов таких маломощных ВВ, как динитробензол и динитронафталин с тротилом ставило собой цель не столько заменить дефицитный тротил, сколько понизить его дробящее действие, иначе при дроблении корпуса боеприпаса, сделанного из чугуна или низкокачественной литейной стали, образовывалось слишком много мелких осколков, обладающих недостаточной убойностью. Для детонации подобных ВВ требовался промежуточный детонатор. Содержащие более 30 % ДНН снаряжаются прессованием. Скорость детонации сплава **ТД-50** (50 % динитронафталина) – 5750 м/с при 1,54 г/см³. Фугасность – 222 мл.

9. **Amatex**. Гексоген – 20,6 %, тротил – 39,4 %, нитрат аммония, стабилизированный нитратом калия – 40 %. Скорость детонации составляет 6728 м/с при плотности 1,636 г/см³ (заряд 101,6 мм) – ВВ для массового применения. Критический диаметр – 17 мм. Разработан после Второй мировой войны в США.

10. **Баротол** – литейная смесь тротила и нитрата бария (обычно 10–20 %, в других вариантах до 73 %). Негигроскопичен, и, в отличие от аммотолов, не корродирует металлы. К удару и детонации более чувствителен, чем чистый тротил. По взрывчатым характеристикам идентичен аммотолам (объемная эффективность). Наиболее часто применявшийся баротол 33/67 имеет: бризантность по песочной пробе – 26,8 г (тротил 48 г). Плотность – 2,55 г/см³. Чувствительность к удару 35 см, (тротил

90–100 см) для груза 2 кг. Разработан во время Первой мировой войны англичанами для замены гигроскопичного амматола. Применялся во время и после Второй мировой войны англичанами и американцами для заливки снарядов и бомб.

11. **Баронал** – литьевая смесь, состоящая из 50 % нитрата бария, 35 % тротила, 15 % алюминия. Использовалась американцами для заливки торпед во время Второй мировой войны. Бризантность по песочной пробе – 39,8 г (тротил 48 г). Скорость детонации – 5450 м/с. Плотность – 2,27–2,32 г/см³. Чувствительность к удару – 30 см, (тротил 90–100 см) для груза 2 кг.

12. **Эднатолы (EDNATOLS)** – литьевые смеси этилендинитрамина и тротила, применялись эднатола состава 60/40, 55/45 и 50/50. Для смеси 55/45 бризантность по песочной пробе и по PDT 112 % от тротила. Минимальный инициирующий заряд составляет 0,22–0,23 г гремучей ртути. Фугасность – 119 % от тротила. Работоспособность в баллистической mortar – 120 % от тротила. Скорость детонации – 7340 м/с для литого заряда (1,62 г/см³). Изготавливается медленным внесением влажного ЭДНА в нагретый до 105 °С тротил. После испарения влаги смесь заливали в боеприпасы. Применялся американцами во время Второй мировой войны. Во влажном состоянии реагирует с черными металлами, латунию, медью, алюминиевыми сплавами, не реагирует с нержавеющей сталью. Известен также алюминизированный эднатол состава 40 % ЭДНА, 20 % тротил и 20 % алюминий.

13. **Амматола** – литьевые смеси тротила и аммиачной селитры.

14. **Гексоген** и октогенсодержащие сплавы на основе тринитроэтилтринитробутирата, модифицированного 4 % динитронафталина (температура плавления 82–84 °С) или 9,10-диоксиантрацена – составы типа **ДОГА**, **ДОГ**. Например, для обработки металлов заявлен следующий состав: октоген – 70 %, тринитроэтиловый эфир тринитромасляной кислоты – 29,1 %, 9,10-диоксиантрацен – 0,9 %. Толщина разделяемой дюралевой пластины (эквивалент метательного действия) для него составляет 32 мм, тогда как для смеси октоген – 87 %, нитроцеллюлоза – 1,3 %, триметиллоэтантринитрат – 11,7 % – 25 мм.

15. **Литьевые ВВ** на основе динитроанизола (DNAN). В связи с переходом стран НАТО на боеприпасы пониженной уязвимости, проявляется интерес к литьевым смесям на основе 2,4-динитроанизола, что, скорее всего, связано с дефицитом тротила на мировом рынке. Эти смеси обладают меньшей плотностью и мощностью, чем аналогичные композиции на основе тротила, но выигрывают по цене (работоспособность в баллистической мортире у динитроанизола 87 % от тротила). 2,4-динитроанизол изготовлялся немцами во время Второй мировой и использовался в литьевых смесях, но в послевоенные годы в качестве ВВ не применялся. Производство динитроанизола в США началось в 2004 г. и постепенно наращивается. Сам по себе динитроанизол имеет довольно высокую температуру плавления 94,5 °С, плотность 1,336 г/см³, поэтому его обычно используют с добавкой [45; 11, с. 172].

4.2.8. Бризантные взрывчатые вещества с флегматизатором

Мощные БВВ типа гексогена, ТЭНа, октогена и другие обладают высокой чувствительностью к механическим воздействиям, что делает их непригодными к снаряжению боеприпасов в чистом виде. С другой стороны, использование литьевых смесей этих ВВ с тротилом не всегда одновременно отвечает требованиям безопасности и высокой эффективности ВВ.

Поэтому достаточно большое практическое применение получили смеси мощных БВВ с добавками-флегматизаторами. Флегматизаторы – это добавки, обеспечивающие уменьшение чувствительности заряда к внешним воздействиям, улучшение механических и технологических свойств заряда (прессуемость, сплошность и прочность заряда и т. д.). В результате кристаллы ВВ оказываются покрытыми тонким слоем флегматизатора, а снижение чувствительности к механическим воздействиям происходит из-за перераспределения и рассеяния энергии удара сравнительно мягким инертным веществом.

По типу флегматизатора:

составы на инертном связующем;

составы на инертном термостойком связующем;

составы на энергоемком (активном) связующем.

По технологии переработки такие составы можно условно разделить на:

прессовые (термопрессовые или термопластичные),

экструдруемые (проходное прессование),

литьевые.

По назначению:

ВВ нормальной мощности;

высоконаполненные ВВ с повышенной метательной способностью;

малочувствительные ВВ;

термостойкие ВВ;

ВВ для применения в морских боеприпасах.

В качестве простейших и наиболее дешевых флегматизаторов используют парафин, церезин, воск и тому подобные материалы. Такие смеси были разработаны и внедрены незадолго до Второй мировой войны, они и в настоящее время находят применение в боеприпасах, а также для изготовления шашек-детонаторов и зарядов для горнодобывающей промышленности. Безусловно эти флегматизаторы использовались и в Первую мировую войну, однако они применялись главным образом в суррогатных ВВ на основе неорганических окислителей.

Позже в качестве флегматизаторов и одновременно эффективных связующих, начали использовать различные полимеры: синтетические смолы и каучуки.

Основными критериями отечественных ВВ того времени были массовость и простая технология, которая обеспечивалась составами на основе парафино-церезиновых композиций и оксизина, поэтому составы с полимерным связующим (силиконовым каучуком перерабатываемым литьем) появились несколько позже – в начале 70-х годов XX в., и использовались в термостойких боеприпасах [45; 11, с. 179].

4.2.9. Прессовые составы на инертном связующем

1. Простейшие композиции такого рода известны как композиции «А» (Флегматизированный гексоген) например:

Композиция «А». Содержит гексоген – 91 %, воск – 9 % и представляет собой субстанцию от белого до темно-желтого цвета. Скорость детонации составляет 8100 м/с, при плотности снаряжения 1,59 г/см³ (заряд диаметром 2,54 см без оболочки). Бризантность – 107–115 % от тротила. Фугасность – 144 % от тротила. Мощность в баллистической мортире составляет 132–135 % от тротила. Минимальный инициирующий заряд – 0,25 г азида свинца. Изначально композиция «А» была разработана англичанами во время Второй мировой войны. Она состояла из гексогена, флегматизированного пчелиным воском в количестве 9 %. В Германии подобные смеси маркировались голубым красителем, в Италии – красным.

2. **А-IX-1 (флегматизированный гексоген, гекфол) (СССР).** Гексоген – 93,5–95 %, флегматизатор 5–6,5 %. Флегматизатор состоит из церезина синтетического – 45 %, церезина природного – 15 %, стеарина – 38,8 %, красителя жирорастворимого оранжевого – 1,2 %. Используется в кумулятивных зарядах, детонаторах и боеприпасах малого и среднего калибров. Скорость детонации составляет 8000 м/с при плотности 1,6 г/см³, 8300–8450 м/с при плотности 1,68 г/см³. Теплота взрыва – 4,8–5,22 МДж/кг. Бризантность – 23 мм (тротил – 13 мм). Фугасность – 420–450 мл. Чувствительность к удару для груза 10 кг и высоты 25 см – 24 % (тротил 4–8 %).

А-ГС-3 (СССР). Гексоген – 90 %, церезин – 6 %, стеарин – 4 %. Используется в морских минах.

А-ГС-2 (СССР). Гексоген – 73 %, алюминий – 23 %, церезин – 2,4 %, стеарин – 1,6 %. Предназначен для снаряжения бризантно-фугасных снарядов. Скорость детонации составляет 8000 м/с при плотности 1,76 г/см³. Теплота взрыва – 6,48 МДж/кг. Бризантность – 22 мм (тротил – 13 мм). Фугасность 530 мл. Составы **А-IX-1...3** созданы во время Второй мировой войны, высокопластичны, хорошо прессуются при обычных условиях, физически

стабильны до 50–60 °С. Вплоть до настоящего времени используются в кумулятивных зарядах, осколочных, фугасно-осколочных и зажигательных боеприпасах малых и средних калибров. Впоследствии модифицировались изменением состава и содержанием флегматизатора: для этих целей использовали оксизин, окисленный полиэтиленовый воск (для повышения температурной устойчивости), смесь оксизина с полиметилметакрилатом. В настоящее время подобные составы снаряжаются термопрессованием.

3. **PBX-9205**. Гексоген – 92 %, полистирол – 6 %, диоктилфталат – 2 %. Скорость детонации 8170 м/с при плотности 1,67 г/см³. Термическая стабильность в вакууме 0,025 мл газа с 0,25 г при 120 °С за 22 ч. Заряды изготавливались термопрессованием при 98 °С. Один из первых американских PBX-ов начала 50-х годов.

4. **Octonyl** (Франция). Октоген – 90 %, нейлон – 10 %. Скорость детонации – 8850 м/с при плотности 1,77 г/см³.

5. **Окфол 3,5 (флегматизированный октоген)**. Массовое отечественное ВВ, используемое для кумулятивных боеприпасов. Октоген – 96,5 %, оксизин (окисленный церезин) розовый краситель – 3,5 %. Скорость детонации составляет 8700 м/с при плотности снаряжения 1,76 г/см³. Теплота взрыва – 5,23 МДж/кг. Термостойкость 1 ч при 200 °С. Широко применяется в отечественных кумулятивных боеприпасах, например в выстрелах для гранатометов и ПТУР. Начало использования – 60-е годы XX в. В наиболее современных боеприпасах заменен термопластичными составами ОМА (скорость детонации 8840 м/с при плотности снаряжения 1,84 г/см³) и ОКФ (скорость детонации 9000 м/с при плотности снаряжения 1,86 г/см³), последний – с использованием активного флегматизатора на основе полимера (предположительно винилового), пластифицированного тротилом (см. цв. вклейку, фото 5–7).

6. В странах Варшавского договора широко выпускался собственн «**Окфол**», известный также как **Окфол 5.5**. Смесь, состоящая из 94–96 % октогена и 6–4 % парафино-церезиновой

композиции, аналогичной использованной в А-IX-1. Скорость детонации – 8670 м/с при плотности снаряжения 1,777 г/см³.

7. **ОМА**. Октоген – 97,5 %, полиметилметакрилат – 1,2 %, оксизин – 0,8 %, графит – 0,5 %. Скорость детонации составляет 8850 м/с при плотности 1,84 г/см³. Обладает улучшенными механическими характеристиками по сравнению с Окфолом – 3,5.

8. **Rowanex-3000** (Великобритания). Октоген – 95 %, связующее (пластифицированный этиленстирольный и бутиленстирольный термопластичный сополимер графит) – 5 %. Скорость детонации составляет 8860 м/с при плотности 1,83 г/см³. Разработан и внедрен в начале 90-х годов XX в.

9. **Флегматизированный ТЭН** содержит до 5 % воска или парафина. Применялся во время Второй мировой войны в детонаторах, кумулятивных зарядах и некоторых других боеприпасах, хотя был известен уже в 30-е годы. Например, смесь 86 % ТЭН 14 % монтан-воск широко использовалась немцами и итальянцами в зенитных снарядах [45; 11, с. 182].

4.2.10. Литые составы на инертном связующем

1. **PBXN-109**. Гексоген – 64 %, алюминий – 20 %, связующее (смесь полибутадиена, диоктиладипината и изоцианатов) – 16 %. Скорость детонации составляет 7600 м/с.

2. **A-591**. Октоген – 69 %, аммония перхлорат – 17 %, полибутадиен с гидроксильными концевыми группами – 14 %. Скорость детонации составляет 8050 м/с при плотности 1,67 г/см³.

3. **Hexabu или HBU-88** (Франция). Гексоген – 88 %, полибутадиен – 12 %. Скорость детонации составляет 8100 м/с при плотности 1,66 г/см³.

4. **Octorane или ORA-86** (Франция). Малочувствительное ВВ. Октоген – 86 %, полиуретан – 14 %. Скорость детонации составляет 8330 м/с при плотности 1,71 г/см³.

5. **KS-32** (Германия). Октоген – 85 %, полибутадиен – 15 %. Скорость детонации составляет 8280 м/с.

6. **HX-76** (Германия). Гексоген – 30 %, нитрогуанидин – 55 % полибутадиен – 15 %. Скорость детонации составляет 7420 м/с при плотности 1,55 г/см³. Малочувствительное ВВ.

7. Гексоген – 28 %, алюминий – 32 %, нитрат аммония, стабилизированный нитратом калия – 25 %, церезин – 15 %. Скорость детонации составляет 6120 м/с при плотности 1,63 г/см³. Теплота взрыва – 6,36 МДж/кг. Российский малочувствительный литьевой фугасный состав.

8. Гексоген – 30 %, нитрат аммония – 53 %, церезин – 17 %. Скорость детонации составляет 5740–5900 м/с. Теплота взрыва – 3,96 МДж/кг. Фугасность – 270 мл. Критический диаметр – 40–45 мм. Малочувствительное литьевое ВВ, способное заменить амматол. Обладает высокой водостойчивостью [45; 11, с. 184].

4.2.11. Литьевые составы на термостойком связующем

Для обеспечения *повышенной термостойкости*, необходимой для ВВ, использующихся в боеприпасах для сверхзвуковой авиации и в высокоскоростных ракетах, в качестве связующего применяют кремнийорганические (полисилоксановые) каучуки и фторорганические термопластичные полимеры. Заряды обычно изготавливают прессованием (или экструзией) ВВ при повышенной температуре.

1. **С-150** (СССР). Октоген – 85 %, полисилоксановый каучук СКТН – 15 %. Скорость детонации составляет 8150 м/с при плотности 1,66 г/см³. Теплота взрыва – 5,35 МДж/кг.

2. **С-20** (СССР). Октоген – 65 %, полисилоксановый каучук СКТН – 18 %, алюминий – 17 %. Скорость детонации – 7640 м/с при плотности 1,70 г/см³. Теплота взрыва – 5,76 МДж/кг [45; 11, с. 186].

4.2.12. Составы с энергоемким связующим

В последнее время в связи с развитием концепции боеприпасов пониженной уязвимости все более широкое применение находят составы с использованием *энергоемких (активных)* связующих и пластификаторов.

При этом активным называются те связующие компоненты, которые имеют высокую энтальпию образования, либо способны самостоятельно разлагаться (гореть) в инертной среде с вы-

делением энергии. Таким образом, эти компоненты, в отличие от инертных, в определенной степени повышают общее энерго-содержание и взрывчатые характеристики ВВ. При этом в зависимости от требуемых свойств, один из компонентов (связующее или пластификатор) может быть инертным, а другой – активным, либо оба компонента являются активными. Наличие активных химических групп в самом связующем позволяет наращивать содержание флегматизатора, что сопровождается значительным снижением чувствительности ВВ при сохранении высоких энергетических характеристик и метательной способности.

Наиболее известным активным полимерным связующим является нитроцеллюлоза, однако она не всегда удовлетворяет требованиям по чувствительности, химической и, особенно термической стойкости. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется синтетическим эластичным полимерам, содержащим азидо-, нитро- и тетразольные группы. В частности, используются термопластичные полимеры на основе энергоемких оксетанов, полимерных нитраминофосфазенов. При этом некоторые энергоемкие полимеры могут проявлять еще более выраженный флегматизирующий эффект, чем инертные.

В качестве активных пластификаторов используют нитроэфиры-нитроглицерин, триэтиленгликольдинитрат, алифатические нитро- и фторсодержащие нитросоединения:

1. **Veltex 448.** Октоген – 70 %, нитроцеллюлоза (13,15 % N) – 15 %, нитроглицерин – 10,7 %, 2-нитродифениламин – 1,3 %, триацетин – 3,0 %. Экспериментальное американское ВВ, разработанное в 1957 г. и изготавливаемое по технологии бездымных порохов. Скорость детонации составляет 8500 м/с при плотности 1,72 г/см³. Теплота взрыва – 5,13 МДж/кг.

2. **Октоген** – 80 %, полиглицидилазид – 8 %, триметиллолэтантринитрат – 8 %, триэтиленгликольдинитрат – 2 %, добавки (стабилизатор, сшивающий агент и катализатор сшивки) – 2 %. Чувствительность к удару H50 = 17–19 см для груза 2,5 кг. Скорость детонации – 8360 м/с при плотности 1,74 г/см³. Термическая стабильность в вакууме – 0,28 мл газа с 1 г при 100 °С за 48 ч. Заряды формируют заливкой.

3. **Октоген** – 90 %, полинитратометил-метилоксетановый сополимер – 10 %. Чувствительность к удару H50 = 30 см для груза 2,5 кг.

4. **HNIW** 98 %, связующее на основе винилового полимера, пластифицированного тротилом – 2 %. Скорость детонации составляет 9350 м/с при плотности 1,999 г/см³. Давление на фронте детонационной волны – 40 ГПа. Теплота взрыва – 6,0 МДж/кг. Бронепробитие относительно LX – 14 (95,5 % октогена и 4,5 % Estan) – 115 %. Российский экспериментальный состав [45; 11, с. 187].

4.2.13. Пластизольные взрывчатые вещества

Продолжением эволюции пластизольных ракетных топлив, широко использовавшихся в США в 50–60-х годах XX в., явились ВВ на связующем **пластизольного типа**, не содержащем сшивающих агентов: в отличие от термопластичных ВВ, пластизольные ВВ перерабатываются при обычных температурах, а отверждаются при нагревании. Отверждение происходит за счет набухания полимера в пластификаторе – превращения пластизоля в пластигель, т. е. в пластификаторе набухает уже отвержденный полимер с образованием резиноподобного материала. Для них характерна повышенная метательная способность и низкая ударно-волновая чувствительность, кроме того они легко перерабатываются обратно на компоненты. Пластизольные составы отличаются низкой пористостью и с их помощью можно формировать заряды сложной конфигурации.

Первые отечественные пластизольные составы в качестве связующего содержали полиакриловый полимер, который впоследствии был заменен более дешевыми и менее токсичными нитроэффирами. Новые составы серии, ОЛА, ЛП, ОЛП, используемые в современных отечественных боеприпасах (фугасных и фугасно-осколочных), в качестве связующего содержат смесь нитроэфиров ЛД-70 (состоит из 70 % диэтиленгликольдинитрата и 30 % триэтиленгликольдинитрата) и полиакриловый полимер (например, «витан»), а в качестве наполнителей могут содержать октоген, гексоген (в том числе и флегматизированные),

алюминий. Термостойкие варианты составов включают добавку дифениламина. Полиакриловый полимер, в отличие от нитроцеллюлозы, является инертным связующим, однако он обладает лучшими термическими и механическими свойствами. Также он намного дешевле пластизольной нитроцеллюлозы, требующей для своего изготовления большого количества растворителей. Ниже приведены пластизольные взрывчатые вещества.

1. **PBXN-103.** Аммония перхлорат – 40 %, алюминий – 27 %, триметилэтантринитрат – 23 %, специальным образом обработанная нитроцеллюлоза (пластизольный сорт) – 6 %, триэтилглицольдинитрат – 2,5 %, этилцентралит – 1,3 %, резорцин – 0,2 %. Скорость детонации составляет 5900 м/с при плотности 1,89 г/см³. Теплота взрыва – 8,3 МДж/кг. Достаточно распространённое ВВ, предназначенное для снаряжения морских боеприпасов в армии США с начала 1970-х годов, в настоящее время заменен малочувствительными литьевыми составами типа PBXN-111 и PBXN-105.

2. **Октоген** – 70 %, специальным образом обработанная нитроцеллюлоза (пластизольный сорт) – 9,83 %, бутантриолтринитрат – 19,67 %, метилнитроанилин – 0,5 %. Измеренная средняя скорость детонации составляет 8770 м/с при плотности 1,73 г/см³. Чувствительность к удару – 41 см.

3. Состав **ОЛА-29Т.** Октоген – 53 %, алюминий – 29 %, связующее (ЛД-70: сополимер метилакрилата и акриловой кислоты 1: 0,3–0,4) – 18 %, дифениламин – 0,5 % сверх 100 %. Скорость детонации составляет 7530 м/с при плотности 1,869 г/см³. Давление детонации – 20,5 ГПа.

4. **ОЛА-8Т.** Октоген – 77 %, алюминий – 8 %, связующее (ЛД-70, полиакриловый полимер, стабилизатор) – 15 %. Скорость детонации составляет 8430 м/с при плотности 1,84 г/см³. Используется в БЧ для зенитно-ракетного комплекса.

5. **ЛП-30Т.** Гексоген – 23 %, алюминий – 29 %, ПХА – 32 %, связующее (ЛД-70, полиакриловый полимер, стабилизатор) – 16 %. Скорость детонации составляет 6450 м/с при плотности 1,90 г/см³. Используется в фугасных боевых частях (БЧ) для выстрелов к гранатомету РПГ-7 [45; 11, с. 189].

4.2.14. Эластичные взрывчатые вещества

Мягкие резиноподобные материалы. Состоят из высокобризантного ВВ (гексоген, ТЭН и др.), полимерного связующего (синтетический каучук) и пластификатора, придающих материалу свойства резины. Содержат различные добавки: антиоксиданты, упрочнители, красители.

Обладают высокой эластичностью (относительное удлинение при растяжении 50–150 %), прочностью на разрыв 1–2 МПа и диапазоном температур эксплуатации от –60 до +150 °С.

Используются для изготовления подрывных зарядов различного типа, гибких удлиненных кумулятивных зарядов, для резки, сварки и поверхностного упрочнения металла, снаряжения детонационных шнуров (в том числе и безоболоченных), изготовления элементов детонационной автоматики ракет. Первые были выпущены в США на фирме «DuPont» в 1960 г.

Изготавливают механическим смешением компонентов, последующей полимеризацией связующего и экструдированием в ленты или заряды.

1. **LX-13 (EXTEX, ХТХ-8003).** Состоит из 80 % ТЭНа и 20 % двухкомпонентной силиконовой резины Sylgard 182. Плотность составляет 1,50–1,53 г/см³. Скорость детонации – 7300 м/с. Давление на фронте детонационной волны – 17 ГПа. Используется как эластичное ВВ для специальных применений в случаях, где необходимо обеспечить малый критический диаметр. Теплота взрыва – 4,4 МДж/кг. Критический диаметр детонации – 0,36 мм. Чувствительность к удару – 2,5 кг, 50 % – 31 см.

2. **ХТХ-8004.** Состоит из 80 % гексогена и 20 % силиконовой резины Sylgard 182. Плотность составляет 1,55 г/см³. Скорость детонации – 7220 м/с (диаметр заряда 20 мм). Используется как эластичное ВВ для специальных применений в случаях, где необходимо обеспечить повышенную термостойкость. Критический диаметр детонации составляет 1,6 мм. Чувствительность к удару – 2,5 кг, 50 % – 65–70 см.

3. **ЛВВ-11.** Гексоген – 80 %, полиизобутилен – 8 %, трансформаторное масло – 8 %, дибутилсебацат – 0,5 %, полите-

трафторэтилен (тефлон) – 3,5 %, лецитин – 0,1 % (свыше 100 %). Скорость детонации составляет 7400 м/с. Плотность – 1,42 г/см³. Критический диаметр детонации – 6 мм.

4. **ЭВВ-24Р.** Гексоген – 83,2 %, бутадиенстирольный термоэластопласт – 5,5 %, минеральное масло – 4,5 %, политетрафторэтилен (тефлон) – 1,9 %, антиоксидант – 0,1 %, краситель – 0,1 %, церезин – 2,7 %, стеарин – 2,0 %. Скорость детонации составляет 7500 м/с. Плотность – 1,57 г/см³. Критический диаметр детонации – 3,5–4,0 мм.

5. **ЭЛАС-1.** ТЭН – 85 %, бутадиенстирольный термоэластопласт – 6,5 %, бутадиеннитрильный каучук – 6,5 %, политетрафторэтилен (тефлон) – 1,5 %, антиоксидант – 0,5 %. Скорость детонации составляет 7500 м/с. Плотность – 1,57 г/см³. Критический диаметр детонации – 0,5–0,7 мм. Чувствительность к удару – 52 % взрывов. Фугасность – 400 мл. Бризантность – 16 мм (25 г). Температура эксплуатации – 55–80 °С. Прочность на разрыв – 4,0 МПа.

6. **ЭЛАС-2.** Гексоген – 85 %, бутадиенстирольный термоэластопласт – 6,5 %, бутадиеннитрильный каучук – 6,5 %, политетрафторэтилен (тефлон) – 1,4 %, антиоксидант – 0,5 %, сажа – 0,1 %. Скорость детонации составляет 7600 м/с. Плотность – 1,59 г/см³. Критический диаметр детонации – 3,0–3,5 мм. Чувствительность к удару 48 % взрывов. Фугасность – 380 мл. Бризантность – 18 мм (25 г). Температура эксплуатации – 55–160 °С. Прочность на разрыв – 3,0 МПа [45; 11, с. 190].

4.2.15. Пластичные взрывчатые вещества

Однородная мягкая тестообразная масса, легко формующаяся руками. Состоит из мелкодисперсного высокобризантного ВВ (гексоген, октоген, ТЭН) в количестве 70–90 %, связующего и пластификатора. Содержит различные добавки: антиоксиданты, красители, поверхностно-активные вещества и прочие компоненты. Связующее и пластификатор в пластичном ВВ должны обеспечивать необходимую пластичность в максимально широком диапазоне температур, т. е. не затвердевать на холоде

и не растекаться при температурах 40–60 °С, а также обладать водоустойчивостью.

Первыми пластичными ВВ были изобретенные Альфредом Нобелем динамиты, однако они обладали высокой чувствительностью, токсичностью, недостаточной водоустойчивостью и не могли в полной мере использоваться для инженерных взрывных работ и снаряжения боеприпасов. В качестве связующего современных пластичных ВВ применяют главным образом различные синтетические каучуки, пластифицированные сложными эфирами фталевой, адипиновой или себациновой кислоты с различными добавками.

Пластичные ВВ используются для инженерных взрывных работ, для перебивания стальных конструкций, для обработки металлов, в шнуровых зарядах, в боеприпасах – противотанковых минах, осколочно – фугасных снарядах, детонационном шнуре и т. п.

Армейские пластичные ВВ содержат, как правило, гексоген, а пластичные ВВ для использования в промышленности более чувствительный и имеющий меньший критический диаметр ТЭН. Такие ВВ, как чешский «SEMTEX» зачастую содержат почти идентичные по мощности гексоген и ТЭН. Такое сочетание продиктовано стремлением обеспечить безотказность срабатывания от штатного КД при значительной мощности. Современные сорта «SEMTEX» содержат только ТЭН, потому что в Чехии ТЭН, произведенный из китайского пентаэритрита, обходится заметно дешевле гексогена.

Пластичные ВВ относятся к веществам, которые трудно обнаруживаются обычными методами из-за низкой концентрации паров ВВ в воздухе, поэтому в последнее время эти ВВ маркируют добавлением 0,1 – 0,5 % диметилдинитробутана или этиленгликольдинитрата. Это позволяет легко идентифицировать пластичные ВВ при помощи служебных собак или специальными приборами (по содержанию в воздухе нитросоединений).

1. **Formex P1 или Plastrite** (Франция). ТЭН – 87 %, бутадиен – стирольный каучук – 3,25 %, трансформаторное масло – 9,75 %. Скорость детонации – 7700 м/с. Используется при обработке металлов.

2. **ПВВ-4** (Пластит – 4, СССР). Гексоген 78–80 %, пластификатор 22–20 % (состоит из 3 частей веретенного масла и 1 части стеарата кальция). Плотность составляет 1,42 г/см³, скорость детонации – 7000 м/с. Теплота взрыва – 3,81 МДж/кг. Температура вспышки – 210 °С, объем продуктов взрыва – 850 л/кг. Бризантность – 21 мм (тротил – 13 мм при 1,0 г/см³). Фугасность – 280 мл. Чувствительность к удару для груза 10 кг и высоты 25 см составляет 12–16 % (тротил 4–8 %). Массовое пластичное ВВ советского производства. Это ПВВ-4 морально устарело, обладает недостаточной пластичностью и мощностью, но из-за громадных накопленных запасов используется до сих пор для инженерных взрывных работ и снаряжения некоторых боеприпасов.

3. **ПВВ-5А**. Гексоген – 85 %, полиизобутилен П-200 – 4,5 %, минеральное масло – 10,5 %. Плотность составляет 1,4 г/см³, скорость детонации – 7400 м/с. Теплота взрыва – 4,6 МДж/кг. Температура вспышки – 230 °С, объем продуктов взрыва – 850 л/кг. Бризантность – 20 мм (тротил – 13 мм). Фугасность – 330 мл. Чувствительность к удару для груза 10 кг и высоты 25 см – 36 % (тротил 4–8 %). Применяется в динамической защите танков, минах МОН-50, МОН-90 и т. д.

4. **ПВВ-7**. Пластит повышенной фугасности: гексоген – 71,5±1,5 %, полиизобутилен П-200, смазка ГОИ-54 или индустриальное масло – 11,5±1,5 %, алюминий – 17±1,5 %. Плотность составляет 1,52 г/см³, скорость детонации – 6500 м/с. Теплота взрыва – 6,28 МДж/кг, температура вспышки – 230 °С, объем продуктов взрыва – 840 л/кг, Фугасность – 480 мл, бризантность – 20 мм, критический диаметр – 6 мм, чувствительность к удару – 44 % (тротил 4–8 %). При 20 °С формуется от руки с трудом, удовлетворительная пластичность наблюдается при 35–45 °С. Используется в шланговых зарядах с целью разминирования проходов для танков.

5. **Гексопласт ГП-87К**. Гексоген – 82,5 %, петролатум – 10,4 %, бутилкаучук – 2,6 %, фторопласт – 1,5 %, цинковые белила – 3 %, лецитин – 0,1 %. Скорость детонации составляет 7000 м/с. Плотность – 1,4–1,55 г/см³. Теплота взрыва – 5,02 МДж/кг. Фугасность – 320 мл. Критический диаметр – 4 мм. Бризантность – 26 мм. Промышленное пластичное ВВ.

6. **Hardex-8011**. Гексоген – 80 %, минеральное масло – 12 %, нафтенат алюминия – 6 %, эфир пентаэритрита и жирных кислот – 2 %. Скорость детонации составляет 7000 м/с при 1,40 г/см³. Дешевое промышленное пластичное ВВ, предположительно польского происхождения, схожее по составу и параметрам с советским ПВВ-4. Используется для взрывного упрочнения металла.

7. **Perforex-79P**. ТЭН – 79 %, дибутилфталат – 13 %, нитроцеллюлоза – 8 %. Скорость детонации составляет 7850 м/с при плотности 1,50 г/см³. Используется для взрывного упрочнения металла и ремонта доменных печей.

8. **ПВВ-4** (Болгария), в настоящее время не производится. Гексоген – 83 %, полиизобутилен – 9 %, минеральное масло – 5,7 %, краситель – 0,3 %, церезин – 2 %.

9. **Дунарит 1** (Болгария). Гексоген – 75 %, пластификатор, состоящий из смеси атактического полиэтилена, церезина и минерального масла – 25 %. Военное пластичное ВВ. Фугасность – 225 мл.

10. **Пирамекс ХК** (Болгария). Гексоген – 82 %, эпоксицированное соевое масло – 16 %, нитроцеллюлоза – 2 %. Промышленное пластичное ВВ.

11. **Тангрид** (Болгария). Гексоген – 86 %, хлорпарафин – 14 %. Промышленное пластичное ВВ [42; 9, с. 191].

4.2.16. Пастообразные взрывчатые вещества

Их свойством является способность под воздействием небольших давлений принимать необходимую форму. Обладают высокой адгезией к различным материалам, в том числе мокрым и загрязненным. Перерабатываются, как правило, экструзией, используются аналогично пластичным ВВ для шланговых зарядов, а в последнее время для безопасного снаряжения боеприпасов, при этом одновременно удается улучшить сплошность зарядов. Одно из перспективных направлений их применения – использование в системах для обжата плутониевого заряда в ядерном оружии, где приведение в боевое положение осуществ-

вляется перекачкой пастообразного ВВ во внешнюю обжимающую сферу, чем достигается защита от несанкционированного срабатывания. На практике получили применение смеси на основе октогена или гексогена и малочувствительных нелетучих нитроэфиров или фторосодержащих нитросоединений: бис (2 фтор 2,2 динитроэтил) формаль, триэтиленгликольдинитрат, этилдинитропентаноат (EDNP), смесь нитроэфиров ЛД-70 (70 % ДЭГДН, 30 % ТЭГДН) и т. д. Содержат структурирующие и модифицирующие добавки, например, для загущения часто используют аэросил (кабосил). Некоторые пастообразные ВВ способны загустевать на воздухе. Отечественная паста ПС-1 содержит гексоген, смесь ЛД-70 структурированную аэросилом и модификатор.

Новейший тип пастообразных ВВ – так называемые малотоксичные экструдированные пастообразные ВВ. Композиция фирмы «Aerojet General» состоит из: гексогена – 72 %, полипропиленгликоля – 23 %, воды – 1 %, аэросила – 0,8 %, пластификатора – 2,85 %, ПАВ – 0,35 % [45; 11, с. 195].

4.2.17. Жидкие взрывчатые вещества

ВВ, находящиеся в жидком агрегатном состоянии при температурах их служебного применения. Жидкие ВВ используют в системах ядерного оружия при дистанционном минировании местности, разминировании, в качестве подрывного заряда для различных областей применения, а также при торпедировании нефтяных и газовых скважин, взрывном бурении и т. п.

Жидкие ВВ используются в качестве активной жидкой основы для получения гелеобразных, пастообразных, пластизольных ВВ и порохов. Жидкие ВВ с добавками поверхностно-активных веществ применяют для изготовления взрывчатых пен, используемых в технологии обработки металлов.

По составу жидкие ВВ могут представлять как индивидуальные химические соединения, так и многокомпонентные смеси, которые позволяют в наибольшей степени приблизиться к требуемым параметрам для жидких ВВ.

Первым наиболее важным жидким ВВ был полученный в 1846 г. нитроглицерин, использующийся вплоть до настоящего времени в динамитах и бездымных порохах. В конце XIX в. Герман Шпренгель запатентовал жидкие взрывчатые смеси на основе дымящей азотной кислоты или жидкого азота и горючего (нитробензола, сероуглерода и т. д.). Эти смеси были известны как «составы Шпренгеля» и ограниченно применялись в качестве промышленных ВВ, изготавливаемых непосредственно перед использованием. Однако из-за неудобства обращения с ними, связанного с высокой агрессивностью и токсичностью компонентов, были вытеснены порошкообразными ВВ. В первые годы Второй мировой войны в СССР для снаряжения авиабомб с бесшовными корпусами использовали смесь «КД», состоящую из 60 % азотной кислоты и 40 % дихлорэтана. Для уменьшения разъедающего действия к смеси добавляли небольшое количество олеума. Скорость детонации составляет 6180 м/с. Плотность – 1,4 г/см³. Теплота взрыва – 4,52 МДж/кг.

Современные жидкие ВВ представляют собой, как правило, смеси нитроэфиров или нитросоединений, в том числе образующих низкотемпературные эвтектические смеси:

1. **LX-01, NTN.** Нитрометан – 51,7 %, тетранитрометан – 33,2 %, 2-нитропропан – 15,1 %. Скорость детонации составляет 6840 м/с. Давление детонации – 15,6 ГПа. Теплота взрыва – 6,36 МДж/кг. Плотность – 1,24 г/см³.

2. **ЛД-70.** Динитродиэтиленгликоль – 70 %, динитротриэтиленгликоль – 30 %. Смесь нитроэфиров, используемая для изготовления взрывчатых пен, отечественных пастообразных и пластизольных ВВ.

3. Бинарный состав для снаряжения противопехотных мин-бабочек «Dragontooth», использовавшихся американцами во Вьетнаме: 75 % нитрометана и 25 % нитроэтана. В качестве сенсибилизирующего агента применяется смесь пропилендиаминметанол. Нитроэтан и метанол расширяют температуру использования до – 40 °С. Скорость детонации составляет 6500 м/с.

4. Современный американский состав: нитрометан – 72 %, морфолин – 4 %, 4,5-дигидро-3-нитроксазол. Бризантность по размеру кратера составляет 113 %.

5. **ВС-6Д.** Бис-(2,2,2-тринитроэтил) формаль (вещество К) – 9 %, бис-(2-хлор-2,2-динитроэтил) формаль (ХК) – 49 %, метиловый эфир тринитромасляной кислоты (МЭТК) – 21 %, тринитроэтилацетат (АТС) – 21 %, диоктилсебацат – 2,5 % сверх 100 %. Скорость детонации составляет 7150 м/с. Плотность – 1,53 г/см³. Теплота взрыва – 5,0 МДж/кг. Чувствительность к удару – 32–36 % взрывов. Фугасность – 380 мл. Применяется в системах дистанционного минирования, например в кассетных противопехотных минах ПФМ. Состав способен постепенно разъесть пластиковые корпуса мин при хранении [45; 11, с. 196].

4.2.18. Термобарические смеси

Термобарические боеприпасы занимают промежуточное положение между боеприпасами с обычными ВВ и объемно-детонирующими зарядами (вакуумными бомбами). Напомним, что **объемно-детонирующими зарядами** называют боеприпасы, в общем случае состоящие из центрального разрывного заряда (ЦРЗ), расположенного в центре боеприпаса, и жидкого, летучего топлива (обычно окиси этилена и пропилена), распределенного по периферии заряда. При срабатывании ЦРЗ топливо распыляется в окружающем воздухе (хотя в некоторых конструкциях распыление идет другим способом), образуя облако топливно-воздушной смеси, которое затем подрывается специальным устройством. В результате чего образуется мощная ударная волна с продолжительным фронтом сжатия-расширения, способная сохранять разрушительную способность на заметно больших расстояниях, чем заряды обычных ВВ такой же массы. Более того, подобная взрывная волна способна «затекать» в укрытия, окопы, блиндажи, тоннели.

Термобарические заряды конструктивно состоят из ЦРЗ, выполненного из обычного ВВ с высокой скоростью детонации, вокруг которого находится термобарическая смесь, представляющая собой конденсированное ВВ с высоким содержанием металлического горючего. Взрыв состоит из 3-х стадий:

1. Подрыв ЦРЗ, дающий начальную детонационную волну (длительность – микросекунды).

2. Детонационная волна от ЦРЗ инициирует детонацию термобарической смеси, которая детонирует или дефлагрирует с меньшей скоростью (анаэробная стадия, длительность – сотни микросекунд).

3. Расширение и горение продуктов взрыва за счет кислорода воздуха позади фронта ударной волны. При этом ударная волна способствует перемешиванию и сгоранию продуктов детонации за счет окружающего воздуха (аэробная стадия, длительность – миллисекунды и более).

В отличие от объемно-детонирующих зарядов термобарические не ограничены эффективной массой, равной 20–30 кг, ниже которой объемно-детонирующий боеприпас перестает эффективно работать. Это позволяет вооружать термобарическим оружием небольшие подразделения вплоть до отдельных бойцов. Термобарические боеприпасы не подвержены атмосферным явлениям (например, действию ветра), по сравнению с объемно-детонирующими, так как для осуществления взрыва не требуется время на формирование облака. Кроме того, ударная волна от взрыва термобарического заряда тоже способна затекать в укрытия, нанося поражение. Однако эффективность термобарических боеприпасов на открытой местности сравнительно невысока, лишь в закрытых и полукрытых помещениях они показывают высокую эффективность благодаря интенсивному догоранию частиц металла на отраженных ударных волнах.

Исторически первыми были реализованы жидкие смеси в Советском Союзе; они нашли применение в РПО-А «Шмель», который с успехом использовался советскими войсками в Афганистане с 1984 г.

Как правило, жидкие смеси представляют собой составы на основе жидких летучих нитроэфиров с 40–75 % порошкообразного металлического горючего. ЦРЗ составляет 10–20 % от массы термобарического заряда.

Первые советские термобарические композиции представляли собой: смесь изопропилнитрата (54 %) с порошкообразным магнием и смесь из 53 % изопропилнитрата, 29 % гексогена, 14,5 % алюминия и 3,5 % аэросила.

Из современных жидких и загущенных смесей следует отметить:

Гексоген или октоген – 15 %, этилнитрат – 40 %, алюминий – 38 %, загуститель (полибутадиеновый каучук) – 7 %. Тротильный эквивалент по давлению взрыва – 2,3.

Гексоген или октоген – 8 %, этилнитрат – 40 %, ПХА – 7 % алюминий – 18,5 %, минеральное масло – 19,5 %, загуститель (полибутадиеновый каучук) – 7 %. Тротильный эквивалент по давлению взрыва – 2,3.

Перхлорат аммония – 30 %, этилнитрат – 18 %, алюминий – 50 %, загуститель (полибутадиеновый каучук) – 1 %, синтетические жирные кислоты – 1 %. Тротильный эквивалент по давлению взрыва – 2,0.

Нитрат аммония – 32,5 %, октоген или гексоген – 32,5 %, этилнитрат – 3 %, алюминий – 30 %, загуститель (полибутадиеновый каучук) – 2 %, тротильный эквивалент по давлению взрыва – 2,1. Смесь полупластичная [45; 11, с. 197].

4.2.19. Эвтектические литьевые смеси

Сплавы, как правило, аммиачной селитры с неорганическими нитратами и перхлоратами, а также с солями органических оснований способны образовывать эвтектические литьевые композиции – смеси, имеющие существенно более низкие температуры плавления, чем указанные компоненты по отдельности. Детонационная способность подобных составов обычно невелика, поэтому в них часто добавляли около 15 % мощных БВВ типа гексогена или ТЭНа. В порошкообразном состоянии для детонации достаточно первичных средств инициирования, в литом необходим промежуточный детонатор.

Впервые были разработаны и использовались немцами во время Второй мировой войны. Однако причиной использования была не попытка получить составы с лучшими взрывчатыми характеристиками, а острая нехватка сырья для изготовления обычных БВВ типа тротила или гексогена. В настоящее время интерес к литьевым эвтектическим смесям продиктован следующими их свойствами:

дешевизна производства и широкая сырьевая база на случай крупномасштабной войны (замена тротила);

понижение чувствительности ВВ;

возможность легкой переработки и утилизации.

Немецкие составы, использовавшиеся к концу Второй мировой войны:

1. **S-16**. Нитрат аммония – 32 %, нитрат натрия – 6–8 %, нитрат калия 0 – 2 %, этилендиаминдинитрат – 10 %, гексоген – 10 %, алюминий – 40 %.

2. **S-19**, модифицированный. Нитрат аммония – 55 %, нитрат натрия – 9 %, нитрат калия – 4,2 %, мочевины – 1,8 %, гексоген – 15 %, алюминий – 15 %. **S-26** содержит вместо гексогена гексил.

3. **S-22**. Нитрат аммония – 44 %, нитрат натрия – 9 %, нитрат калия – 3 %, этилендиаминдинитрат – 14 %, гексоген или гексил – 15 %, алюминий – 15 %.

В США вскоре после Второй мировой войны были разработаны следующие составы:

1. Нитрат аммония – 80,1 %, ацетат натрия – 9,9 %, алюминий – 10 %.

2. Нитрат аммония – 60,5 %, нитрат натрия – 18 %, алюминий – 11 %, мочевины – 10,5 %. Смесь изготавливалась литьем для использования в качестве разрывного заряда в снарядах и бомбах. Чувствительность к удару составляет 96,5 см для груза 2 кг. Температура вспышки – 294 °С. Температура заливки – 103 °С. В литом состоянии показывала несколько худшие показатели по осколочности, чем тротил и поэтому была заменена амматексами.

3. **ЕАК**. Нитрат аммония – 46 %, этилендиаминдинитрат – 46 %, нитрат калия – 8 % Скорость детонации до 7500 м/с, критический диаметр детонации – 40 мм. Смесь маловосприимчива к удару, трению, огню, детонации (не детонирует от детонатора № 8), восприимчивость к детонации может быть повышена добавлением 1–2 % стеклянных микросфер. Может заменять тротил в крупных боеприпасах.

4. **НЕАК**. Нитрогуанидин – 49,1 %, этилендиамин динитрат – 25 %, нитрат аммония – 21,15 %, нитрат калия – 3,75, стеклян-

ные микросферы – 0,9 %. Скорость детонации составляет 7030 м/с при плотности 1,59 г/см³ и 7420 м/с при 1,59 г/см³. Смесь может использоваться для заливки в боеприпасы вместо тротила. Чувствительность к удару составляет 105 см, груз 2,5 кг (тротил – 56 см).

5. В последние годы в США начато производство эвтектики «DEMН» с температурой плавления 151 °С, основными компонентами которой являются этилендиамина динитрат и диэтилентриамина динитрат. Смесь **IMX-103**, содержащая 50 % нитрогуанидина, 45 % эвтектики «DEMН» и 5 % гексогена полностью не прошла тесты на малочувствительность применительно к 155 мм снарядам, но удовлетворяет требованиям к ВВ для мин к минометам [45; 11, с. 199].

4.2.20. Промышленные взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры

Это ВВ, содержащие в качестве основного компонента и окислителя аммиачную селитру. Введение аммиачной селитры в состав ВВ позволяет значительно уменьшить общую стоимость ВВ и свести кислородный баланс к 1, что позволяет повысить работоспособность и значительно уменьшить количество вредных газов, выделяющихся при взрыве (важно при проведении подземных взрывных работ). Во ВВ, предназначенные для применения в шахтах, которые являются опасными по газу и пыли, вводят пламегасители – хлориды натрия, калия, аммония. Эти добавки снижают температуру взрыва и предотвращают появление остаточного пламени. ВВ с добавлением пламегасителей называют предохранительными. ВВ на основе аммиачной селитры выпускаются в большом количестве для проведения промышленных взрывных работ, некоторые пригодны для военного использования. Различают следующие основные типы ВВ:

Аммониты – ВВ, содержащие в качестве основных компонентов аммиачную селитру и нитросоединения.

Амматолы – ВВ, содержащие в качестве основных компонентов аммиачную селитру и тротил.

Карбатылы – литые ВВ, содержащие в качестве основных компонентов аммиачную селитру, мочевины и тротил.

Аммоналы – ВВ, содержащие в качестве основных компонентов аммиачную селитру, нитросоединения и порошок алюминия.

Динамоны – ВВ, содержащие в качестве основных компонентов аммиачную селитру и невзрывчатые в самостоятельном виде горючие.

Водосодержащие ВВ – ВВ, содержащие в качестве основных компонентов аммиачную селитру, горючее (обычно ВВ типа тротила) и загущенную воду.

Эмульсионные ВВ – ВВ, содержащие в качестве основных компонентов водную эмульсию аммиачной селитры (в смеси с другими водорастворимыми солями-нитратами) в жидком горючем (обычно мазут, дизельное топливо). Стабильность эмульсии поддерживается эмульгатором.

Аммониты. Взрывчатые смеси, содержащие нитрат аммония и нитросоединения. Применяющиеся в настоящее время аммониты обычно состоят из 61–97 % нитрата аммония, 3–21 % тротила. Предохранительные сорта содержат до 20 % пламегасителя (NaCl). В целях экономии тротила и уменьшения слеживаемости в состав вводят древесную муку, торф и разрыхляющие горючие добавки. Для увеличения восприимчивости к детонации также могут содержать до 15 % добавок ТЭНа, гексогена, нитроэфиров, в США для этих целей часто применяют нитрометан. В качестве веществ, повышающих водоустойчивость, используют стеараты железа, кальция, цинка, мел, крахмал и др. Выпускают главным образом в патронах, шашках, гранулах, а также в порошкообразном виде. Применяются для взрывных работ, в военное время могут использоваться в боеприпасах. Аммониты, содержащие малое количество бризантного ВВ, теряют способность детонировать при сильном уплотнении, поэтому обычно используются при плотностях 1,0–1,3 г/см³. При хранении склонны к слеживаемости, при этом заряд уплотняется, и детонационная способность резко падает.

Наиболее распространен аммонит № 6 ЖВ.

Для взрывной обработки металлов используют порошкообразные аммониты серии **АТ**, состоящие из АС и 3–7 % тротила. Скорость детонации составляет 1500–3800 м/с, при насыпной плотности – 0,85–0,9 г/см³. Фугасность – 270–285 мл. Чувствительность к удару – 4–8 % для груза 10 кг с высоты 25 см. Безотказно детонируют от промежуточного детонатора. В определенных условиях восприимчивы к КД № 8. Критический диаметр составляет 10–20 мм.

Грануляция аммонитов позволяет значительно улучшить водостойкость и сыпучесть (такие ВВ пригодны к механическому заряданию). Однако они менее восприимчивы к детонации и для подрыва требуют промежуточного детонатора.

Гранулированные смеси аммиачной селитры и тротила называются **граммонитами**.

Гранулированные смеси, состоящие из эмульсии аммиачной селитры и других неорганических нитратов в тротиле, образованной в присутствии поверхностно-активных веществ и пластификаторов, называются **гранитолами**. Ниже представлены некоторые типичные составы аммонитов.

1. **Аммонит скальный № 1.** NH_4NO_3 – 66 %, тротил – 5 %, гексоген – 24 %, алюминий – 5 %. Использовался для взрывных работ крепких и особо крепких горных пород. Фугасность составляет 450–480 мл. Объем продуктов взрыва – 830 л/кг. Теплота взрыва – 5,41 МДж/кг. Скорость детонации – 4800–5300 м/с. Чувствительность к удару для груза 10 кг и высоты 25 см 56–68 % (тротил 4–8 %). Критический диаметр без оболочки составляет 5–6 мм. Бризантность – 18 мм.

2. **Аммонит № 1ЖВ серный** (предохранительный). NH_4NO_3 – 52 %, тротил – 11,5 %, хлорид аммония – 30 %, древесная мука – 1,5 %. Фугасность составляет 200–220 мл. Скорость детонации – 2500–3000 м/с. Бризантность – 11 мм.

3. **Аммонит № 2** NH_4NO_3 – 88 %, Тротил – 12 %.

4. **Аммонит № 3 нефтяной** (предохранительный). NH_4NO_3 – 52,5 %, тротил – 7 %, хлорид калия – 30 %, стеараты – 1,5 %. Фугасность составляет 220–240 мл. Скорость детонации – 2800–3200 м/с при 1,2 г/см³. Бризантность – 12 мм.

5. **Аммонит АП – 4ЖВ** (предохранительный. Класс 3). NH_4NO_3 – 68 %, тротил – 17 %, хлорид натрия или хлорид калия – 15 %. Фугасность составляет 285–300 мл. Скорость детонации – 3600–4200 м/с. Бризантность – 13 мм.

6. **Аммонит АП – 5ЖВ** (предохранительный. Класс 3). NH_4NO_3 – 70 %, тротил – 18 %, хлорид натрия или хлорид калия – 12 %. Фугасность составляет 320–330 мл. Скорость детонации – 3600–4600 м/с. Бризантность – 14 мм.

7. **Аммонит № 6ЖВ**. NH_4NO_3 – 79 %, тротил – 21 %. Скорость детонации составляет 3600–4800 м/с при плотности в патроне 1,0–1,2 г/см³. Бризантность – 14–16 мм. Фугасность – 360–365 мл. Чувствительность к удару составляет 16–32 % для груза 10 кг и высоты падения 25 см. Объем продуктов взрыва – 895 л/кг. Теплота взрыва аммонита № 6 ЖВ – 4,2 МДж/кг. В порошке восприимчив к первичным средствам инициирования (КД № 8). Критический диаметр без оболочки 10–13 мм.

8. **Русский Беллит**. NH_4NO_3 – 83 %, динитробензол – 17 %. Использовался в Первую мировую войну в бомбах и гранатах.

9. **Аммоксил**. NH_4NO_3 – 82 %, ксилит – 18 %, применялся в минах и ручных гранатах во время Первой и Второй мировых войн.

10. **Мансит**. NH_4NO_3 – 72 %, пикрат аммония – 23 %, битум – 5 %. Аналог громобоя, в настоящее время не используется.

11. **Граммонит 70/30**. NH_4NO_3 – 70 %, тротил – 30 %. Фугасность составляет 330–340 мл. Критический диаметр без оболочки – 40–60 мм. Промышленное гранулированное ВВ.

12. **Граммонит 50/50**. NH_4NO_3 – 50 %, тротил – 50 %. Фугасность составляет 340–350 мл. Скорость детонации – 3600–4200 м/с. Критический диаметр без оболочки – 40–50 мм. Промышленное гранулированное ВВ.

13. **Граммонит Т-5**. NH_4NO_3 – 90,5 %, порошок каменного угля – 3 %, дизельное топливо – 1,5 %, тротил чешуированный – 5 %. Фугасность составляет 360–370 мл. Теплота взрыва – 3,81 МДж/кг. Критический диаметр в стальной оболочке равен 57 мм. Промышленное гранулированное ВВ.

14. **Граммонит ТМ.** NH_4NO_3 – 83,3 %, гранулол – 15 %, нефтепродукт – 1,7 %. Теплота взрыва составляет 3,94 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 854 л/кг. Скорость детонации – 2200–3500 м/с при плотности 0,8–1,15 г/см³. Критический диаметр в стальной оболочке равен 19 мм. Промышленное гранулированное ВВ.

Амматолы. Смеси, содержащие 30–80 % NH_4NO_3 и 70–20 % тротила. В действительности амматолы это военное название тротилосодержащих аммонитов. По чувствительности к удару незначительно превосходят тротил, с ростом содержания нитрата аммония восприимчивость к детонации и бризантность падает, а фугасность повышается. Разработаны в Первую мировую войну (1915 г.) англичанами для компенсации дефицита тротила. Во время Второй мировой войны составляли большую часть производимых ВВ для боеприпасов. Наибольшее применение находили амматол 80/20, снаряжаемый прессованием или экструзией, и амматол 50/50, предназначенный для заливки. Амматол 80/20 выше температуры плавления тротила смесь имеет пластичную консистенцию и боеприпасы снаряжают экструзией. Амматол 80/20 имеет теплоту взрыва 4,27 МДж/кг. Скорость детонации составляет 4000 м/с при плотности 1,0 г/см³, 5080 м/с при 1,46 г/см³. Фугасность – 126 % от тротила. Работоспособность в баллистической мортире 130 % от тротила. Бризантность (песочная проба) составляет 74 %. Для А50/50 скорость детонации – 5600 м/с при плотности 1,59 г/см³. Фугасность – 116 % от тротила. Работоспособность в баллистической мортире 123 % от тротила. Бризантность (песочная проба) – 90 % от тротила.

Для А60/40 скорость детонации составляет 5500 м/с при плотности 1,61 г/см³. Фугасность – 125 % от тротила. Работоспособность в баллистической мортире 128 % от тротила. Бризантность (песочная проба) – 90 % от тротила. А 80/20 применяется для взрывных работ, в военное время использовался в боеприпасах (крупнокалиберные снаряды и авиабомбы). Амматолы, содержащие более 30 % тротила, изготавливаются смешением расплава тротила с NH_4NO_3 и последующим прессованием в шашки, либо заливкой. Для улучшения восприимчивости

к первичным средствам инициирования литьевых амматолов предложено добавлять к тротилу до 14 % ТЭНа (в пределах естественной растворимости). Это позволяет использовать амматолы для изготовления промежуточных детонаторов.

При продолжительном хранении амматолов в металлическом корпусе, они становятся чувствительными к тепловым и механическим воздействиям. Из-за медленной реакции между нитратом аммония и металлом постепенно выделяется аммиак, что приводит к образованию нестабильных комплексов тротила с аммиаком, которые могут самовоспламеняться или взрываться при выплавлении или ударном воздействии. Поэтому для амматолов часто применяют футлярное зарядание или внутреннюю лакировку корпуса боеприпаса. Смеси гранулированной аммиачной селитры, пропитанной жидким нефтепродуктом и 5–20 % гранулозола, называют **граммотолами**.

Карбатолы. Литьевые смеси на основе аммиачной селитры и мочевины, сенсibilизированные тротилом. Могут содержать металлы – алюминий или ферросилиций, а также структурообразователи (карбоксиметилцеллюлозу), сшитую хромпиком.

Для образования легкоплавкого раствора мочевины и аммиачной селитры в составе имеют 3–5 % воды. Плавятся при температуре выше 50 °С, обладают высокой плотностью, и могут изготавливаться непосредственно на месте проведения взрывных работ. Их заливают непосредственно в скважину, где они потом и застывают. За счет приблизительно одинаковой плотности расплавленного тротила и солевой эвтектики смесь не расслаивается до затвердевания, хотя в больших шпурах все-таки наблюдается расслоение. Водоустойчивы. Практически не чувствительны к искре, огню и механическим воздействиям. Не восприимчивы к первичным средствам инициирования. Теплота взрыва составляет 3,43–5,68 МДж/кг. Скорость детонации – 4000–5000 м/с. Фугасность – 320–470 мл. Плотность литых зарядов 1,5–1,65 г/см³.

1. **Карбатол ГЛ-15Т.** NH_4NO_3 – 67 %, тротил – 15 %, мочевины – 13 %, вода – 4 %, Na-карбоксиметилцеллюлоза – 1 %. Теплота взрыва составляет 3,43 МДж/кг. Скорость детонации –

4500–4800 м/с при 1,5–1,55 г/см³. Фугасность – 320–350 мл. Объем продуктов взрыва 946 л/кг. Бризантность в стальном кольце 24–26 мм. Критический диаметр – 120–150 мм. Чувствительность к удару – 4–12 %.

2. **Карбатол ГЛ-10В.** NH₄NO₃ – 57 %, тротил – 10 %, мочеви́на – 13 %, алюминий – 15 %, вода – 4 %, Na-карбоксиметилцеллюлоза – 1 %, полиакриламид – 0,8 % (свыше 100 %). Теплота взрыва составляет 5,68 МДж/кг. Скорость детонации – 4500–5000 м/с при 1,5–1,60 г/см³. Фугасность – 450–470 мл. Объем продуктов взрыва – 844 л/кг. Бризантность в стальном кольце – 28–30 мм. Критический диаметр – 140–160 мм. Чувствительность к удару 12–24 %. Минимальный инициирующий импульс – 40–50 г тротила.

3. **Карбатол А.** NH₄NO₃ – 56,5 %, тротил – 25 %, мочеви́на – 13 %, вода – 4 %, добавки – 1,5 %.

Аммоналы. Патронированные смеси, содержащие 66–80,5 % NH₄NO₃, мелкодисперсный алюминий в количестве 4,5–10 %, повышающий теплоту взрыва и фугасное действие. Большое содержание алюминия (более 10 %) в смесях на основе NH₄NO₃ считается нецелесообразным, так как резко возрастает количество непрореагировавшего металла. Для улучшения водостойкости и детонационной способности обычно содержат нитросоединения (тротил, реже гексоген, ТЭН и др.) Восприимчивы к первичным средствам инициирования. Чувствительны к огню. Теплота взрыва составляет 4,94–5,66 МДж/кг. Скорость детонации достигает 3800–6500 м/с. Бризантность – 16–22 мм. Фугасность – 410–460 мл. Плотность прессованных – 1,4–1,58 г/см³. Применяются для взрывных работ в патронированном виде. В смеси с достаточно большим содержанием БВВ в военное время могут применяться в боеприпасах при нехватке тротила.

Простейшие аммоналы это бинарные смеси NH₄NO₃ и алюминия, которые в современной литературе рассматриваются под названием динамоны (см. также); при содержании алюминия 40 % расчетная теплота взрыва достигает 9,2 МДж/кг. Однако подобные двойные смеси в настоящее время не используются, так как они отличаются весьма низкой детонационной способ-

ностью и при недостаточном инициирующем импульсе склонны к дефлаграции – переходу процесса детонации в неустойчивый процесс взрывного горения со скоростью взрывчатого превращения нескольких сотен м/с. А их применение экономически менее эффективно, чем применение других ВВ на основе аммиачной селитры.

Гранулированные смеси тротила, NH_4NO_3 и алюминия называются **граммоналы**.

Ниже представлены некоторые типичные составы аммоналов.

1. **Аммонал ВА-4** (водоустойчивый). NH_4NO_3 – 80,5 %, алюминий – 4,5 %, тротил – 15 %. Фугасность составляет 410–430 мл. Скорость детонации – 4000–4500 м/с. Теплота взрыва – 4,94 МДж/кг. Критический диаметр без оболочки – 12–14 мм. Бризантность – 17,5 мм (тротил – 16 мм). Чувствительность к удару – 16–32 %.

2. **Аммонал скальный № 3**. NH_4NO_3 – 72 %, тротил – 5 %, гексоген – 15 %, алюминий – 8 %. Использовался для взрывных работ. Фугасность составляет 450–470 мл. Скорость детонации достигает 4000–4500 м/с. Критический диаметр без оболочки – 8–10 мм. Теплота взрыва – 5,65 МДж/кг.

3. **Граммонал А-8**. NH_4NO_3 – 80 %, алюминий – 8 %, тротил – 12 %. Фугасность составляет 420–440 мл. Скорость детонации достигает 3800–4000 м/с. Критический диаметр без оболочки – 30–40 мм.

4. **Граммонал А-45**. NH_4NO_3 – 40 %, алюминий – 45 %, тротил – 15 %. Фугасность составляет 440–460 мл. Скорость детонации достигает 5800–6300 м/с. Критический диаметр без оболочки – 60–80 мм.

5. NH_4NO_3 – 79 %, алюминий – 8,5 %, пентолит – 11,5 %, стеарат – 1,0. Теплота взрыва составляет 5,38 МДж/кг. Фугасность достигает 400 мл. Скорость детонации – 4300 м/с при плотности 1,15 г/см³. Использовался для взрывных работ.

6. NH_4NO_3 – 82,4 %, алюминий – 6 %, тротил – 10,6 %, добавки (минеральное масло, стеараты) – 1 %. Теплота взрыва составляет 5,04 МДж/кг. Фугасность достигает 440 мл. Скорость детонации – 4400 м/с при плотности 1,05 г/см³. Использовался для взрывных работ [45; 11, с. 201].

Динамоны. Патронированная смесь мелкодисперсного NH_4NO_3 и невзрывчатого горючего, (преимущественно в стехиометрических пропорциях): древесная мука, уголь, торф, сажа, алюминий или более дешевый ферросилиций, а также мазут, нефтяные масла, парафин – для снижения гигроскопичности.

Порошкообразные прессованные динамоны чувствительны к огню, в сухом виде довольно восприимчивы к первичным средствам инициирования, но при этом обладают низкой детонационной способностью (склонны к дефлаграции – взрывному горению), неводоустойчивы и имеют тенденцию к слеживаемости. Водоустойчивые динамоны имеют индекс «В» и изготавливаются с применением гидрофобного легкоплавкого горючего типа парафина или церезина. Не чувствительны к удару.

Гранулированные динамоны обладают еще меньшей детонационной способностью (для подрыва необходим вторичный заряд) и меньшей гигроскопичностью. Пригодны к механизированному заряданию. Динамоны, предназначенные для подводных взрывных работ, состоят из парафина с алюминием, нанесенного в расплавленном виде на аммиачную селитру.

Игданиты. Зарубежные аналоги игданитов: ANFO, Декамон, Пермон-1, Солетрол, Аммонекс-1.

Наиболее дешевое и самое массовое ВВ для взрывных работ. Изготавливаются на месте проведения взрывных работ; состоят из 5–6 % дизельного топлива или солярового масла и гранулированного или чешуйчатого NH_4NO_3 . Наилучшей детонационной способностью обладает игданит, изготовленный из пористой аммиачной селитры с добавкой поверхностно-активных веществ. Эти вещества улучшают контакт между окислителем и горючим и предотвращают стекание горючего с поверхности гранул. Предложено опудривать гранулы аммиачной селитры безводным сульфатом кальция (а также аэросилом или диатомитом), образующего на поверхности гранул нитрата аммония сильнопористый комплексный продукт с хорошей впитывающей способностью.

Неводоустойчивы. При незначительном увлажнении впитывающая способность гранул аммиачной селитры и детонацион-

ная способность резко уменьшаются. При влажности 0,19 % не пористая гранулированная аммиачная селитра впитывает 13,3 % дизельного топлива, тогда как при влажности 0,26 % – только 1,5 %. При дальнейшем увлажнении впитывающая способность остается постоянной и варьируется в пределах 1,5–2 %, поэтому часто содержание дизельного топлива не превышает 2–3 % и в состав вводят дополнительное горючее для обеспечения кислородного баланса близкого к 1, и получают таким образом различные динамоны. Теплота взрыва игданита составляет 3,76 МДж/кг. Плотность в скважине – до 1,1 г/см³. Скорость детонации достигает 2200–2800 м/с при плотности 1,0 г/см³, фугасность – 320–330 мл. Критический диаметр детонации – 120–150 мм в бумажной оболочке и 25–30 мм в стальной оболочке. Минимальный инициирующий импульс – 20–30 г тротила. Сухая смесь мелкодисперсной аммиачной селитры с 3–4 % содержанием дизельного топлива может детонировать от первичных средств инициирования.

Гранулиты. Содержат гранулированную смесь NH_4NO_3 и жидкого горючего, опудренные древесной мукой или порошком алюминия. Теплота взрыва составляет 3,8–5,2 МДж/кг. Применяются для взрывных работ в России, вытеснили классические динамоны. Гранулиты НП, М, С-6М по составу подобны игданиту.

Динамоны в настоящее время активно вытесняются более прогрессивными эмульсионными ВВ и в ряде стран вообще сняты с производства.

1. **Динамон I.** NH_4NO_3 – 88 %, бурый уголь – 12 %.

2. **Динамон Т.** NH_4NO_3 – 88 %, торф – 12 %. Бризантность составляет 13–16 мм. Скорость детонации достигает 2900–3500 м/с при плотности 1,0–1,1 г/см³ (заряд в металлической трубе диаметром 32 мм и толщиной стенок 4 мм). Фугасность – 320 мм. Теплота взрыва – 3,90 МДж/кг.

3. **Гранулит АС-4.** NH_4NO_3 – 91,8 %, дизельное топливо – 4,2 %, алюминий – 4 % Теплота взрыва составляет 4,52 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 910 л/кг. Фугасность – 390–410 мл. Скорость детонации достигает 2600–3200 м/с при плотности

1,0–1,3 г/см³ (заряд в стальной трубе диаметром 40 мм, промежуточный детонатор 10 г). Критический диаметр детонации – 60–100 мм в бумажной оболочке и 20–25 мм в стальной оболочке. Минимальный инициирующий импульс – 5–10 г тротила.

4. **Гранулит АС-С тип А.** NH₄NO₃ – 75,2 %, дизельное топливо – 2,5 %, угольный порошок – 2,5 %, хлорид натрия – 20,2 %
Теплота взрыва составляет 3,09 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 800 л/кг. Скорость детонации достигает 3200 м/с при плотности 0,9–0,95 г/см³. Критический диаметр в стальной трубе – 30–40 мм, в бумажной оболочке – 120–150 мм. Чувствительность к удару 0–8 %.

5. **Гранулит АП.** NH₄NO₃ – 92 %, дизельное топливо – 3 %, железный концентрат – 5 %. Теплота взрыва составляет 3,01 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 980 л/кг. Скорость детонации достигает 3000–3200 м/с при плотности 1,0–1,05 г/см³ (заряд в стальной трубе диаметром 45 мм). Критический диаметр в стальной трубе – 40 мм. Чувствительность к удару – 8–16 %.

6. **Гранулит Ж.** NH₄NO₃ – 90 %, жир животный – 10 %. Теплота взрыва составляет 3,77 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 840 л/кг. Скорость детонации достигает 4500–4600 м/с при плотности 0,85–1,0 г/см³. Критический диаметр в стальной трубе – 40 мм, в бумажной оболочке – 160 мм. Чувствительность к удару – 0 %.

7. **Гранулит Т.** В зависимости от типа содержит: NH₄NO₃ – 93,4–79 %, нефтепродукт – 4,6–1,0 %, торф 2–20 %. Теплота взрыва составляет 2,74–3,71 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 969–1021 л/кг. Скорость детонации достигает 3200–3600 м/с при плотности 0,7–0,9 г/см³. Критический диаметр – 60–180 мм. Чувствительность к удару – 0 %.

8. **Гранулит АФ-12.** NH₄NO₃ – 85 %, ферросилиций – 11,5 %, масло промышленное – 3,5 %. Теплота взрыва составляет 5,74 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 829 л/кг. Скорость детонации в стальной трубе достигает 2900–3600 м/с при плотности 0,8–0,9 г/см³. Критический диаметр детонации – 150 мм в бумажной оболочке и 80 мм в стальной оболочке.

9. **Динамон АМ-10.** NH_4NO_3 – 87,7 %, минеральное масло – 2,3 %, алюминий – 10 %. Теплота взрыва составляет 5,42 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 800 л/кг. Фугасность – 425–460 мл. Скорость детонации достигает 4100–4300 м/с при плотности 1,0–1,3 г/см³ (заряд в стальной трубе диаметром 40 мм, промежуточный детонатор 10 г).

10. **Динамон АМ-8** содержит 8 % алюминия и 3 % минерального масла. Теплота взрыва составляет 5,19 МДж/кг. Объем продуктов взрыва – 845 л/кг. Фугасность – 410–430 мл. Скорость детонации достигает 3000–3600 м/с при плотности 1,0–1,3 г/см³ (заряд в стальной трубе диаметром 40 мм, промежуточный детонатор 10 г). Динамоны АМ-10 и АМ-8 выпускались в патронах диаметром 60–120 мм, в настоящее время заменены гранулитом АС-8, пригодным для механического заряжания.

11. **Гранулит АС-8В** (водоустойчивый) имеет тот же состав и те же характеристики, что и динамон АМ-8, только вместо минерального масла используется сплав парафина и церезина, нанесенный на гранулы аммиачной селитры. Критический диаметр детонации составляет 80–110 мм в бумажной оболочке и 20–25 мм в стальной оболочке. Минимальный инициирующий импульс 5–10 г тротила.

12. NH_4NO_3 – 80 %, алюминий – 20 %. Использовался для взрывных работ и в боеприпасах во время Второй мировой войны. Максимальная скорость детонации составляет 3800 м/с в заряде 110 мм достигается при плотности ~1,05 г/см³. Фугасность – 530 мл. Бризантность по Гессу – 15,5 мм при 1,0 г/см³, (тритил свободнонасыпанный – 13 мм, аммонит № 6–15 мм). Объем продуктов взрыва – 700 л/кг.

13. NH_4NO_3 – 89 %, алюминий – 3 %, древесная мука – 7 %, минеральное масло – 1 %. Теплота взрыва составляет 4,2 МДж/кг. Скорость детонации достигает 3600 м/с при плотности 0,82 г/см³. Используется для взрывных работ.

14. NH_4NO_3 – 88–90 %, уголь или древесная мука – 5–7 %, минеральное масло или дизельное топливо – 2–3 %, Na-соль КМЦ – 1 %. Теплота взрыва достигает 3,79 МДж/кг. Скорость детонации составляет 3600 м/с при плотности 1,0 г/см³. Используется для взрывных работ [45; 11, с. 206].

Водосодержащие ВВ. Основой водосодержащих ВВ является загущенный водный раствор аммиачной селитры или смесей аммиачной и натриевой (кальциевой) селитр. Смеси нитратов натрия и аммония образуют более концентрированные водные растворы и обеспечивают меньшую температуру замерзания, чем растворы этих солей, взятые по отдельности. Реже используют перхлораты.

Водный гель заполняет промежутки между частицами ВВ, в результате чего водосодержащие ВВ выгодно отличаются от порошкообразных повышенной плотностью и лучшими взрывчатыми характеристиками. Также они обладают пластичностью или текучестью, пригодны для подачи по шлангу и к механическому заряданию с помощью специальных машин. Однако при определенных условиях вода может флегматизировать ВВ, поэтому состав комбинируют таким образом, чтобы соотношение между взрывчатыми характеристиками и механическими были оптимальными. Обычно содержание воды не превышает 20–25 %.

Водосодержащие ВВ содержат сенсибилизатор, БВВ (тротил, иногда с добавками гексогена или ТЭНа), порошок алюминия повышающий теплоту взрыва. Во избежание расслоения компонентов содержат загуститель (полиакриламид, Na-соль карбоксиметилцеллюлозы, гуаргам и т. д.). В зависимости от состава представляют собой текучий гель или упругую пластичную массу.

Практически не восприимчивы к удару, открытому огню и первичным средствам инициирования. Критический диаметр составляет 90–300 мм. В зависимости от консистенции выпускаются в патронах, мешках или изготавливаются на месте применения в специальных смесительно-зарядных машинах. Пригодны к механическому заряданию. Пластичные водосодержащие ВВ выпускаются в патронах и шланговых зарядах.

Акваниты. Водосодержащие пластичные или гелеобразные ВВ (могут содержать до 20–25 % воды) на основе NH_4NO_3 иногда в сплавах или смесях с другими нитратами, различными горючими и взрывчатыми веществами в тонкодисперсном состоянии (тротил, алюмотол, бездымный порох и т. д.). Для предотвращения

ния расслоения компонентов смеси вводят 1–3 % водорастворимого полимера-загустителя (соли карбоксиметилцеллюлозы, полиакриламид, гуаргам и др.), для сохранения текучести при пониженной температуре – антифризы. Теплота взрыва составляет 3–5 МДж/кг, плотность 1,4–1,6 г/см³. Применяют главным образом для подземных взрывных работ. Скорость детонации достигает 5500 м/с.

Акваналы. Содержат загущенный концентрированный раствор NH₄NO₃ 80–90 %, чешуйчатый тротил до 20 %, а для повышения теплоты взрыва – алюминий (или силикоалюминий), могут также содержать до 25 % дополнительного окислителя (нитрат калия или натрия) и до 15 % дополнительного горючего – мочевины. В качестве структурообразователя используют бихроматы, буру, квасцы и др., которые сшивают молекулы загустителя, повышая вязкость и предотвращая оседание дисперсных частиц. Плотность достигает 1,75 г/см³. Теплота взрыва до 6,1 МДж/кг. По консистенции представляют собой подвижную массу или пластичный студень. Пластичные выпускаются в виде патронов и рукавов. Текучие могут заливаться непосредственно в скважину.

Акватолы. Содержат тротил, алюминий, воду, NH₄NO₃, NaNO₃. Представляют собой, как правило, текучую смесь гранулированного аммонита или аммонала в загущенном водном растворе аммиачной селитры. Наиболее известен акватол Т20, содержащий около 20 % гранулолота и 20 % воды. Плохо восприимчивы к детонации. Для подрыва требуют 2–3 шашки по 400 г тротила. Плотность составляет 1,4–1,5 г/см³. Применяют, главным образом, для подземных взрывных работ. Скорость детонации достигает 5000–5600 м/с. Критический диаметр детонации 100–120 мм. Теплота взрыва 3,35–3,77 МДж/кг.

Ифзаниты. Содержат гранулированный алюмотол, воду, NH₄NO₃. Применяются для взрывных работ, при достаточном содержании воды подвижны и могут подаваться в скважину по шлангу.

Селипоры. Содержат аммиачную селитру, пороховую крошку, воду и добавки. Изготавливаются в патронированном виде.

Аммиачная селитра – 44,5–49,5 %, натриевая или кальциевая селитра – 3–4 %, бездымный порох – 30–35 %, раствор полиакриламида (7–8 %) 1–1,5 %, диэтиленгликоль – 2–3 %, вода до 100 %. Структурирующие добавки 0,05–0,09 % (бихромат калия и сульфит натрия). Теплота взрыва 3,35–3,91 МДж/кг. Объем продуктов взрыва составляет 935–971 л/кг. Скорость детонации достигает 4060–4090 м/с. Критический диаметр – 35–60 мм.

Ниже представлены составы некоторых водосодержащих ВВ.

1. **Акватол 63/35**. Нитрат аммония – 63 %, тротил – 34 %, Na-КМЦ – 3 %, вода – 15 % (сверх 100 %). Фугасность – 350 мл. Плотность составляет 1,4–1,45 г/см³. Скорость детонации достигает 5500 м/с. Бризантность – 25–28 мм (с подпрессованным 10 г зарядом тротила).

2. **Акванал М-15**. Нитрат аммония – 58,5 %, тротил – 25 %, алюминий – 15 %, Na-КМЦ – 1,5 %, бура 0,02–0,04 %, вода – 15 % (сверх 100 %). Фугасность – 465–485 мл. Плотность – 1,35–1,4 г/см³. Скорость детонации – 4800–5800 м/с. Бризантность – 30–34 мм (с подпрессованным 10 г зарядом тротила).

3. **Акванал № 1**. Нитрат аммония – 57 %, нитрат кальция – 10 %, тротил – 20 %, алюминий – 5 %, Na-КМЦ – 1 %, экстракт сульфитной целлюлозы – 1,0 %, вода – 6 %.

4. **Акванит № 2**. Нитрат аммония – 44,2 %, нитрат кальция – 7,4 %, тротил – 5 %, гексоген – 35 %, Na-КМЦ – 1,1 %, аэросил – 0,8 %, вода – 6,5 %. Фугасность составляет 380 мл. Бризантность – 20 мм. Плотность заряжения – 1,4 г/см³.

5. **Реолит А2** (Швеция). Аммиачная селитра – 28 %, натриевая селитра – 25 %, тротил – 23 %, алюминий – 7,5 %, вода – 15 %, загуститель и структурообразователь – 1,5 %. Скорость детонации составляет 5040 м/с при плотности 1,5 г/см³. Теплота взрыва – 4,9 МДж/кг. Используется для взрывных работ, имеет текучую гелеобразную консистенцию.

6. **Кимит** (Швеция). Аммиачная селитра – 57 %, нитрат натрия – 10 %, вода – 16 %, алюминий – 8 %, горючее – 3,5 %, этиленгликоль – 4 %, загуститель (гуаргам) – 1,5 %, сшивающий агент – 0,05 %. Теплота взрыва составляет 4,3 МДж/кг. Скорость детонации достигает 3800–4000 м/с при плотности 1,1–1,2 г/см³.

Используется для взрывных работ, имеет пастообразную консистенцию. Водостойчив [45; 11, с. 209].

Эмульсионные ВВ. В качестве окислителя, как правило, содержат пересыщенный водный раствор нитрата аммония с добавкой нитрата натрия или кальция, реже – перхлоратов.

Для повышения взрывчатых характеристик могут иметь в составе добавки БВВ (гексоген) или соли азотной (хлорной) кислоты и органических аминов (нитраты метиламина, этилендиамина и т. д.).

В качестве горючего выступают различные синтетические масла, дизельное топливо, воск, парафин и т. д. Иногда используются синтетические полимеры и каучуки. В отечественных составах применяют дешевое горючее – мазут. Для повышения теплоты взрыва могут иметь в составе до 10 % алюминия. Содержание воды в готовой смеси составляет 5–20 %. Плотность готовой смеси варьируется в пределах 0,9–1,35 г/см³. Кислородный баланс, как правило, нулевой или положительный.

В зависимости от вида эмульсии существуют 2 типа эмульсионных ВВ: «масло в воде» и «вода в масле». Составы типа «масло в воде» (**прямая эмульсия**) по составу и свойствам можно отнести к водосодержащим ВВ. Они тоже содержат загуститель и структурирующий агент, однако горючим компонентом является эмульсия жидкого топлива в водном растворе солей-окислителей. Стабильность эмульсии поддерживается соответствующим эмульгатором. Составы этого типа в настоящее время практически полностью вытеснены смесями на основе обратных эмульсий.

Составы типа «вода в масле» (**обратная эмульсия**), называемые **эмулитами**, представляют собой эмульсию высококонцентрированного (пересыщенного) водного раствора солей окислителя в углеводородном горючем. Обратные эмульсии обладают лучшей водостойкостью, чем прямые эмульсии, так как микрокапли раствора окислителя окружены тонкой водонепроницаемой пленкой углеводородного горючего. Эта пленка также в определенной мере препятствует кристаллизации нитратов, что увеличивает жизнеспособность эмульсии и позволяет

использовать пересыщенные растворы и эвтектические смеси (эмульсионные смеси). Первый патент на эмульсионное ВВ был получен в 1967 г., а в 1976 г. было начато его производство на фирме «Atlas powder».

Для всех типов эмульсионных ВВ характерно однородное распределение компонентов по массе вещества и заметно большая (по сравнению с простейшими смесями типа аммиачная селитра – дизельное топливо) площадь контакта окислителя и горючего.

По консистенции эмульсионные ВВ могут быть твердыми, пастообразными и текучими в зависимости от состава и типа эмульгатора. Вязкость эмульсионных ВВ определяется, главным образом, вязкостью топливной фазы. Наиболее распространены текучие ВВ с 12–20 %-ным содержанием воды, так как их можно изготавливать непосредственно на месте применения с помощью специальных машин и использовать механическое зарядание с заливкой в скважину.

Для придания способности детонировать от первичных средств инициирования к смеси добавляют бризантные ВВ или различные агенты, понижающие плотность (стеклянные или пластмассовые микросферы с номинальным размером 50–60 микрон, вспененный перлит и т. п.), либо смесь содержит газообразующий агент (азрирующую добавку), способный при нагревании насыщать твердое ВВ микропузырьками газов и понижать плотность, т. е. проводить активацию эмульсионного ВВ. В качестве активаторов обычно используют нитрит натрия и динитрозопентаметилентетрамин, реже – бикарбонат натрия в присутствии уксусной кислоты. Активированные ВВ, в зависимости от состава, сохраняют восприимчивость к КД № 8 от нескольких дней до полугода. «Неактивированные» ВВ не детонируют, либо для детонации нужен очень мощный вторичный детонатор. Безопасны при перевозке, так как активация может быть проведена на месте взрывных работ на специальных установках [42; 9, с. 200].

В настоящее время в Беларуси на базе РКП «ЦУАИБ» производятся следующие виды эмульсионных промышленных ВВ:

«Нитрониты» марок Э-50, Э-70, представляющие собой механическую смесь эмульсии, пористой гранулированной аммиачной селитры, дизельного топлива и газогенерирующей добавки (см. цв. вклейку, фото 8). Энергетические характеристики «Нитронитов» 50/70 соответственно: теплота взрыва 782–804 ккал/кг/737–768 ккал/кг; температура вспышки 340 °С/330 °С; чувствительность к трению не менее 931 МПа; скорость детонации 4,9–5,1 км/с/4,8–5,0 км/с; кислородный баланс – 0,6–(–3,4)/– 0,8(–4,8).

«Эмульсен-ГА-90» марок 1,2,3 представляет собой патронированные заряды, предназначенные для взрывных работ на земной поверхности (см. цв. вклейку, фото 9, 10). В состав марки 1 входит состав Г-2У (см. цв. вклейку, фото 11), представляющий собой смесь 60 % флегматизированного гексогена, 15 % дисперсного алюминия, 25 % воды и эмульсия (см. цв. вклейку, фото 12); марка 2 содержит увлажненную крошку состава А-IX-2 и эмульсию; марка 3 содержит увлажненную крошку состава А- IX-1 и эмульсию.

«Эмульсен-ГАП» представляет собой смесь эмульсии с составом Г-2У и пироксилиновым зерненным порошком. В настоящее время ведется работа по получению патента на данное промышленное ВВ.

Гелеобразные эмульсионные ВВ, состоящие из водного раствора окислителя и жидкого горючего, сенсibilизированные пузырьками газов, называются порэмитами.

Порэмитами. Имеют скорость детонации 3500–5500 м/с. Теплоту взрыва – 2,72–5,86 МДж/кг. Наиболее известен порэмит IА, изготовляемый на месте взрыва в смесительно-зарядной машине и порэмит II (патронированный).

Эмульсионные ВВ выгодно отличаются низкой стоимостью, по сравнению с аммонитами и тротилом, пониженной чувствительностью к внешним воздействиям с хорошей восприимчивостью к детонации, многие детонируют от детонатора № 8 и даже № 6, а при взрывных работах могут успешно заменять **грануло-тол** в том числе и в обводненных скважинах. В настоящее время эмульсионные ВВ на основе обратных эмульсий являются наиболее перспективными и быстро развивающимися типами про-

мышленных ВВ на основе аммиачной селитры. Также распространены составы **гранэммиты** или **эмуланы**, содержащие смесь собственно эмульсионного ВВ (30–50 %) и гранулированную аммиачную селитру или игданит в качестве наполнителя. Они, как правило, изготавливаются на месте проведения взрывных работ, более дешевы и имеют повышенную плотность заряжания.

Эмульсионные ВВ на основе прямых эмульсий.

1. Нитрат аммония – 41,6 %, перхлорат натрия – 16,0 %, вода – 13,6 %, нитрометан – 20,0 %, стеклянные микросферы – 3,0 %, гуаргам – 0,6 %, загуститель нитрометана – 0,2 %, сшивающий агент – 0,02 %, алюминий – 5 %. Скорость детонации составляет 4450 м/с при плотности 1,26 г/см³. Восприимчив к детонатору № 8.

2. Нитрат аммония – 56,3 %, перхлорат натрия – 2,6 %, нитрат натрия – 12,9, вода – 7,2 %, нитрометан – 11,2 %, стеклянные микросферы – 3,6 %, формамид – 3,6 %, нитроцеллюлоза – 0,7 %, этиленгликоль – 1,1, загуститель – 0,8 % Скорость детонации составляет 3270 м/с.

Эмульсионные ВВ на основе обратных эмульсий.

3. Нитрат аммония (или смесь с нитратами натрия или кальция) – 74,4 %, вода – 16,1 %, стеклянный порошок – 0,1 %, стеклянные микросферы – 0,15 %, остальное – смесь жидкого полиизобутилена с минеральным маслом и диметилэтанололамином (эмульгатор). Плотность в заряде составляет 1,1–1,3 г/см³.

4. 93,5 % раствора окислителя (80 % аммиачной селитры и 20 % воды) и 6,0 % топливной фазы (15 % специальный полимерный эмульгатор, 10 % неионогенный эмульгатор, 37,5 % индустриальное масло, 37,5 % дизельное топливо). Пластиковые микросферы – 0,5 %. Скорость детонации в картридже диаметром 75 мм и плотности 1,24 г/см³ – 5800 м/с. Критический диаметр – 30 мм. Минимальный инициирующий заряд – КД, содержащий 2 г ТЭНа.

5. *Emsite*. Нитрат аммония – 62,9 %, нитрат натрия – 13 %, вода – 12 %, гидроксид натрия – 2,5 %, масло – 2,8 %, олеиновая кислота – 2,8 %, вспученный перлит – 4 %. Скорость детонации при плотности 1,06 г/см³ – 4817 м/с. В аппарат для эмульгирования добавляется раствор нитрата аммония и нитрат натрия, на-

гретый до 80–90 °С, затем подается раствор олеиновой кислоты в минеральном масле, после чего добавляли гидроксид натрия. Смесь перемешивалась до образования эмульсии. Эмульсия сенсibilizировалась в гомогенизаторе путем добавления вспученного перлита.

6. **Нитрат натрия** – 12–14 %, вода – 9–13 %, алюминий – 4–8 %, масло индустриальное или мазут – 4–7 %, эмульгатор – эфиры жирных кислот талового масла с пентаэритритом – 2,5–3,0 %, карбамид или уротропин – 2–3 %, нитрат аммония – остальное, нитрит натрия – 0,05–0,15 % сверх 100 %. Температура химической сенсibilизации 80±5 °С. Допустимое время пребывания в скважине до взрыва – 10 сут.

7. **Порэмит П-5А.** Нитрат аммония – 51–54 %, нитрат кальция – 16–17 %, вода – 11 %, алюминий – 5 %, масло индустриальное – 2,5 %, петролатум – 2,5 %, эмульгатор ПТ – 3 %, микросферы – 5–9 %. Скорость детонации составляет 3500–4800 м/с. Критический диаметр в открытом виде – 50–70 мм. Объем продуктов взрыва достигает 850–900 л/кг. Плотность в патроне – 1,3 г/см³. Теплота взрыва – 3,9–4,3 МДж/кг.

8. **Порэмит П-10А.** Нитрат аммония – 43 %, нитрат кальция – 16–17 %, вода – 11 %, алюминий – 10 %, масло индустриальное – 2,5 %, петролатум – 2,5 %, эмульгатор ПТ – 3 %, микросферы – 5 %. Скорость детонации составляет 3500–4800 м/с. Критический диаметр в открытом виде 50–70 мм. Объем продуктов взрыва достигает 800–950 л/кг. Плотность в патроне – 1,3 г/см³. Теплота взрыва – 4,8–5,0 МДж/кг.

9. **Сларрит А.** Нитрат аммония – 74,8 %, вода – 18,9 %, газогенерирующая добавка Н-10 – 0,6 %, эмульгатор – 0,47 % или 1,3 % (первая цифра соответствует варианту с прямой эмульсией, вторая – варианту с обратной эмульсией), нефтепродукт – 3,9 % или 4,5 %. Вариант с прямой эмульсией дополнительно содержит: загуститель – 0,38 %, пеногаситель – 0,1 %, структурирующая добавка Н-5 – 0,2 %. Скорость детонации составляет 3200–4500 м/с. Критический диаметр в стальной оболочке обратная/прямая эмульсия 57/21 мм, в картонной оболочке 32/80 мм. Объем продуктов взрыва 1020 л/кг. Плотность – 0,9–1,25 г/см³. Теплота взрыва достигает 2,87–2,94 МДж/кг.

10. **Сларрум В.** Нитрат аммония – 60,6 %, нитрат натрия – 17,5 %, вода – 15,6 %, газогенерирующая добавка Н-10 – 0,6 %, эмульгатор 0,4 % или 1,7 % (первая цифра соответствует варианту с прямой эмульсией, вторая – варианту с обратной эмульсией), нефтепродукт 5,1 % или 6,0 %. Вариант с прямой эмульсией дополнительно содержит: загуститель – 0,38 %, пеногаситель – 0,1 %, структурирующая добавка Н-5 – 0,2 %. Скорость детонации 3200–4500 м/с. Критический диаметр в стальной оболочке обратная/прямая эмульсия 57/21мм, в картонной оболочке 32/80 мм. Объем продуктов взрыва составляет 893 л/кг. Плотность – 0,9–1,25 г/см³. Теплота взрыва – 3,18–3,26 МДж/кг.

Существуют эмульсионные составы, совсем не содержащие воды (эмульсоидные ВВ). Окислителем в них является переохлажденная эвтектическая смесь солей, находящаяся в жидком состоянии при нормальных условиях.

11. Нитрат аммония – 67,8 %, нитрат натрия – 17,1 %, нитрат калия – 4,2 %, ацетат аммония – 4,2 %, минеральное масло – 2,2 %, воск – 1,5 %, эмульгатор (смесь сорбитанмоноолеата, сорбитандиолеата и соевого лецитина) – 3 %. Композиция имеет пастообразную консистенцию, а из-за отсутствия воды обладает повышенными энергетическими характеристиками. Пригодна для подрыва в обводненных скважинах.

В Китае производятся порошковые эмульсионные ВВ, представляющие собой промежуточное ВВ между динамонами и эмульсионными ВВ. Технология производства – распыление компонентов, обеспечивающее очень мелкодисперсную структуру с хорошим контактом между горючим и окислителем и прессование в шашки. Для улучшения технологии производства обычно содержат 3–5 % влаги и специального полимерного эмульгатора. Подобные композиции обычно имеют следующие характеристики. Плотность – 0,85–1,05 г/см³. Скорость детонации более – 3400 м/с. Фугасность – более 320 мл. Бризантность – более 13 мм [45; 11, с. 212].

Нитроэфирсодержащие ВВ. К нитроэфирсодержащим относят все смесевые ВВ, содержащие нитроглицерин (НГЦ) независимо от наличия других компонентов. Различают низкопроцентные <15 %, среднепроцентные 15–60 % и высокопроцентные.

Динамиты. Смесевые БВВ содержащие нитроглицерин или другие нитроэфирсы в количестве более 15 %, соли-поглотители (нитраты натрия, кальция, аммония), горючее – динитротолуол, мононитротолуол, древесная мука и т. п. и стабилизаторы – вещества увеличивающие срок хранения (карбонаты и оксалаты). Чувствительны к удару, трению, огню. Различают динамиты полупластичные, содержащие 15–40 % нитроэфиров, пластичные – более 40 % нитроэфиров. Для предотвращения замерзания при низкой температуре вводят некоторое количество нитрогликоля или динитродидиэтиленгликоля, образующих с нитроглицерином низкоплавкие эвтектические смеси. Специальные предохранительные сорта динамитов, т. е. предназначенные для использования в шахтах, опасных по газу и пыли, содержат до 20 % солей-пламегасителей (хлориды или сульфаты щелочных металлов).

С 60-х годов XX в. в СССР динамиты были запрещены к применению из-за опасности в обращении, частых отказов и высокой стоимости производства. Динамиты, содержащие в качестве наполнителя смесь нитрата аммония и древесного угля, в большинстве стран также запрещены из-за нестабильности свойств и высокой чувствительности.

Тем не менее низкопроцентные нитроэфирсодержащие ВВ типа детонитов находят применение и поныне для специальных взрывных работ, где необходимо использовать ВВ с малым критическим диаметром, а механическое зарядание невозможно (расчистка ледяных заторов, корчевание пней, дробление негабарита и т. д.).

Предохранительные нитроэфирсодержащие ВВ широко применяются в шахтах особо опасных по газу и пыли.

Ниже представлены составы динамитов.

1. Стандартный 62 %: нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 62 %, нитроцеллюлоза – 3 %, нитрат калия или натрия – 27 %, древесная мука – 8 %. Теплота взрыва составляет 5,3 МДж/кг, температура вспышки – 205 °С. Фугасность – 380 мл. Скорость детонации достигает 6000 м/с при 1,4 г/см³. Чувствительность к удару для груза 10 кг и высоты 25 см – 100 % (тротил 4–8 %). Бризантность – 15–18 мм (Аммонит 6ЖВ 14–16 мм).

2. Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 15 %, нитроцеллюлоза – 1 %, нитрат аммония – 73,5 %, тротил – 9 %, полиметилметакрилат – 0,5 %, древесная мука – 2 %. Фугасность – 340 мл. Скорость детонации достигает 5100 м/с при 1,32 г/см³.

3. Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 60 %, нитроцеллюлоза – 3 %, нитрат аммония – 31 %, древесная мука – 6 %. Фугасность – 410 мл. Скорость детонации достигает 6400 м/с.

4. Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 60 %, нитроцеллюлоза – 4 %, нитрат калия или натрия – 28 %, древесный уголь – 8 %.

5. Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 10 %, нитроцеллюлоза – 1 %, нитрат аммония – 58 %, древесный уголь – 8 %, оксалат аммония – 5 %, хлорид натрия – 18 %.

6. Карбонит D4 (польское ВВ для угольных шахт). Нитроглицерин – 4 %, нитрат аммония – 75 %, тротил – 5,5 %, динитротолуол – 1,5 %, древесная мука – 3,5 %, хлорид натрия – 10,5 %. Фугасность составляет 270–289 мл. Скорость детонации достигает 2380–2720 м/с.

Детониты. Мощные ВВ, содержащие аммиачную селитру 74–78 %, нитросоединения (тротил) 5–10 %, алюминий 5–11 % и 5–20 % сенсibilизатора – труднозамерзающей смеси жидких нитроэфиров (нитроглицерин + нитрогликоль). Используются для взрывания крепких горных пород и выпускаются в патронированном виде. Наиболее известен **Детонит М**, который предназначен для взрывания крепких и особо крепких пород. Состав: аммиачная селитра – 78 %, смесь нитроэфиров – 10 %, алюминиевая пудра – 10,7 %, стеарат кальция или цинка – 1 %, коллоксилин – 0,3 %, карбонат кальция и индустриальное масло – сверх 100 %. Теплота взрыва составляет 5,79 МДж/кг. Скорость детонации достигает 4200–5000 м/с при 0,95–1,2 г/см³. Бризантность – 17–18 мм. Объем продуктов взрыва – 832 л/кг. Фугасность – 450–500 мл.

1. *Детонит 6А.* Аммиачная селитра – 77 %, смесь жидких нитроэфиров – 6 %, тротил – 11 %, алюминиевая пудра – 5,3 %,

стеарат кальция – 0,7 %, бикарбонат натрия – 0,25 % (сверх 100 %). Скорость детонации – 4000 м/с при плотности 1,1 г/см³. Бризантность – 17 мм.

2. *Детонит 10А*. Аммиачная селитра – 76 %, смесь жидких нитроэфиров – 10 %, тротил – 8 %, алюминиевая пудра – 5,2 %, стеарат кальция – 0,7 %, коллоксилин – 0,1 %, бикарбонат натрия – 0,2 % (сверх 100 %). Скорость детонации составляет 4200 м/с при плотности 1,1 г/см³. Бризантность – 17 мм.

3. *Диаммон*. Аммиачная селитра – 78 %, смесь жидких нитроэфиров – 10 %, алюминиевая пудра – 10,7 %, стеарат кальция – 4,2 %, коллоксилин – 1,0 %, щелочь (сверх 100 %) – 0,2 %, масло промышленное (сверх 100 %) – 0,2 %. Объем продуктов взрыва – 980 л/кг. Скорость детонации достигает 2360–4400 м/с. Бризантность – 7–24 мм.

Для взрывания в шахтах опасных по газу и пыли часто используют предохранительные и селективно-детонирующие ВВ, например, углениты, победиты и иониты.

Углениты, победиты и иониты. Содержат 5–15 % нитроглицерина или смесей нитроэфиров и до 30 % пламегасителя.

1. *Победит ВП-4* (класс 3). Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 9 %, нитрат аммония ЖВ – 65,5 %, тротил – 12 % древесная мука – 1,5 %, хлорид натрия – 12 %. Фугасность составляет 320–340 мл. Скорость детонации достигает 3800–4600 м/с.

2. *Угленит Э-6* (класс 5). Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 14,2 %, нитрат калия или натрия – 46,3 %, древесная мука – 2,5 %, хлорид натрия или калия 7 %, хлорид аммония – 29 %, стеараты – 1 %, нитроцеллюлоза – 0,2 % (сверх 100 %), сода кальцинированная – 0,2 % (сверх 100 %). Фугасность составляет 130–170 мл. Скорость детонации – 2100–2500 м/с. Плотность в патроне – 1,15–1,3 г/см³. Чувствительность к удару составляет 60–90 %. Теплота взрыва – 2,68 МДж/кг.

3. *Ионит*. Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 10 %, нитрат натрия – 54 %, хлорид аммония – 33,7 %, Na-КМЦ – 1 %, стеарат кальция – 0,5 %, тальк – 0,8 %, нитроцеллюлоза – 0,14 % (сверх 100 %), сода кальцинированная – 0,2 % (сверх

100 %). Фугасность 90 мл. Скорость детонации – 1600–1800 м/с. Чувствительность к удару – 24–32 %. Плотность в патроне 1,1–1,3 г/см³. Теплота взрыва – 1,93 МДж/кг.

4. *Селектит гранулированный* (класс 5). Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 10 %, нитрат аммония ЖВ – 66,5 %, древесная мука – 8,5 %, хлорид натрия – 15 %. Фугасность – 220–240 мл. Скорость детонации – 1800–2000 м/с.

5. *Угленит № 7* (класс 6). Нитроглицерин или его смесь с нитрогликолем – 10 %, древесная мука – 2 %, нитрат натрия или калия – 57 %, хлорид натрия или калия – 30 %, диатомит – 1 %. Фугасность – 100–120 мл. Скорость детонации – 1600–1800 м/с.

6. Немецкое селективно-детонирующее ВВ. Нитроглицерин/нитрогликоль 60:40 – 9 %, нитрат калия – 58,6 %, хлорид аммония – 31,0 %, древесная мука – 1,0 %, кизельгур – 0,4 % [45; 11, с. 216].

Астролиты. «Astrolite» – торговая марка гидразинсодержащих ВВ, разработанных в 1963 г. фирмой «ЕХСОА». Группа жидких бинарных смесевых ВВ, представляющих собой растворы неорганических и органических окислителей в безводном гидразине с различными горючими веществами. Как правило, состоят из жидкой и твердой фазы, смешивающихся непосредственно перед взрывом. Обладают низкой водоустойчивостью и высокой детонационной способностью. Составы, содержащие гидразин высокотоксичны при кожном контакте, к тому же гидразин способен улетучиваться в процессе хранения, что ведет к ухудшению физических свойств. Достаточно мощные ВВ с высокой скоростью детонации и повышенной работоспособностью. Фугасность стехиометрической смеси перхлората гидразина с алюминием составляет 650–700 мл. Жидкие астролиты хорошо впитываются в пористые материалы с сохранением способности к детонации, замерзают при –30–40 °С (низкозамерзающие сорта).

Ограниченно применялись для взрывных работ в США, а также как бинарное ВВ для рытья окопов (комплект «Astro-Рак»). Также использовались для снаряжения боеприпасов (осколочная мина MLU-54Е). Для повышения энергетических

характеристик могут содержать до 30 % порошка алюминия. В настоящее время не применяются из-за токсичности и выделения раздражающих паров аммиака.

Ниже представлены **составы некоторых астролитов**. 1. *Астролит G*. Нитрат аммония – 49 %, гидразин – 48 %, вода – 3 %. Скорость детонации – 8000 м/с.

2. *Астролит LLTX G-2* (низкозамерзающий до -40 °С). Составляет из жидкой фазы (15 % нитрата гидразина, 70 % гидразина и 15 % воды) и твердой фазы (80 % нитрата аммония и 20 % перхлората аммония). Перед применением жидкая фаза смешивается с твердой в соотношении 1:2. Скорость детонации составляет 7800 м/с [45; 11, с. 219].

4.2.21. Перхлоратные взрывчатые вещества

Группа смесевых ВВ, содержащих в качестве окислителя перхлорат аммония, реже перхлораты калия и натрия. По сравнению с составами на основе нитрата аммония обеспечивают лучшие энергетические характеристики, но имеют высокую чувствительность к удару и трению. В качестве горючих используют различные органические и неорганические вещества: сажу, алюминий и ферросилиций, тротил, динитронафталин, жидкие нитросоединения и т. д. По составу и свойствам схожи с ВВ на основе аммиачной селитры и применялись для тех же целей.

Перхлоратные ВВ (шеддиты) были изобретены в Англии в 1897 г., они использовались для снаряжения некоторых боеприпасов и взрывных работ до Второй мировой войны (в Японии под названием «карлиты» и позже). В настоящее время перхлоратные ВВ практически не применяются из-за опасности в обращении.

1. **Шеддит I**. Перхлорат аммония – 82 %, динитротолуол – 13 %, касторовое масло – 5 %. Скорость детонации составляет 4020 м/с при оптимальной плотности $1,04$ г/см³. Предельная плотность достигает $1,33$ г/см³.

2. **Шеддит II**. Перхлорат аммония – 50 %, нитрат натрия – 30 %, динитротолуол – 15 %, касторовое масло – 5 %. Скорость

детонации составляет 3361 м/с при оптимальной плотности 1,04 г/см³. Предельная плотность – 1,38 г/см³.

3. **Аммоналматрит № 98.** Перхлорат аммония – 89 %, горючее – 11 % (состоит из 8 % вазелина, 27 % парафина, 65 % канифоли). Применялся для промышленных взрывных работ в СССР до Второй мировой войны. По бризантности превосходит тротил (16,3 мм). Плотность снаряжения – 1,17 г/см³.

Менее слеживающиеся составы с парафином.

4. **Пераммон.** Перхлорат аммония – 90 %, парафин – 10 % скорость детонации составляет 3400 м/с, фугасность – 470 мл. Применялся во Франции и Италии для снаряжения боеприпасов ближнего боя во время Первой мировой войны.

5. **Бластин.** Перхлорат аммония – 60 %, нитрат натрия – 22 % тринитротолуол – 11 %, парафин – 7 %. С успехом использовался англичанами во время Первой мировой войны.

6. Перхлорат аммония – 86 %, парафин – 14 % скорость детонации составляет 3700 м/с, бризантность по Гессу – 20 мм. Применялся во Франции и Италии для снаряжения боеприпасов ближнего боя во время Первой мировой войны.

Японские промышленные перхлоратные ВВ (карлиты).

7. **№ 5 Kuzo Carlite.** Перхлорат аммония – 73–75 %, древесные опилки – 6–11 %, ферросилиций – 13–18 %. Скорость детонации составляет 4000–4500 м/с при плотности 1,10–1,15 г/см³. Фугасность – 440–470 мл.

8. **Akatsuki Carlite.** Перхлорат аммония – 22–27 %, нитросоединения – 2–7 %, неорганические нитраты – 60–70 %, древесные опилки – 8–13 %, ферросилиций – 2–7 %. Скорость детонации составляет 4000–4500 м/с при плотности 1,10–1,15 г/см³. Фугасность – 390–440 мл.

9. **AO Carlite.** Перхлорат аммония – 17–22 %, нитросоединения – 2–7 %, неорганические нитраты – 60–70 %, древесные опилки – 8–13 %, ферросилиций – 2–7 %. Скорость детонации составляет 3700–4200 м/с при плотности 1,05–1,10 г/см³. Фугасность – 380–440 мл [45; 11, с. 220].

Раздел V

ПОРОХА

Пороха – это твердые смеси различных соединений, способных устойчиво (без перехода в детонацию) гореть в широком интервале давлений (1–10 000 атм). Пороха – источники энергии для сообщения снарядам, ракетам необходимой скорости полета к цели.

В зависимости от химического состава обычно различают **нитроцеллюлозные (бездымные или коллоидные), смесевые пороха** и пороха **смешанного типа**.

Основа всех **нитроцеллюлозных порохов** – нитросоединения целлюлозы типа пироксилина, пластифицированные различными растворителями. В зависимости от вида нитросоединений целлюлозы и летучести растворителя различают пироксилиновые пороха, баллиститы и кордиты.

Коллоидные (нитроцеллюлозные или бездымные) пороха и ракетные топлива. Горючей основой для бездымных порохов является нитроцеллюлоза типа коллоксилина и пироксилина, способная желатинизироваться в некоторых растворителях с образованием коллоидного раствора. При охлаждении такого раствора получается пластическая пороховая масса, легко поддающаяся прессованию в шашки, используемые в дальнейшем в качестве элементов порохового заряда.

Классификация коллоидных порохов очень разнообразна и носит взаимно пересекающийся характер. Наиболее распространены следующие классификации:

1. **По виду** используемого растворителя различают пороха (английская классификация):

пироксилиновые;
баллиститные;
кордитные.

2. **По количеству основных компонентов** (американская классификация) различают пороха:

одноосновные;
двухосновные;
трехосновные.

3. **По назначению различают пороха:**

пороха для ручного стрелкового оружия;
артиллерийские пороха пироксилиновые;
артиллерийские пороха баллиститные;
артиллерийские пороха нитрогуанидиновые;
коллоидные ракетные топлива среднего энергетического уровня;

низкотемпературные топлива и медленногорящие топлива;
беспламенные топлива;

топлива с уменьшенной зависимостью скорости горения от давления;

топлива с повышенными энергетическими характеристиками.

Пироксилиновые пороха содержат пироксилин (12,2–13,5 % азота) до 98 %, следы летучего растворителя – пластификатора (чаще всего смеси этанола с диэтиловым эфиром, реже ацетон или этилацетат), небольшое количество (до 2 %) стабилизатора химической стойкости (например, дифениламин или этилцентралит) и прочие добавки (см. цв. вклейку, фото 13–15). Беспламенные сорта пироксилиновых порохов содержат в своем составе 3–5 % пламегасителя (сульфат и хлорид калия, канифоль). В зависимости от технологии изготовления и состава могут содержать до 1,1 % гигроскопической влаги. Разновидностью пироксилиновых порохов являются вязкозные пороха, где нитроцеллюлозу получают нитрованием вязкозной нити. В состав вязкозных порохов в качестве стабилизатора вводят ацетанилид. Пироксилиновые пороха применяют только в ствольных системах, при изготовлении элементов с большими длинами горящего свода, требуемых для ракетных систем, невозможно обеспе-

чить равномерное улетучивание растворителя из более глубоких слоев пороховой шашки. Вследствие чего возможны отклонения от требуемых законов горения или деформация заряда при хранении.

Баллиститные пороха. Обычно изготавливаются на основе коллоксилина, содержащего 11,8–12,3 % азота и нелетучего растворителя типа нитроглицерина. При этом коллоксилин полностью пластифицирован труднолетучим растворителем. В этом отличие баллиститных порохов от кордитных. Теплота сгорания баллиститов находится в пределах 2,5–5,0 МДж/кг. На основе утилизируемых пироксилиновых и баллиститных порохов изготавливают промышленные ВВ – гранипоры (см. цв. вклейку, фото 16, 17).

Кордитные пороха являются «промежуточными» по составу между баллиститными и пироксилиновыми порохами. Содержат около 30 % нитроглицерина и пироксилин. Для достижения необходимой степени пластификации пироксилин смешивают с раствором нитроглицерина в летучем растворителе (ацетон или спиртоэфирный раствор). Для облегчения переработки пороховой массы добавляют вазелин. Из полученной массы выпрессовывают порох, удаляют летучий растворитель и сушат при повышенной температуре. Теплота сгорания кордитов находится в пределах 3,0–5,0 МДж/кг. Кордиты и баллиститы используются в ствольной артиллерии и в качестве твердых ракетных топлив для небольших двигателей. Обладают сильным разгарно-эррозионным действием на ствол оружия, что является их недостатком.

Одноосновные пороха – бездымные пороха, имеющие в своем составе нитроцеллюлозу (пироксилин) в качестве основного компонента. По сути, то же самое, что и **пироксилиновые пороха**.

Двухосновные пороха – бездымные пороха, в качестве двух основных компонентов содержащие нитроцеллюлозу типа пироксилина или коллоксилина и нелетучий растворитель (нитроглицерин), либо несколько нелетучих растворителей. По сути, то же самое, что и обычные **кордиты и баллиститы**.

Трехосновные пороха – бездымные пороха, в качестве трех основных компонентов содержащие нитроцеллюлозу типа пироксилина или коллоксилина, нелетучий растворитель нитроглицерин и нитрогуанидин, устраняющий вспышку при выстреле и понижающий разгарно-эрозионное действие пороха на ствол орудия. Пороха, содержащие нитрогуанидин, обладают повышенной дымностью. По сути, то же самое, что кордиты и баллиститы с добавкой ВВ [45; 11, с. 222].

Смесевые пороха. Смесевые пороха (ТРТ) – гетерогенные композиции, состоящие, как правило, из неорганического окислителя: NH_4ClO_4 , NH_4NO_3 , горючего – связующего (полибутадиеновые, полиуретановые, полисульфидные и другие каучуки, различные синтетические смолы и энергоемкие полимеры) в количестве 10–25 %. Для повышения энергетических характеристик ракетного топлива добавляют до 25 % порошка металла – например, алюминия.

Артиллерийские пороха для боеприпасов пониженной уязвимости. В начале 70-х годов XX в. в США с целью увеличения безопасности порохов и снижения уязвимости боеприпасов были разработаны специальные смесевые артиллерийские пороха на основе гексогена, скрепленного полимерной матрицей. Под уязвимостью боеприпасов понимают стойкость к целому комплексу воздействий: (нагревание, попадание осколков, прострел пульей, воздействие кумулятивной струи и т. п.). Пороха пониженной уязвимости предназначены, прежде всего, для снаряжения боеприпасов для танков.

Дымные (черные) пороха. Смесевые пороха, содержащие окислитель KNO_3 в составе 70–80 %, горючее древесный уголь – 10–20 %, серу – 8–20 %. Сера улучшает воспламеняемость и понижает гигроскопичность (см. цв. вклейку, фото 18, 19). При содержании 2 % влаги трудно воспламеняется. Обычный дымный порох содержит KNO_3 , 75±1 %, древесный уголь 15±1 %, серу 10±1 %. Шнуровой состоит из KNO_3 , 77±2 %, древесного угля 11±1,5 % и серы 12±1,5 %. Порох для ракетных зарядов к американским сигнальным ракетами M127A1 и M125 состоит из KNO_3 –

67,2 %, древесный уголь – 14,5 %, сера – 9,4 %, кальция карбонат – 9,2 %. Состав имеет плотность гранул 1,82–1,89 г/см³.

Дымный порох легко воспламеняется под действием искры, чувствителен к удару и трению, температура вспышки составляет 270–310 °С. Теплота сгорания – до 2,9 МДж/кг. Формально горение происходит в 2 стадии: 1: $2\text{KNO}_3 + \text{S} + 3\text{C} = \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{N}_2 + 2\text{C} + \text{CO}_2$, с увеличением давления увеличивается доля вступившего в реакцию угля: 2: $\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{C} = \text{K}_2\text{S} + 2\text{CO}_2$. Реальный состав продуктов сгорания дымного пороха намного сложнее и сильно зависит от плотности заряда и давления. Чувствительность к удару 70–100 см для груза массой 2 кг. Объем продуктов сгорания для стандартного состава доходит до 280 л/кг. Специфическая плотность для различных составов – 1,5–1,85 г/см³. Насыпная плотность – 0,9–0,98 г/см³. Температура горения – 1900–2100 К. Плотность зерен гранулированного дымного пороха составляет около 1,75 г/см³, прессованного под давлением 5000 кг/см² – 1,88 г/см³. При иницировании дымного пороха с помощью капсюля-детонатора возникает детонация со скоростью около 400 м/с (в трубе диаметром 40 мм). Взрывное превращение дымного пороха обычно рассматривается как промежуточный процесс между детонацией и горением. Фугасность в бомбе Трауцля 30 мл. В XIX в. производили дымный порох, содержащий нитрат натрия и нитрат аммония в качестве окислителя и бессерный порох (KNO_3 75–80 %, древесный уголь 20–25 %). Однако пороха такого состава более гигроскопичны и хуже воспламеняются. Вскоре они были заменены бездымными порохами.

Пороха смешанного типа. В отдельную группу обычно входят пороха смешанного типа (или смесевые твердые ракетные топлива с двухосновным связующим), которые состоят из окислителя (перхлораты), порошка алюминия или другого горючего, а в качестве горючего-связующего используется коллоидный раствор нитроклетчатки в нитроглицерине. Они представляют собой смесевые ракетные топлива с энергоемким связующим, только в качестве энергоемкого полимера применяется нитроцеллюлозная композиция по типу бездымного пороха. Нитро-

целлюлозное связующее давно освоено промышленностью в отличие от более современных энергоемких полимерных связующих и изготавливается по литьевой (пластизольной) технологии. Различают 2 типа таких топлив: собственно смесевое ракетное топливо с двухосновным связующим и смесевое ракетное топливо с двухосновным связующим, модифицированным эластомером, содержащим большее количество пластификатора и специальный полимер, способный сополимеризоваться с нитроцеллюлозой и при сшивании образовывать поперечные связи. Эти топлива не растрескиваются при хранении, а по эластичности аналогичны обычным смесевым ракетным топливам [45; 11, с. 238].

ПИРОТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ

Смеси, горение которых сопровождается световыми, тепловыми, дымовыми, реактивными и прочими пиротехническими эффектами.

Основные компоненты пиротехнических составов – окислители и горючее. Во многих пиротехнических составах горючее сгорает под действием кислорода, содержащегося в окислителе, только частично. Полное сгорание происходит благодаря кислороду, содержащемуся в воздухе. В качестве горючих в пиротехнических составах используют металлы (алюминий, магний и их сплавы, реже – титан и цирконий), углеводородные смеси (бензин, керосин, мазут), углеводы (лактоза, крахмал). Воспламенительный эффект металлосодержащих составов выше, чем содержащих углеводороды, так как выделяемое тепло в меньшей степени уносится газообразными продуктами сгорания. В качестве окислителя используют твердые соли, способные разлагаться с выделением кислорода, – нитраты, перхлораты, хлораты – или оксиды некоторых металлов.

Помимо окислителя и горючего в пиротехнические составы вводят связующие для достижения требуемых механических свойств и уменьшения скорости горения. При этом в некоторых случаях с ростом содержания связующего необходимый эффект при сгорании состава снижается. Поэтому обычно приходят к компромиссу между стремлением достичь максимального пиротехнического эффекта и механической прочностью состава. Оптимальным считается содержание связующего 4–8 %, при содержании более 10 % прочность готового изделия растет уже незначительно.

Кроме того, состав может содержать компоненты, способствующие усилению окраски пламени, флегматизаторы (для замедления реакций между компонентами при хранении), красители и т. д.

Пиротехнические составы должны обладать максимальным специфическим эффектом при использовании небольшого количества компонентов, физической и химической стойкостью при хранении, оптимальной чувствительностью к тепловым и механическим воздействиям, минимальными взрывчатыми свойствами, а также характеризоваться несложным технологическим процессом изготовления.

Технологические операции изготовления пиротехнических составов и изделий из них пожаро- и взрывоопасны. Перед приготовлением составов компоненты измельчают, сушат и просеивают. Смешение компонентов проводят в специальных смесителях с дистанционным управлением, заполнение картонных или металлических гильз пиротехническими составами – под давлением на прессах, реже шнекованием или заливкой. При этом для небольших изделий часто используют связующее в виде раствора в соответствующем растворителе (после прессования растворитель улетучивается) или в виде отверждаемой под действием определенных реагентов композиции.

Пиротехнические составы применяют в военном деле (создание дымовых завес, имитация разрыва боеприпасов, обеспечение функционирования элементов боеприпасов, подача сигналов и т. д.), в металлотермии, для термитной сварки, на транспорте, в сельском хозяйстве и т. д.

На начальном этапе история пиротехники была тесно связана с историей дымного пороха. В Китае смеси, подобные порохом, широко применялись для увеселительных целей, например создания акустических эффектов. В VII в. н. э. греки использовали первые зажигательные смеси (греческий огонь), которые с успехом применялись в морских сражениях. В Европе и России фейерверки начали широко использоваться лишь с начала XVII в., когда основные компоненты пороха стали более доступными. Однако вплоть до начала XIX в. ассортимент ком-

понентов пиротехнических смесей был ограничен калийной селитрой, серой, древесным углем, сульфидом сурьмы, железными опилками, реальгаром (сульфидом мышьяка) и различными замедлителями в виде масел и смол.

В 1786 г. Бертолле получил хлорат калия (бертоллетову соль), что стало новым этапом в развитии пиротехники. В 30-х годах XIX в. хлорат калия в смеси с различными солями уже начали использовать для изготовления цветных огней. Сигнальные ракеты начали поступать на вооружение с середины XIX в.

В 1865 г. в целях повышения яркости впервые был применен магний, а в 1894 г. – алюминий. В том же 1865 г. русским ученым профессором Бекетовым были изучены термитные смеси.

В начале XX в. появились электролитические методы получения алюминия и магния, в связи с чем к началу Первой мировой войны эти металлы начали применяться достаточно широко, и на вооружение были поставлены многие термитно-зажигательные, осветительные, сигнальные и дымовые средства.

Между Первой и Второй мировыми войнами произошел значительный скачок в развитии пиротехнических составов из-за появления новых материалов и удешевления некоторых старых. Появились металлохлоридные дымовые составы на основе гексахлорэтана, в сигнальных составах хлорат калия начал заменяться более безопасными перхлоратами и нитратами, одновременно более широко начали использоваться горючие металлы и хлорорганические интенсификаторы свечения. Во время и после Второй мировой войны природные связующие и цементаторы начали заменяться более эффективными и влагостойкими синтетическими смолами и каучуками. Появились новые типы замедлительных составов, хотя принципиальных скачков в составе обычных пиротехнических составов не произошло с послевоенных лет вплоть до настоящего времени.

С 80-х годов XX в. прослеживается тенденция замены токсичных пиротехнических компонентов на нетоксичные, так, например, для тренировочных целей начали использовать дымовые составы на основе органических кислот вместо металлохлоридных смесей, а из пиротехники постарались максимально

исключить соединения тяжелых металлов. В связи с окончанием холодной войны и накоплением большого количества бездымных порохов с истекшим сроком годности появилась возможность создания сигнальных огней с улучшенными цветовыми показателями на бездымной пороховой основе.

Проводятся исследования по разработке новых бездымных композиций на основе солей триазолов и тетразолов. Разрабатываются новые энергоемкие связующие для применения в пиротехнике. До практических внедрений этих разработок пока еще далеко в связи с тем, что составы на традиционных освоенных компонентах намного дешевле, но при этом обеспечивают не намного худшие эффекты, чем на вновь разрабатываемых. В данной главе описаны только основные типы составов военной пиротехники.

Ударные, электровоспламенительные и терочные составы. Это группа смесевых ВВ, очень чувствительных к удару и трению. Применяются в небольших количествах в капсулах-воспламенителях, пиропатронах, для ударного воспламенения порохов и пиротехнических составов. Очень опасны в обращении.

В общем случае основными компонентами таких составов являются:

ИВВ – азиды свинца и серебра, гремучая ртуть, диазодинитрофенол, ТНРС (стифнат свинца) и др.

Окислители – нитраты бария и калия, хлорат калия, двуокись и нитрат свинца.

Горючие – сульфид сурьмы и кальция силицид (также повышающий чувствительность), нитроцеллюлоза, свинца тиоцианат, сажа и порошкообразные металлы – алюминий, магний, цирконий и их сплавы.

Агенты повышающие чувствительность к удару и наколу – тетрацен, ТЭН.

Инертные добавки – наполнители, повышающие чувствительность – стеклянный порошок, порошкообразный алюминий, титан.

Связующие – арабийская и трагакантовая камедь, клей, декстрин, нитроцеллюлоза, натрия альгинат и др. [45; 11, с. 251].

Воспламенительные составы. Смеси для поджигания различных пиротехнических составов и твердого ракетного топлива. Отличаются высокой теплотой сгорания, легко воспламеняются от иницирующего импульса генерируемого электрозапалом. Содержат окислитель (KNO_3 , KClO_3 , KClO_4 , BaO_2 и др.), горючее (порошкообразный металл – **Ti, Zr, Mg**) и связующее (канифоль, камедь, каучуки, эпоксидные смолы и др.) Для воспламенения твердых ракетных топлив также часто применяют различные баллиститы и дымный порох. Основные требования к воспламенительным составам: легкость воспламенения от сравнительно небольшого теплового импульса, высокая температура сгорания, устойчивость горения к изменению внешних условий (например, к изменению давления). Воспламенительные составы производят в виде гранул, шашек, иногда в виде порошка или пасты, наносимых на поджигаемый материал, а затем высыхающих или затвердевающих. Зажигательное действие тем выше, чем выше температура горения и чем больше остается шлаков на поверхности поджигаемого материала. На практике установлено, что для надежного воспламенения температура горения должна быть не менее чем на $200\text{ }^\circ\text{C}$ выше температуры воспламенения поджигаемой смеси.

Составы, содержащие алюминий, обладают достаточно высокой температурой воспламенения и требуют воспламеняющего состава, содержащего металл.

Когда даже мощными воспламенительными составами не удастся зажечь основной, то применяют так называемые переходные (промежуточные). Переходные составы обычно получают, смешивая в известных пропорциях воспламенительный и основной составы. Для зажигания наиболее трудно воспламеняющихся составов приходится иногда применять несколько переходных. В американской литературе различают следующие типы воспламенительных составов: **Ignition mixture**, **First fire mixtures** и **Starter mixtures**. **Ignition mixture** – смеси предназначенные для непосредственного воспламенения (например, ракетного топлива) от первичных источников (например, капсулей-воспламенителей). **First fire mixtures** – промежуточные

воспламенительные составы, наносимые в небольшом количестве прессованием или в виде застывающей пасты непосредственно на воспламеняемый материал или на основной воспламеняющий состав. Они достаточно легко воспламеняются от первичного воспламенительного состава и образуют большое количество шлаков для обеспечения воспламенения основной воспламенительной смеси. Следует отметить, что именно этот тип составов является наиболее чувствительным элементом цепи воспламенения с точки зрения надежности. **Starter mixtures** – переходный воспламенительный состав, по сути представляющий тоже самое, что и **First fire**, однако применяющийся в больших количествах в виде подпрессованного слоя и труднее воспламеняющийся. В некоторых системах они также используются взамен специальных малогазовых замедлительных составов [45; 11, с. 257].

Замедлительные составы. Это смеси, используемые для снаряжения различных пиротехнических замедлителей, дистанционных трубок и др. Различают газовые и малогазовые замедлительные составы. По сравнению с другими пиротехническими составами, малогазовые обеспечивают меньшую зависимость скорости горения от давления и внешней температуры за счет того, что при горении таких составов выделяется очень мало газообразных продуктов сгорания. Они способны устойчиво гореть в условиях разреженной атмосферы.

В качестве горючих обычно содержат сравнительно малоактивные металлы и их сплавы: цирконий, ниобий, марганец, хром, вольфрам, бор, кремний, сурьма, висмут. В составах происхождения стран Варшавского договора в качестве горючих применяют более дешевые ферросилиций, ферросиликохром, сульфид сурьмы и серу. Окислителями в малогазовых составах служат хроматы бария и свинца, реже – оксиды свинца и меди, хлораты и перхлораты. Компоненты малогазовых составов должны быть мелкодисперсными. Дисперсностью компонентов можно существенно регулировать скорость горения. С ростом плотности от насыпной до максимальной скорость горения обычных пиротехнических составов может уменьшаться в несколько раз (для

малогазовых смесей – в меньшей степени), что тоже следует учитывать при производстве. Например, время горения смесей свинцового сурика с ферросилицием 50/50 при росте плотности с 1,6 до 2,6 г/см³ увеличивается на 25 %. Во избежание прострела, быстрогорящие замедлители запрессовывают под давлением до 800 МПа, тогда как для запрессовки медленногорящих смесей достаточно давления 100–200 МПа.

Важным параметром малогазовых смесей является критический диаметр, при котором состав еще способен устойчиво гореть. Этот параметр имеет большие значения для смесей со средним и большим временем горения, когда имеет место значительная теплоотдача к стенкам корпуса в единицу времени. Для смесей на основе перманганата калия и сурьмы он составляет 2,5 мм, тогда как для состава 20 % ферросилиция, 30 % PbCrO_4 и 50 % KClO_4 – более 5 мм [45; 11, с. 262].

Зажигательные составы. Это пиротехнические составы и горючие смеси, применяемые для снаряжения боеприпасов и огнеметов. Зажигательные составы делят на 2 группы: составы, содержащие окислитель, и составы, сгорающие за счет кислорода воздуха.

Составы, содержащие окислитель (KNO_3 , $\text{Ba(NO}_3)_2$, KClO_4) и металлическое горючее, сплав алюминия и магния 50:50. Плотность таких зажигательных составов более 3 г/см³. Теплота сгорания 6–8 МДж/кг. Температура горения до 3000 °С. А также различные **термиты** – порошкообразные смеси стехиометрических количеств оксидов железа и марганца с порошкообразным металлом (магний, алюминий, различные сплавы). Температура горения до 2000–2800 °С. Продукты сгорания – преимущественно металлы и шлаки в жидком состоянии. Температура воспламенения более 800 °С (для смеси $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}$ около 1300 °С). Воспламенение термитов производят с помощью специальных воспламенительных и переходных составов. Зажигательные составы выпускаются в виде порошка и в шашках. Прессованный термит воспламеняется значительно хуже, чем насыпной.

В чистом виде для военных целей термиты практически не применяются, вместо них используют термитно-зажигательные

составы – комбинированные смеси на основе термита и солей-окислителей, обеспечивающих более низкую температуру воспламенения термитной смеси и способствующие созданию пламени при горении. Качество зажигательных составов оценивается количеством тепла, передаваемого поджигаемому материалу. Последнее определяется площадью и временем соприкосновения горящего зажигательного состава с материалом. Эффективность действия зажигательного состава зависит от состава и от конструкции боеприпаса, с помощью которого его применяют [45; 11, с. 266].

Дымовые маскирующие составы. Это пиротехнические смеси, образующие при горении устойчивые дымы или туманы. Температура горения – 400–1000 °С. Теплота сгорания – 1,6–4,1 МДж/кг.

Дымообразующие вещества в составах, предназначенных для получения маскирующих дымов, могут содержаться в готовом виде (дым возникает в результате их возгонки) или образовываться при горении. Составы первого типа содержат окислитель (обычно KClO_3), горючее (древесный уголь, крахмал и др.) и дымообразователь (хлорид аммония, нафталин, антрацен и фенантрен). Следует отметить, что нафталин (температура плавления 80,3 °С) заметно летуч уже при нормальной температуре, антрацен, фенантрен возгоняются только при температуре около 200 °С, поэтому их применение более предпочтительно. Нафталин и антрацен часто выполняют в составах функции не только дымообразователя, но и горючего, частично возгоняясь, а частично сгорая.

Для учебных или сигнальных целей запатентованы нетоксичные и некорродирующие составы белого дыма на основе органических кислот – до 75 % (адипиновой, себациновой, салициловой и др.). Из-за пониженной эффективности они не могут быть в полной мере использованы для создания дымовых завес, тем не менее смеси на основе терефталевой кислоты уже много лет применяются на практике в США.

В некоторых медленно горящих составах применяют органическое связующее (различные смолы, идитол).

Кислородный баланс описанных выше дымовых смесей резко отрицателен, а газовая фаза, образующаяся при горении, содержит значительное количество СО и легковоспламеняющихся паров нафталина или антрацена. Такие составы помещают в оболочку, снабженную выходными или выхлопными отверстиями, которая предохраняет состав от проникновения в него кислорода воздуха.

Для защиты от кислорода воздуха, предотвращения вспышек при горении, термовозгоночные дымовые составы помещают в дымовые шашки – металлические цилиндры с днищем, крышкой и вставленного в него сетчатого металлического цилиндра, в который закладывают смесь. Несмотря на принимаемые меры предосторожности, дымовые составы дают иногда вспышки при сгорании. Равномерность горения при этом нарушается, у отверстий шашки появляется пламя, количество дыма резко уменьшается и он приобретает сероватый оттенок. Поэтому для предотвращения появления пламени в состав также вводят различные пламегасители (углеводы, карбонат натрия, мел, парафин и т. п.) в количестве до 10 – 15 %. Шлак должен быть пористым, чтобы не препятствовать прохождению дыма. Для этого некоторые дымовые составы подвергают грануляции.

Находят применение жидкие дымообразующие вещества (тетрахлориды титана, сурьмы, кремния, хлорсульфоновая кислота и т. д.) – они более эффективны, чем большинство обычных пиротехнических дымообразующих смесей. Для морских дымовых сигналов также используют горение фосфинов, получающихся взаимодействием фосфидов с водой [45; 11, с. 268].

Дымовые сигнальные составы. Для получения **цветных сигнальных дымов** применяют дымовые составы, содержащие органические красители (например, антрахиноновые, азиновые, антеновые, ксантеновые и др.), способные возгораться при нагревании. Во избежание значительного разложения красителя такие составы должны иметь пониженную температуру горения, поэтому в качестве горючего используют углеводы (сахар, лактоза, крахмал и др.), реже дициандиаמיד или тиомочевину, а в качестве окислителя – хлорат калия. Для получения требуемых

оттенков цвета можно использовать смесь различных красителей. Низкотемпературные дымовые составы с теплотой горения порядка 500 °С содержат в качестве окислителя гуанидиннитрат и нитроцеллюлозу. Чтобы не допустить воспламенения паров красителя, приводящее к исчезновению цвета, применяют специальную конструкцию шашки, а в состав вводят охладители и пламегасители (бикарбонат натрия, мел). Основные цвета сигнальных дымов – красный, зеленый, желтый, оранжевый и фиолетовый. При необходимости могут быть созданы рецептуры и других цветов, однако, они не очень надежно распознаются на расстоянии и поэтому широкого применения не имеют.

В качестве красителей обычно используют:

синий – индиго, метиленовый голубой;

желтый – аурамин, с добавкой коричневого красителя хризоидина;

оранжевый – бензолазо-бета-нафтол (жирорастворимый оранжевый – жироранж);

красный – Родамин Б, 2-анизидиназо-бета-нафтол (Судан красный), паратонер, ализарин;

зеленый – смесь красителей аурамина и 1,4-ди-пара-толуидиноантрахинона или смесь хинизарина зеленого (молекулярный вес 418, растворим в воде с сине-зеленым окрашиванием) с хинолином желтым (молекулярный вес – 273, температура плавления – 240 °С, не растворим в воде) в соотношении 65/35 [45; 11, с. 273].

Осветительные составы. Предназначены для освещения больших участков местности. Содержат окислитель NaNO_3 или $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. В составах в качестве окислителей могут быть использованы перхлораты, горючее (до 25–65 % порошков магния, алюминия, их смесей или сплавов) и органические связующие, выполняющие также функцию замедлителя горения (смолы, стеарин, олифа, шеллак и др.). Для повышения световых показателей устаревших составов в них иногда вводили небольшое количество так называемых пламенных добавок, которые могут увеличить светоотдачу на 15–20 %. Чаще других для этой цели применяются негигроскопичные плохо растворимые в воде на-

триевые и бариевые соли фтористоводородной кислоты, например, фтористый натрий, криолит, фтористый барий и другие. Осветительные составы содержат также технологические добавки (масла, предотвращающие пыление мелкодисперсного металла при производстве), катализаторы отверждения связующих, добавки, защищающие порошкообразный металл от коррозии и одновременно замедляющие горение (стеариновая кислота, стеараты) и др.

При горении осветительных составов образуется яркое белое или желто-белое пламя. Удельная светосумма составов с магниевым порошком снижается от введения органических веществ гораздо в меньшей степени, чем это наблюдается для составов, содержащих алюминиевую пудру или алюминиевый порошок.

Это объясняется резким увеличением доли не полностью сгоревшего металла, в результате чего наблюдается сильное фарсовое искрение и неполное сгорание металла в составах с алюминием. В качестве цементатора в алюминесодержащих составах целесообразно использовать серу в количествах менее 10 %, большие количества снижают световые показатели. Однако в любом случае, составы содержащие серу в настоящее время не применяются. Считается, что введение органического связующего в количествах более 5–6 % в большинстве случаев нецелесообразно. Теплота сгорания осветительных составов 6,3–8,4 МДж/кг. Температура горения – 2500–3000 °С. Перед смешением компоненты тщательно измельчают, сушат и просеивают, готовую смесь прессуют в картонные или металлические оболочки, получая цилиндрические шашки диаметром 20 – 500 мм. Готовый осветительный элемент представляет собой оболочку, в которую помимо основного осветительного состава запрессовывают воспламенительный состав.

Скорость горения также зависит от степени уплотнения заряда и давления окружающей среды. Используются осветительные составы в осветительных ракетах, бомбах, снарядах, патронах и т. п.

Применение в качестве окислителя NaNO_3 считается более целесообразным в плане большей светоотдачи, чем $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$,

однако NaNO_3 , более гигроскопичен и дает пламя с желтым оттенком [45; 11, с. 276].

Сигнальные составы. Сигнальные составы – это пиротехнические составы, образующие при горении цветное пламя или дым. Различают огневые и дымовые сигнальные составы (см. дымовые сигнальные составы). Огневые сигнальные составы содержат горючее (порошкообразный металл или органическое вещество), окислитель (нитраты стронция, бария, натрия, перхлораты калия, аммония, и др.), связующее (фенольные, эпоксидные, полиэфирные смолы, асфальт, каучуки) и интенсификатор свечения (хлороорганические вещества, гексахлорбензол, поливинилхлорид (ПВХ)). Характерный цвет пламени дают атомы или пары моногалогенидов соответствующих металлов, образующиеся при горении. Эти моногалогениды способны диссоциировать при более высоких температурах, в результате чего в пламени наблюдается линейчатый спектр паров металлов и степень насыщенности цветом понижается. Поэтому введение в составы большого количества порошков металлов (магний и алюминий) сильно увеличивает яркость пламени, но вместе с тем ухудшает его цветность.

В качестве дополнительного окислителя, улучшающего воспламеняемость и отчасти цветность, зарубежные составы содержат перхлорат калия. Составы на основе хлората калия применялись до конца Второй мировой войны, а в настоящее время широко используются в фейерверочных изделиях.

Связующие-цементаторы по возможности должны гореть бесцветным пламенем, чтобы не ухудшать окраску пламени. Этим свойством обладают органические вещества, содержащие более 50 % кислорода, и сера, а также гексаметиленetetрамин и метальдегид, однако они не имеют цементирующих свойств. Среди интенсификаторов свечения наиболее эффективным является порошкообразный ПВХ, хотя он и содержит меньше хлора, чем например гексахлорбензол. Это объясняется тем, что он нетоксичен, нелетуч и дешев, является массовым продуктом. При пиролизе ПВХ сразу выделяется хлороводород, который способен более быстро и эффективно образовывать в пламени

хлориды металлов, чем продукты пиролиза других хлороорганических соединений.

Наиболее употребительной системой сигнализации является трехцветная с применением красного, желтого (при необходимости заменяется белым) и зеленого огней, реже используют пятицветную систему сигнализации с добавлением белого и синего цветов, однако различимость цветов на больших расстояниях в этом случае становится недостаточно надежной. Излучение пиротехнических составов бывает атомарным и молекулярным. Среди сильных атомарных излучателей в какой-либо части спектра можно отметить натрий (желтый), литий (красный), таллий (зеленый), индий (синий). Однако излучение таллия и индия не используются из-за дефицитности соединений этих металлов и высокой токсичности, а соединения лития очень гигроскопичны.

Поэтому на практике красным излучателем, как правило, является моноклорид стронция, зеленым – моноклорид бария. В зависимости от температуры и состава продуктов горения соли меди могут излучать как зеленый, так и синий цвет. Следует отметить, что в пиротехнических составах излучение натрия носит атомарный, а не молекулярный характер, поэтому цвет таких звездок более интенсивный и чистый. К тому же даже очень небольшая добавка соединений натрия практически полностью забивает цвета других химических элементов.

Сигнальные составы используются для сигнализации на транспорте, целеуказания, производстве фейерверков и салютов.

Скорость горения обычных сигнальных звездок составляет 3–6 мм/с [45; 11, с. 280].

Составы для инфракрасных мишеней-ловушек. Для противодействия ракетам с инфракрасными головками наведения, используются специальные звездки, генерирующие интенсивный поток инфракрасного излучения. Составы запрессовывают в корпус мишеней-ловушек, которые отстреливают с самолетов или вертолетов. Обычно подобные составы представляют собой композиции из порошкообразного магнезия, политетрафторэтилена и витона-А (сополимер винилиденфторида с гексафторпропиленом, растворимый в органических растворителях) в качестве

связующего. Современные головки ракет с инфракрасным наведением комплектуются средствами подавления помех, способными отличать излучение классических составов от излучения выхлопной струи реактивного двигателя. Для противодействия этим средствам созданы спектрально сбалансированные составы, спектр излучения которых подобен спектру излучения выхлопной струи [45; 11, с. 285].

Трассирующие составы. Это пиротехнические составы, оставляющие видимый след траектории полета пуль, снарядов и других быстродвигающихся объектов, т. е. служат для визуального установления дальности полета пуль, ракет, а также для целеуказания и оптического наведения оружия.

Предназначены для снаряжения приспособлений (трассеров), прикрепляемых к боеприпасам. Трассер – это шашка из пиротехнического состава; состав запрессовывается непосредственно в корпус снаряда или в отдельную металлическую оболочку. В связи с тем, что на трассирующие составы действуют очень большие перегрузки, они прессуются под значительно большими давлениями, чем другие пиротехнические составы 3–9 т/см².

Различают огневые и дымовые трассирующие составы. Дымовые трассирующие составы в настоящее время не применяются из-за малой эффективности.

Огневые трассирующие составы горят цветным, главным образом красным, желтым или белым пламенем, по содержанию компонентов близки к сигнальным и осветительным составам, но образуют больше шлаков.

Скорость горения составляет несколько мм/с. При этом могут быть использованы комбинированные составы с изменением яркости пламени от удаления.

В момент выстрела на трассер непосредственно действуют огромные ударные нагрузки и ускорения, а также горячие пороховые газы. Поэтому спрессованные трассирующие составы, кроме всего прочего, должны:

иметь прочность, значительно большую, чем все другие виды пиротехнических составов;

безотказно воспламеняться от соответствующих воспламенительных составов и не воспламеняться от пороховых газов при выстреле;

оставлять в оболочке трассера после сгорания максимальное количество шлаков.

Невыполнение первого условия приводит к частичному или полному выгоранию составов в канале ствола, следствием чего является «короткая» трасса или вообще отсутствие трассы в полете и преждевременный износ оружия.

Второе условие делает необходимым введение в состав легковоспламеняющихся горючих (например, магния).

Последнее условие актуально только в тех случаях, когда масса состава значительна по сравнению с общей массой боеприпаса; чем больше шлаков будет оставаться в изделии после сгорания состава, тем меньше будет при полете боеприпаса его отклонение от нормальной траектории. Особенно большое значение это имеет для трассирующих пуль, масса состава в которых равна примерно 10 % от общей массы пули.

Производят трассирующие составы в порошкообразном или гранулированном виде, а затем запрессовывают в оболочки-трассеры. Предложены также литьевые составы (окислитель представляет собой легкоплавкую смесь соответствующих солей). Разработаны составы с использованием в качестве горючих гидридов металлов. Для поджигания трассирующих составов пользуются, как правило, специальными воспламенительными составами [45; 11, с. 286].

Звуковые и имитационные составы. Это составы, служащие для создания звуковых эффектов (имитация разрывов боеприпасов, свист, имитирующий падение бомб и т. д.).

Для имитации разрыва боеприпасов применяют изделия, начиненные зерненым дымным порохом. Широко используют смеси из перхлората калия и алюминия, например в соотношении 70:30. Такой состав в неуплотненном виде при воздействии на него обычного теплового импульса сгорает почти мгновенно с сильным звуковым эффектом и световой вспышкой, образуя при этом белый дым. Применяется для светошумовых гранат.

Для снаряжения разрывных снарядов с белым дымом также может быть использован состав: цинковая пыль – 40 %, калия перхлорат – 20 %, калия нитрат – 20 %, алюминий – 20 %.

Эффект свиста при горении некоторых составов объясняется большой скоростью сгорания последних. Обычно для этих целей применяют смеси хлората или перхлората калия с фенольными производными: галловая кислота, резорцин, флуороглуцин, пикрат калия и т. д. Следует отметить, что смеси с пикратами довольно опасны в обращении.

Частота звуковых колебаний, получаемая при горении таких составов, тем меньше, чем больше длина картонной трубки, в которую запрессован состав [45; 11, с. 288].

Р а з д е л VII

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ УТИЛИЗИРОВАННЫХ БОЕПРИПАСОВ

Широкое применение взрывных технологий в различных отраслях народного хозяйства дает огромный экономический эффект.

Одновременно растут запасы боеприпасов на арсеналах и базах МО, а сроки хранения многих из них из-за технического и физико-химического старения истекли. Скопилось огромное количество боеприпасов, технически непригодных или запрещенных к боевому применению. Поэтому весьма актуальной стала проблема утилизации боеприпасов с использованием их в народном хозяйстве.

Таким образом, назрела необходимость подходить к этой проблеме с позиций применения взрывчатых элементов, извлеченных из боеприпасов, в качестве промышленных взрывчатых материалов. Это позволит сократить дефицит в водостойких промышленных ВВ, а также уменьшить запасы устаревших боеприпасов, опасных для дальнейшего хранения и экологически вредных для уничтожения [16, с. 3].

В исполнении постановления Совета Министров Республики Беларусь от 25 апреля 1997 года № 405 « О мерах по обеспечению выполнения Государственной целевой программы утилизации обычных боеприпасов» утверждена «Инструкция о порядке выдачи боеприпасов, подлежащих утилизации» [44].

Социально-экономические и экологические аспекты использования списанных боеприпасов. Боеприпасы после их изготовления на предприятиях промышленности и проведения

различных испытаний закладываются на хранение на складах, базах и арсеналах МО. При этом назначается гарантийный срок хранения (ГСХ), в течение которого обеспечивается сохранность их технических характеристик и боевых свойств. В процессе хранения осуществляются контроль качественного состояния и регламентные работы, в том числе ремонт боеприпасов, связанный с удалением коррозии с металлических деталей корпусов, заменой смазки, а также ремонт деревянной укупорки и другое.

Опыт хранения боеприпасов показывает, что их чувствительность к внешним воздействиям со временем повышается, что связано с изменением свойств ВВ, которыми снаряжены боеприпасы. Несмотря на лакокрасочные покрытия поверхностей корпусов, соприкасающихся с зарядом ВВ, с течением времени могут происходить взаимодействие ВВ с материалом корпуса боеприпасов и образование более чувствительных по сравнению с исходным ВВ соединений, что повышает опасность их дальнейшего хранения.

Вместе с тем теория длительного хранения боеприпасов до сих пор в достаточной степени не разработана. Не установлена количественная связь между химической стойкостью ВВ и гарантийным сроком хранения боеприпасов. Поэтому на практике сроки хранения устанавливаются эмпирически по результатам контрольных испытаний, в процессе которых определяются сохранность боеприпасов и их боевые свойства. Принятые в настоящее время сроки хранения, после которых боеприпасы подлежат списанию, во многом занижены, назначены с гарантированной осторожностью. Между тем некоторые боеприпасы, снаряженные тротилом и применявшиеся во Второй, а иногда и в Первой мировой войне, сохранили свои взрывчатые свойства, несмотря на коррозию, а иногда и разрушение корпуса. Об этом свидетельствует опыт сплошного разминирования территорий, на которых шли боевые действия или которые подвергались бомбардировкам и артобстрелу.

Наибольшие успехи в обосновании ГСХ достигнуты применительно к изделиям из порохов и твердого топлива. Гарантийный срок хранения этих изделий существенно зависит от интенсивности процесса их старения. По-видимому, главными причинами изменения свойств композиционных материалов и твердых топлив являются не только разрушение химических связей в полимере, но и ряд физико-химических процессов, протекающих в ходе эксплуатации изделий.

Изложенное выше свидетельствует о том, что при утилизации списанных боеприпасов, с одной стороны, необходимо соблюдать повышенные меры безопасности, а с другой – подтверждается возможность их применения для ведения взрывных работ в народном хозяйстве.

Таким образом, уменьшение запасов боеприпасов за счет списания их части, отслужившей гарантийные сроки хранения, не только не сокращает, а, наоборот, увеличивает затраты на хранение. Это относится как к отдельному складу боеприпасов, так и к системе их хранения в целом.

Предварительные оценки показывают, что затраты на хранение списанных боеприпасов могут увеличиться на 10–20 % по сравнению с затратами на хранение боеприпасов, у которых ГСХ не истек.

Максимальное сокращение сроков хранения списанных боеприпасов путем их утилизации может существенно уменьшить затраты и снизить взрывопожароопасность хранения.

Уничтожение списанных боеприпасов расценивается как ущерб по крайней мере по двум причинам. Во-первых, результаты овеществленного труда различных слоев общества (ученых, инженеров, конструкторов, рабочих, испытателей), материалы, зачастую достаточно ценные, затраченные электроэнергия, другие виды энергий, а также затраты на амортизацию оборудования – все это представляет собой безвозвратные потери, которые снизили, ухудшили благосостояние больших групп населения страны и общества в целом.

В ходе постоянного совершенствования боеприпасов, разработки новых, более эффективных образцов, целые коллективы ученых проводят исследования, затрачивая большие средства. Идеи ученых, их расчетно-теоретические построения реализуют в опытные образцы инженеры-конструкторы, инженерно-технический персонал и высококвалифицированные рабочие опытных производств. Проводятся разносторонние испытания с использованием дорогостоящего оборудования лабораторий, полигонов на соответствие их заданным требованиям. Иногда по результатам испытаний образцы возвращаются на доработку, и весь цикл повторяется полностью или частично. После принятия боеприпаса на вооружение организуется его серийное производство, для чего на предприятиях промышленности создаются различные автоматические или автоматизированные линии по их изготовлению. В процессе производства осуществляются контроль качества и испытания боеприпасов, что также требует больших затрат.

Другая негативная сторона уничтожения списанных боеприпасов связана с ухудшением экологии окружающей природной среды, загрязнением почвы (грунта), поверхностных (в источниках, реках, озерах) и подземных (грунтовых) вод, растительности и воздушной среды.

Поэтому основным направлением снижения запасов устаревших боеприпасов является их утилизация и, главным образом, расснаряжение боевых частей, особенно снаряженных большими массами ВВ.

Процесс утилизации должен предусматривать переработку всех элементов изделий, включая боевые части, метательные заряды и двигатели, средства инициирования, системы управления, тару и т. д.

Процесс утилизации в ряде случаев более опасен, чем процесс снаряжения, как по ряду объективных причин (большое разнообразие конструкций, сосредоточенных в одном производстве, разнообразные условия хранения и эксплуатации конкретных изделий, трудности разборки и извлечения ВВ и т. д.), так

и в силу субъективных причин, вызванных меньшей изученностью процессов расснаряжения, малым производственным опытом отечественной промышленности по утилизации, организационными вопросами поставки боеприпасов на утилизацию и т. п.

Поэтому должен быть создан специальный комплекс методов (технологий и специализированного оборудования) в зависимости от типа ВВ, порохов и топлив, габаритно-весовых характеристик изделий и их конструкций, а также решены вопросы контролируемой поставки изделий на утилизацию, проектирования и эксплуатации производств, технологической дисциплины и подготовки кадров.

При прямом сжигании на открытом воздухе или подрывах в окружающую среду попадает большое количество токсичных окислов, цианидов, солей тяжелых металлов, диоксинов. Происходит загрязнение воздуха, воды и почвы. Поэтому технологии утилизации должны исключить отравление окружающей среды.

Применяемые процессы утилизации должны осуществляться с минимальными экономическими потерями, а при глубоких вторичных переделах получаемого сырья в местах утилизации они должны быть экономически выгодны, за исключением переработки отдельных классов и видов боеприпасов [16, с. 5].

7.1. Основная номенклатура утилизируемых боеприпасов, применяемых в промышленности

Номенклатура боеприпасов, поставляемых на взрывные работы МО со складов, постоянно пополняется новыми, более совершенными образцами, а устаревшие, прошедшие срок хранения, демонтируются. Узлы, не пригодные к дальнейшему использованию в изделиях, утилизируются.

Ряд боеприпасов и ВВ, хранящихся на складах МО, может использоваться в народном хозяйстве без сложной переработки и расснаряжения. Эти ВМ могут быть разделены на четыре класса: инженерные боеприпасы, ракетные твердые топлива, пороха и боевые части боеприпасов.

7.1.1. Инженерные боеприпасы

Для взрывных работ на земной поверхности при скважинной отбойке и вторичном дроблении горных пород используются тротиловые шашки для подрывных зарядов и др. Тротиловые шашки представляют собой изделия цилиндрической и прямоугольной форм, изготовленные методом прессования тротила (см. цв. вклейку, фото 20). Тротиловые шашки для инженерных подрывных зарядов имеют цилиндрическое гнездо для размещения в нем КД или ЭД. Торцевые и боковые поверхности тротиловых шашек покрыты гидроизолирующим составом и бумагой, на которую нанесен тот же гидроизолирующий состав.

Тротиловые шашки от удлиненных и шнуровых зарядов разминирования имеют цилиндрическую форму. Боковая поверхность шашек обернута бумагой, на внутреннюю поверхность которой нанесен лак или казеиновый клей. Тротиловые шашки от мин имеют прямоугольную форму. Характеристики тротиловых шашек приведены в табл. 20, 21.

Таблица 20. Основные физико-химические и взрывчатые характеристики тротиловых шашек [16, с. 7]

Плотность шашек, г/см ³	1,5–1,59
Температура плавления, °С	78–80
Температура вспышки при времени задержки 60 с, °С	295–305
Чувствительность к удару по ГОСТ 4545 частота взрывов в приборе № 1, % нижний предел $H_{пр}$, мм	0–20 500
Чувствительность к трению на приборе К-44-II частота взрывов при усилии прижатия 686,5 МПа (7000 кгс/см ²), %	4
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	10^7 – 0^{10}

Таблица 21. Типы, параметры и размеры тротиловых шашек [16, с. 8]

Тип	Основные параметры	Масса, кг	Размеры, мм				Область применения
			Диаметр	Длина	Ширина	Высота	
<i>Шашки тротilloвые для подрывных зарядов</i>							
75 г	Шашка цилиндрической формы с гнездом для КД № 8 глубиной 50 мм и диаметром 8 мм	0,075	31	73	–	–	Для скважинной отбойки горных пород. Диаметр скважин не менее 120 мм. Допускается для заряжения шпуров диаметром 40–46 мм
75 г с резьбовой втулкой	Шашка цилиндрической формы, имеющая гнездо для КД № 8 глубиной 39 мм и резьбой М 10×1	0,075	31	73	–	–	То же
200 г	Шашка прямоугольной формы, имеющая гнездо для КД № 8 глубиной 34 мм и диаметром 8 мм	0,2	–	102	52	27	Для скважинной отбойки и вторичного дробления негабарита. Диаметр скважины не менее 150 мм
200 г с резьбовой втулкой	Шашка прямоугольной формы с гнездом для КД № 8 глубиной 34 мм и резьбой М 10×1	0,2	–	102	52	27	То же
400 г	Шашка прямоугольной формы, имеющая гнездо для КД № 8 глубиной 34 мм и диаметром 8 мм	0,4	–	102	52	53	

Тип	Основные параметры	Масса, кг	Размеры, мм				Область применения
			Диаметр	Длина	Ширина	Высота	
400 г с резьбовой втулкой	Шашка прямоугольной формы, имеющая гнездо для КД № 8 глубиной 34 мм и резьбой М 10×1	0,4	–	102	52	53	
<i>Шашки от удлиненных зарядов разминирования</i>							
Шашка 3-02339 С603-3	Шашка цилиндрической формы в бумажной оболочке с кумулятивной выемкой и металлической облицовкой толщиной 1,1 мм	0,154	48	50	–	–	Для скважинной отбойки. Диаметр скважин не менее 120 мм
Шашка 02339 С603-4	Шашка цилиндрической формы в бумажной оболочке	0,155–0,246	43–48	56–94	–	–	»
Шашка 3-02337 С601-15	»	0,211	43	94	–	–	»
Шашка 3-02337 С601-16	»	0,246	48	88	–	–	»
<i>Шашки от инертных зарядов разминирования</i>							
Шашка 503М701	Шашка цилиндрической формы в бумажной оболочке	0,83	80	120	–	–	Для скважинной отбойки. Диаметр скважин не менее 150 мм

7.1.2. Твердое ракетное топливо (ТРТ)

По своей физической структуре ТРТ делят на два класса: **гомогенные и гетерогенные**.

Гомогенные или нитроцеллюлозные топлива (баллиститные пороха) – пороха на основе нитратов целлюлозы, пластифицированных нитроэфиром или их смесями. Нитроцеллюлозное топливо имеет две энергетические основы – нитраты целлюлозы и растворитель-пластификатор в виде нитроглицерина или нитродигликоля. Отсюда появилось название – **двухосновные топлива**.

Смесенные твердые топлива представляют собой многокомпонентную гетерогенную смесь окислителя, горючего-связующего и различных добавок, способную к закономерному горению без доступа кислорода извне с выделением значительного количества энергии.

При разработке рецептур топлив имеется возможность использовать более широкий круг исходных компонентов. Это позволяет получать более высокие энергетические показатели, чем в нитроцеллюлозных топливах.

В качестве окислителя в смесевых твердых топливах применяются соли минеральных кислот. Наибольшее распространение в настоящее время получил перхлорат аммония NH_4ClO_4 . Это твердое вещество, имеющее невысокую температуру разложения. При разложении выделяется 46 % свободного кислорода. В состав топлива NH_4ClO_4 вводится в тонкоизмельченном виде. С уменьшением зерна скорость горения увеличивается. В то же время более тонкий помол окислителя повышает вязкость исходной топливной смеси, ухудшая технологические свойства.

Горючим в смесевых твердых топливах являются полимерные вещества. Они одновременно выполняют роль связующего. Горючее-связующее должно иметь высокую теплотворную способность, обладать хорошей связующей способностью и сохранять высокую эластичность в широком температурном интервале при достаточной механической прочности. Такими веществами являются различные каучуки и смолы. Горючего-связующего

в состав топлива вводится примерно 15–30 % от общей массы. По типу применяемого горючего-связующего топлива разделяют на полисульфидные, полибутадиеновые и полиуретановые. Полисульфидные каучуки не нашли широкого применения вследствие низких энергетических показателей и недостаточной механической прочности.

Бутадиеновый каучук или сополимер бутадиена и акриловой кислоты обладает лучшими энергетическими и физико-механическими свойствами. Топлива на их основе имеют высокий удельный импульс и сохраняют хорошие эксплуатационные свойства.

Наибольшее распространение в настоящее время получили топлива на основе полиуретанового каучука. Они обладают высокими энергетическими показателями и сохраняют эластичность при низких температурах (до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Полимерное горючее-связующее представляет собой углеводородное соединение, обладающее высокой теплотворной способностью, но из-за недостатка свободного кислорода полнота сгорания оказывается невысокой. Для повышения удельного импульса смесового твердого топлива в его состав вводятся легкие металлы. Установлено оптимальное содержание металлического горючего, превышение которого уменьшает удельный импульс вследствие появления в продуктах сгорания значительного количества твердой и жидкой фаз, не успевающих сгорать.

В качестве металлических добавок используются мелкодисперсные порошки алюминия, магния, бериллия, циркония, бора, сплава алюминий–магний и др. Наибольшее распространение получили топлива с добавками алюминия. Его вводится до 20 % от общей массы. Алюминий легко окисляется в присутствии кислорода воздуха с образованием на поверхности устойчивой окисной пленки, которая снижает активность алюминия. Для повышения активности частицы порошкообразного алюминия ее гранулируют, покрывая тонкой полимерной пленкой. Кроме чистых металлов в состав топлива могут вводиться гидриды алюминия, лития, бериллия и др. Гидриды металлов при горении образуют продукты с малой молекулярной массой вследствие высокого содержания водорода.

Необходимо отметить, что применение топлива с присадками бериллия весьма проблематично из-за токсичности продуктов сгорания и высокой стоимости исходного продукта – бериллия.

Помимо перечисленных компонентов в состав смесевых твердых топлив вводятся различного рода присадки. Для увеличения скорости горения добавляют соединения, содержащие медь, окись, хрома, окислы железа. Аналогичный эффект дают и чистые металлы (железо, медь, кобальт, магний, олово). Снижение скорости горения можно получить, например, путем применения двуокиси магния, трехфтористого брома. Стремление повысить энергетические способности твердого топлива привело к созданию модифицированного двухосновного топлива. Его называют еще **нитрозольным**. Энергетические характеристики топлива повышаются путем замены пассивного компонента горючего-связующего (каучука или смолы) активным (нитратами целлюлозы и нитроглицерином). Таким образом, нитрозольное топливо представляет собой гетерогенную систему, в состав которой входят неорганический окислитель – NH_4ClO_4 , сложное горючее-связующее – нитроцеллюлоза, нитроглицерин, полимер-пластификатор и металлическое горючее – мелкодисперсный алюминий.

Эксплуатационные характеристики топлив определяются физико-механическими и химическими свойствами.

Топливный заряд отдельно или в составе двигателя может длительное время храниться в различных условиях. При этом он подвергается воздействию различных температур (сезонных и суточных), влаги, солнечной радиации, аэродинамического нагрева, вибрации и т. д. Все это влияет на физико-химические свойства и напряженно-деформированное состояние топливного заряда.

Физические свойства. Плотность нитроцеллюлозных топлив находится в пределах 1500–1700 кг/м³, смесевых 1600–1950 кг/м³.

Теплопроводность нитроцеллюлозных и смесевых топлив различных составов почти одинакова. Она примерно в 100 раз меньше теплопроводности стали.

Теплоемкость зависит от состава топлива. Удельная теплоемкость применяемых в топливах горючих и окислителей составляют $c_p = 12-15$ кДж/(кг·К).

Температуропроводность – величина, необходимая при расчете скорости горения топлива и теплового состояния стенок камеры сгорания. Среднее значение этого коэффициента для твердых топлив составляет $0,2-0,3$ м²/с.

Физической нестабильности, изменению физических свойств нитроцеллюлозных топлив во времени, способствует низкая теплопроводность и значительные линейные изменения, которые на порядок больше, чем у стали или стеклопластика. При изменении температуры в заряде возникают неравномерно распределенные по толщине свода заряда напряжения. Наиболее высокие напряжения появляются при тепловом ударе – резком переходе от одной температуры к другой. Например, перемещение холодного двигателя в теплое помещение или при быстром подъеме самолета с нагретым окружающим воздухом двигателем на большую высоту, где температура окружающей среды отрицательная. Возникающие при этом напряжения в заряде и корпусе могут быть причиной появления трещин, расслоений, отрыва скрепленного заряда от стенок двигателя. Эти напряжения могут быть еще больше, если в процессе изготовления скрепленного заряда появились термические напряжения, связанные с усадкой топлива в процессе полимеризации. Растрескиванию может способствовать и структура топлива: в нитроцеллюлозных – недостаточная эластичность, в смесевых – неоднородность структуры.

Другим видам физической нестабильности твердых топлив является склонность отдельных компонентов к выходу на поверхность заряда. Этот процесс усиливается при повышении температуры. Наибольшей склонностью к выходу обладает нитроглицерин. При этом изменяется состав топлива и снижаются энергетические показатели. У смесевых топлив физическая нестабильность проявляется в продолжающейся полимеризации мономеров и последующем старении полимеров, которое связано с нарушением целостности структуры и прочности заряда.

К физическим свойствам твердых топлив относится и их гигроскопичность. Нитроцеллюлозные топлива менее подвержены действию влаги, чем смесевые. Увлажнение топливных зарядов недопустимо. Поэтому при разработке конструкции необходимо предусматривать полную герметичность камеры двигателя.

Химическая стабильность – это способность топлива (заряда) длительное время сохранять свой состав без разложения, могущего возникать в результате медленно протекающих окислительных реакций. В нитроцеллюлозном топливе нитроклетчатка подвержена медленному разложению. Причем продукты разложения, накапливаясь, стимулируют этот процесс. Полностью исключить процесс разложения невозможно, но значительно снизить можно путем введения веществ-стабилизаторов химической стойкости (диффениламин и централит). Эти вещества замедляют процесс разложения нитроклетчатки, а выделившиеся вещества связывают.

Механические свойства. Прочность при растяжении, сжатии и сдвиге, ударная вязкость и относительное удлинение и другие свойства могут заметно изменяться с колебаниями температуры. Так, например, понижение температуры до 223 К ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) влечет за собой повышение хрупкости и уменьшение ударной вязкости. Для нитроцеллюлозных топлив хрупкость увеличивается в 4–5 раз, в таких же пределах повышается прочность на сжатие и растяжение. При повышенных температурах (до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) нитроцеллюлозные топлива размягчаются и их механические свойства ухудшаются: предел прочности на растяжение и сжатие понижается в 4–5 раз, относительное удлинение увеличивается на 50 %, ударная вязкость возрастает в два раза.

Твердые ракетные топлива относятся к классу полимерных материалов. В зависимости от природы исходных продуктов и последующего технологического процесса они могут быть жесткими и хрупкими или мягкими и пластичными. Как правило, жесткие топлива применяются в двигателях с вкладным зарядом, эластичные – в двигателях со скрепленным зарядом.

Как все полимерные материалы, ТРТ имеют ярко выраженную зависимость механических свойств от начальной темпера-

туры и скорости нарастания приложенной нагрузки. Исследования показывают, что при постепенном понижении температуры топливо в некотором узком интервале меняет свои механические свойства: из мягкого и эластичного становится твердым и хрупким. Повышение температуры возвращает свойства топлива в исходное состояние. Аналогичное явление наблюдается при изменении скорости приложения нагрузки даже без изменения начальной температуры. Чем больше эта скорость, тем при более высокой температуре наступает охрупчивание.

Границу, при которой происходит качественное изменение свойств полимерного материала, называют **температурой стеклования**. Для смесевых топлив эта граница соответствует примерно минус 20–60 °С. Нитроцеллюлозные топлива имеют эту границу в области положительных температур [13, с. 35].

7.1.3. Пороха

Пороха как зерновые, так и в виде шашек, несмотря на потерю ими стабильных внутрибаллистических свойств (что и определяет необходимость их снятия с вооружения по истечении гарантийного срока хранения), в то же время надежно детонируют от промежуточного детонатора и могут быть применены для дробления и метания горной породы.

Для производства взрывных работ допускаются коллоидные и дымные пороха. Коллоидные пороха по химической стойкости, срокам очередных испытаний, а также условиям хранения и обращения подразделяются на 3 группы.

1 группа – пороха химически стойкие и безопасные в обращении. Их проверяют на химическую стойкость в очередные сроки испытаний, указанные в паспорте, но не реже одного раза в год;

2 группа – пороха с пониженной химической стойкостью, но безопасные в обращении. Длительному хранению не подлежат. Их испытания на химическую стойкость проводят не реже одного раза в 6 месяцев, но если есть сомнения в их доброкачественности, определяемой по внешним признакам (изменение

цвета, появление запаха оксидов азота и т. п.), то испытания порохов проводят раз в месяц;

3 группа – пороха химически нестойкие и опасные в обращении. Применение порохов 3 группы на взрывных работах запрещается.

Пороха более чувствительны к внешним воздействиям, чем другие промышленные ВВ, поэтому при работе с порохами требуется соблюдать особую осторожность и использовать пороха только при таких работах, где отсутствует возможность их замены другими промышленными ВВ.

Коллоидные пороха, особенно рассыпные, очень чувствительны к тепловому импульсу и искровому разряду. При пересыпании они могут электризоваться до высоких потенциалов, что может привести к искровому разряду и вызвать воспламенение пороховой пыли или паров летучего растворителя.

При длительном хранении коллоидных порохов возможно изменение их состава во всей массе или перераспределение некоторых компонентов по слоям пороховых элементов. Способность пороха противостоять в процессе хранения подобным изменениям называется физической стабильностью. Физическая стабильность порохов на труднолетучем растворителе выше, чем пироксилиновых. У пироксилиновых порохов нарушение физической стабильности связано с уменьшением летучих веществ и изменением содержания флегматизатора. У баллиститных порохов это нарушение связано с процессами экссудации и выцветания.

Пороха являются токсичными, взрывопожароопасными веществами. Их токсичность обусловлена токсичностью входящих в состав порохов компонентов.

Коллоидные пороха могут применяться при взрывных работах методами накладных (только при взрывании под водой), скважинных, котловых, камерных и траншейных зарядов.

Большая часть порохов трубчатой формы, извлекаемых при раснаряжении выстрела из гильз в пучках, сохраняет детонационные свойства, близкие к зерненным порохам, обладает большей водостойкостью и может непосредственно использо-

ваться в качестве траншейных, сосредоточенных камерных зарядов, на подводных работах. При необходимости механизированного скважинного заряжения трубчатые пороха могут быть в промышленных условиях пластифицированы и измельчены в крошку или таблетки [16, с. 48].

7.1.4. Боевые части боеприпасов

Наиболее распространенными мощными БВВ (гексоген, октоген и т. п.) снаряжаются боевые взрывающиеся части различных классов ракет и торпед. Неразборный, герметичный корпус боевой части, имеющий, как правило, осколочную или кумулятивную оболочку, создает определенные трудности для извлечения и переработки ВВ и использования металлических оболочек корпуса. Наличие значительного осколочного действия подавляющего большинства боевых частей боеприпасов определяет возможность их применения лишь в достаточно заглубленных зарядах: котловых или подводных. Некоторые виды боевых частей боеприпасов могут быть использованы совместно со всей системой: ракетой, системой наведения стрельбы и т. д. Например, известен опыт применения гранатометов с осколочно-фугасными и кумулятивными боевыми частями для ликвидации завесаний руды на подземных работах. Групповое использование небольших кумулятивных боевых частей от противотанковых гранатометов может обеспечить эффективное прохождение скальных участков пород, расположенных по контуру выработки.

Применение указанных выше боеприпасов имеет ряд преимуществ, так как в авиабомбах и минах тротил заключен в металлические оболочки и непосредственный контакт с ним исключается, что делает работы по заряданию более безопасными. Топливные элементы до камеры транспортируются в закрытых ящиках и извлекаются из них только в процессе штабелирования заряда.

Большую группу изделий – артиллерийские снаряды и мины по истечении гарантийного срока обычно уничтожают, выжигая или выплавляя ВВ из корпусов, а стальные или чугунные корпуса сдают на переплавку [16, с. 58].

7.1.5. Методы утилизации боеприпасов

В настоящее время в качестве общего подхода к проблеме ликвидации запасов непригодных боеприпасов выбраны методы их утилизации и расснаряжения.

Утилизация боеприпасов является работой повышенной опасности, требует наличия высококвалифицированных специалистов, оригинального технологического оборудования, производственных и складских помещений, отвечающих условиям взрывопожаробезопасности.

Исходя из этого все работы по утилизации боеприпасов должны выполняться только на специализированных заводах или в специально оборудованных пунктах на арсеналах при обязательном участии и контроле разработчиков боеприпасов и технологий снаряжения.

При утилизации боеприпасов должны быть достигнуты следующие цели:

- возвратить народному хозяйству содержащееся в боеприпасах значительное количество ценных материалов и продуктов (цветные и черные металлы, ВВ, пороха и т. д.);

- повысить живучесть и взрывопожаробезопасность арсеналов, складов и баз;

- сократить затраты на хранение и ремонт боеприпасов;

- исключить экологически вредные способы уничтожения боеприпасов (выжиганием, подрывом, захоронением или затоплением);

- обеспечить максимальную экономическую эффективность;

- сохранить высококвалифицированные кадры и производственные мощности по снаряжению и сборке боеприпасов в условиях резкого сокращения объемов заказов Минобороны на производство новых боеприпасов с учетом перевода заводов в перспективе на двойные технологии.

Проблема расснаряжения и утилизации боеприпасов базируется на следующих основных принципах:

- безопасности на всех этапах работы;

- комплексности производства, т. е. расснаряжении всех элементов боеприпасов;

экологической чистоте всего технологического процесса;
учете боеприпасов, их элементов и получаемых при расснаряжении взрывчатых материалов на всех его этапах, как представляющих собой особую социальную опасность, и принятии мер по исключению их несанкционированных утерь;
экономической целесообразности при выборе тех или иных методов расснаряжения.

Максимальная экономическая эффективность программ утилизации боеприпасов может быть достигнута только при более глубокой переработке материалов и сырья, полученных при утилизации, в народнохозяйственную продукцию и реализации этих материалов и продукции на коммерческой основе, в том числе и за рубежом.

Очевидно, что решение всего комплекса задач, связанных с утилизацией боеприпасов, требует не только значительных финансовых затрат, но и времени для их реализации.

До решения ряда научных, технических, финансовых и организационных задач по утилизации с целью исключения или уменьшения экологического ущерба в действующих производствах в настоящее время утилизируются наиболее простые боеприпасы, снаряженные преимущественно тротилом: артиллерийские осколочно-фугасные снаряды, противотанковые мины и некоторые другие.

Такие элементы боеприпасов, как взрыватели и капсюльные втулки, существующие методы утилизации которых связаны с вредным экологическим воздействием, накапливаются до создания экологически чистого и надежного оборудования для их переработки.

Одна из основных задач утилизации – извлечение ВВ из боеприпасов. Отсутствие универсального способа расснаряжения боеприпасов вынуждает специалистов для каждого конкретного типа боеприпасов с учетом экономической целесообразности и уровня экологической защиты разрабатывать свою технологию извлечения и переработки ВВ.

Для боеприпасов, снаряженных тротилом и другими плавкими ВВ на основе тротила, в первую очередь артиллерийских

снарядов, – различные варианты неконтактной и контактной выплавки паром, парафином, тротилом или горячей водой, использование индукционного нагрева корпуса боеприпаса, вымывание струей воды высокого давления.

Крупногабаритные боеприпасы, снаряженные смесевыми плавкими ВВ, – расснаряжение различными способами вымывания: высококипящими инертными жидкостями, струей воды высокого давления.

Для боеприпасов, снаряженных главным образом неплавкими ВВ типа А-IX-1, А-IX-2 прессованием в корпусе, – различные способы механического разрушения разрывного заряда, в том числе струей воды.

Не вызывает сложностей извлечение ВВ (разрывного заряда) из боеприпасов, снаряженных раздельно-шашечным способом на плавком закрепителе. При подогреве корпусов таких боеприпасов закрепитель плавится и разрывной заряд легко извлекается.

Для утилизации боеприпасов, которые по техническому состоянию непригодны к транспортировке, создаются передвижные модульные установки непосредственно в местах хранения таких боеприпасов. В передвижных установках используются такие же технологии извлечения ВВ из боеприпаса, как и на стационарных участках, а именно: выплавка тротилсодержащих ВВ; вымывание ВВ струями высокого давления; различные методы механического разрушения разрывного заряда.

Важное значение при решении проблемы утилизации имеет поиск безопасного использования извлеченных из боеприпасов взрывчатых материалов (ВВ и порохов), поскольку наибольший экологический вред природе наносит их уничтожение подрывом или сжиганием.

Анализ подлежащих утилизации боеприпасов показывает, что они содержат около 70 % тротила состава ТА (тротил–алюминий) и ТД (тротил–динитронафталин), 20 % плавких смесей тротил–гексоген или тротил–гексоген–алюминий, 7 % неплавких ВВ А-IX-1 (флегматизированный гексоген) и А-IX-2 (смесь флегматизированного гексогена с алюминием), 3 % прочих ВВ, среди которых жидкие и пластичные ВВ, октогенсодержащие и некоторые другие.

Основная масса используемых в настоящее время в добывающих отраслях промышленности ВВ – это составы на основе тротила и аммиачной селитры. Как правило, они характеризуются невысокими скоростями детонации и малой чувствительностью к удару и трению. Перспективы развития промышленных ВВ направлены на широкое использование новых классов – гранулированных бестротилового, водосодержащих гелеобразных и эмульсионных ВВ.

Горнодобывающая отрасль промышленности имеет ограниченные потребности в гексогенсодержащих ВВ из-за их высокой стоимости и чувствительности к трению и удару. Технология взрывных работ при проходке подземных выработок в основном приспособлена к применению тротилсодержащих и алюмосодержащих ВВ на основе аммиачной селитры.

Из всех ВВ, содержащихся в боеприпасах, только тротил и состав тротил–алюминий являются в большей степени веществами двойного применения, используемыми как в военной, так и в гражданских отраслях промышленности, однако и эти ВВ после выплавки или извлечения из боеприпасов другими способами должны быть переработаны.

Основной путь такой переработки – гранулирование и чешуирование. Для этой цели созданы ленточный и цилиндрический грануляторы со специальным диспергатором, формирующим капли расплава ВВ. После грануляции и чешуирования на охлаждаемых барабанах ВВ могут быть направлены непосредственно потребителям.

Смеси тротил–гексоген и тротил–гексоген–алюминий, извлеченные из боеприпасов, должны обладать пониженной чувствительностью к механическим воздействиям и быть универсальными для их применения в горной промышленности. Это достигается путем увеличения в этих составах доли тротила или введения некоторых инертных компонентов.

Предстоит большая работа по созданию как новых унифицированных рецептур промышленных ВВ, так и изделий из них, с проведением государственных испытаний. Для достижения этих целей в настоящее время отработана технология гранули-

рования составов типа тротил–гексоген, тротил–алюминий, тротил–гексоген–алюминий, в том числе с добавками аммиачной селитры.

Следующая задача – это применение извлеченных из боеприпасов мощных ВВ, представляющих собой флегматизированный гексоген и смесь флегматизированного гексогена и алюминия, и их переработка в промышленные ВВ.

Так как они не плавятся, наиболее перспективный путь – создание на их основе водосодержащих ВВ с последующим патронированием.

Такие заряды перспективны, особенно для малых и средних по количеству применяемого ВВ потребителей, и можно ожидать роста объема их производства в ближайшие годы. Они найдут широкое применение в горнорудной промышленности.

Очевидно, что основное направление по использованию утилизированных ВВ в качестве промышленных ВВ и различных изделий для промышленности (промежуточные детонаторы, кумулятивные шнуры для резки металлоконструкций, шнуры для тушения лесных пожаров путем создания минерализованных полос, специальные заряды для разрушения негабаритных камней, упрочнения и сварки металлоконструкций) не является единственным.

Возможные и перспективные пути применения утилизируемых ВВ – это получение путем взрыва ультрадисперсных технических алмазов, тугоплавких материалов, красок, получение из тротила триаминотолуола как сырья для химической промышленности, окислов азота, азотной кислоты, аммиачной селитры и др [16, с. 78].

7.2. Номенклатура взрывчатых материалов, получаемых при промышленной переработке элементов боеприпасов

Разработка продукции на основе ВВ и порохов утилизируемых боеприпасов для промышленных взрывных работ осуществлялась с учетом следующих предпосылок:

основной потребитель разрабатываемых ВВ – горнодобывающая, геологоразведочная и другие отрасли;

промышленные ВВ на основе извлекаемых из боеприпасов ВМ не должны уступать эффективности, технологической и экологической безопасности промышленных ВВ массового применения;

технологические процессы изготовления продукции из ВМ утилизируемых боеприпасов должны быть по возможности адаптированы к существующим производствам снаряжения и изготовления штатных промышленных ВВ;

изготовление разрабатываемых ВВ может осуществляться не только на заводах, но и непосредственно на базах (арсеналах) хранения боеприпасов;

разрабатываемые ВВ должны передаваться потребителю для производства взрывных работ по процедуре, установленной Госпромнадзором.

На основе такого подхода и анализа рецептурно-технологических особенностей все извлекаемые из боеприпасов ВМ были разделены на четыре основные группы (табл. 22).

Здесь же приведены продукция, разработанная для производства взрывных работ из утилизируемых (извлеченных из боеприпасов) ВМ каждой группы, а также нормативно-техническая документация на разработанную продукцию и способ ее изготовления [16, с. 127].

Для осуществления оценки безопасности производимых ВВ необходимо применять и исполнять требования основных стандартов [17–41], содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов. Все работы, связанные с разработкой, изготовлением, перевозкой, хранением, использованием и учетом ВВ проводятся в соответствии с требованиями «Единых правил безопасности при взрывных работах» (ЕПБ при ВР) [42] и «Инструкции о порядке хранения, приобретения, транспортирования, использования и учета ВМ» [43].

Таблица 22. Основные группы извлекаемых ВМ [16, с. 132]

Наименование утилизируемого ВМ в группе	Продукция, разработанная из утилизируемых ВМ	НТД на разработанную продукцию. Способ изготовления
I. Тротил и его смеси	<p>1.1. ТРОТИЛ-У. Предназначен для заряжания обводненных полостей и скважин на земной поверхности. Выпускается в виде кусков нерезанной формы и полидисперсного состава с максимальным размером куска 45 мм</p> <p>1.2. ГРАММОНИТЫ 30/70, 40/60. Предназначены для производства взрывных работ на земной поверхности с ручным заряданием 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</p> <p>1.3. НИТРОТОЛ. Предназначен для взрывания только на земной поверхности, преимущественно обводненных горных пород методом скважинных зарядов. Изготавливается из тротила-УД, пироксилинового и баллиститного порохов, флегматизирующей гидрофобной добавки.</p> <p>1.4. ШАШКИ-ДЕТОНАТОРЫ Т-400Г. Предназначены к применению в качестве промежуточных детонаторов для инициирования скважинных и других зарядов малочувствительных промышленных ВВ на земной поверхности. Изготавливаются из смеси, состоящей из утилизированного тротила марки УД по ТУ 7511809-80-93 и тротила марки А по ГОСТ 4117-78 или тротила по ГОСТ 7059-73</p> <p>1.5. ШАШКИ-ДЕТОНАТОРЫ ПТУ-800Л, ПТУ-1000Л. Предназначены для применения в качестве промежуточных детонаторов для инициирования скважинных зарядов промышленных ВВ любой степени обводненности на открытых горных работах. Представляют собой литые шашки цилиндрической формы массой 800 и 1000 г из тротила-У и пироксилинового зерненного пороха соотношением 50/50.</p>	<p>ТУ ВУ 100512805.007-2009 Механическое дробление утилизируемых зарядов</p> <p>ТУ 7511819-91-94 Сухая грануляция</p> <p>ТУ ВУ 100512805.005-2007 Механическое смешение компонентов</p> <p>ОСТ 84-411-80 Прессование</p> <p>ТУ ВУ 490316968.007=2014 Заливка</p>

Наименование утилизируемого ВМ в группе	Продукция, разработанная из утилизируемых ВМ	НТД на разработанную продукцию. Способ изготовления
I. Протил и его смеси	1.6. АЛЮМОТОЛ. Предназначен для взрывных работ при ручном и механизированном зарядании 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	ГОСТ 12696-77 Сухая грануляция
II. Литьевые смеси, содержащие гексоген: МС, ТГ, ТГА-16, ТТАГ-5, ТГАФ-5М	<p>2.1. АЛЫГЕТОЛЫ (15; 25; 35). Выпускаются в непагронированном виде и предназначены для взрывных работ на земной поверхности при ручном зарядании скважин и полостей любой степени обводненности. Разработаны 3 марки алыгетолов: алыгетол-15, алыгетол-25 и алыгетол-35. Содержат в составе 15, 25 или 35 % гексогена. Водостойкость высокая.</p> <p>2.2 АЛЫГЕТОЛЫ-35Б. Предназначены для производства взрывных работ на земной поверхности с ручным заряданием сухих и обводненных скважин. Изготавливаются из утилизируемых составов: МС, ТГА-16, ТТАГ-5 или ТГАФ-5М в виде гранул полусферической формы размером до 8 мм. Водостойкость высокая</p> <p>2.3. ЗАРЯДЫ ГИБРИДНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЛИТЬЕВЫЕ ЗГСЛ-70-1000, ЗГСЛП-70-1000. Предназначены в качестве ВВ при сейсмических и других геофизических работах на земной поверхности, в эксплуатационных и разведочных скважинах, в качестве промежуточных детонаторов для инициирования скважинных зарядов в скважинах любой обводненности. Представляют собой литые шашки из тротила-У, тротила-У и пироксилинового пороха зерненного соотношением 50/50 с дополнительным зарядом А-IX-2. Заряды выпускаются в полиэтиленовом корпусе со специальным замком для сборки в гирлянды.</p>	ТУ 75 11819-89-94Е Сухая грануляция
		ТУ ВУ 490316968.009-2015 Заливка. Сборка

<p>III. Сухие или влажные смеси, содержащие гексоген: А-IX-1, А-IX-2.</p>	<p>3.1. ЭМУЛЬСЕН-ГА. Патронированные ВВ диаметром 90, 120 мм. Водостойки. Предназначены для заряжания шпуров и скважин при производстве взрывных работ на земной поверхности при ручном заряжании скважин любой обводненности. Представляют собой патронированные заряды из смеси гексогеносодержащих составов и эмульсии (марки 1, 2, 3).</p>	<p>ТУ 07511819–149–2003 Патронирование</p>
<p>IV. Пороха и ТРТ</p>	<p>4.1. ЭМУЛЬСЕН-ГАП. Предназначен для взрывных работ на земной поверхности при ручном заряжании скважин любой обводненности. Представляет собой смесь эмульсии марки А состава Г-2У и пироксилинового зерненного пороха</p> <p>4.2. ГЕЛЬПОРЫ. Гельпоры – водосодержащие ВВ пастообразной консистенции на основе водного раствора окислителей, сенсibilизированного порохом или крошкой ТРТ. Предназначены для применения в патронированном виде на открытых горнодобывающих и сейсморазведочных работах в сухих, обводненных и заполненных буровым раствором скважинах. Выпускаются в виде патронов диаметром 90 и 120 мм. Водостойки</p> <p>4.3. ГРАНИПОР ВОДОУСТОЙЧИВЫЙ БП-1. Предназначен для производства взрывных работ на земной поверхности при отбойке обводненных горных пород. Изготавливается на основе пироксилиновых и баллистических порохов, флегматизированных нефтепродуктами</p>	<p>ТУ ВУ 490316968.008-2014 Патронирование</p> <p>ТУ84-7509009-66-93 Патронирование</p> <p>ТУ ВУ 100512805003-2010 Смешение</p>

Таблица 23. Характеристики промышленных ВВ, разработанных из утилизируемых ВМ

Взрывчатое вещество	Теплота взрыва, ккал/кг	Температура вспышки, °С	Чувствительность к удару (ГОСТ 4545) в приборе № 1, %	Чувствительность к трению (ГОСТ Р 50835), МПа	Плотность, кг/м ³	Скорость детонации, км/с	Кислородный баланс, %
Тротил-УД	870–970	295–305	48	>686,5	750–800 (насып.)	5,0–5,5 (водо-напол.)	–74
Нитротол	900–930	200–210	60	>200	1250–1300	5,9–6,1 (водо-напол.)	–54–65
Эмульсен-ГА	1001–1027	230–240	0–8	>350	1450–1480	5,4–6,0 (водо-напол.)	–10–16
Эмульсен-ГАП	1001–1027	230–240	60	>215,8	1450–1480	5,4–6,2	–10–16
Альгетол-35	1179	210	48	>294	900–1000 (насып.)	4,9	–75,9
Шашки-детонаторы ПГУ-100	925	170–180	88	>200	1400	6,5	–59,4
ЗГСЛП-70-1000	925	170–180	88	>200	1400	6,5	–59,4
Граннпор БП-1	800–900	170–180	88	>216	800–850 (насып.)	5,3–5,5 (водо-напол.)	–50

Гранипоры. Гранулированные промышленные ВВ, изготовленные на основе утилизируемых пироксилиновых и баллиститных порохов. Обычно представляют собой обмасленную механическую смесь пироксилиновых зернистых порохов и отрезков трубчатых артиллерийских порохов. Такие смеси обладают хорошей водоустойчивостью и успешно заменяют гранулол. Содержание масла обычно составляет 1,5 %. Вместо минеральных масел иногда используют кремнийорганические жидкости. Для повышения детонационной способности могут содержать добавки гексогена. У некоторых в качестве окислителя выступает гранулированная аммиачная селитра. Возможно снаряжение в водонаполненном состоянии.

Смеси аммиачной селитры с гранипорами называют **граммопорами**. Они содержат аммиачную селитру, 10–30 % бездымного пороха и 3,7–0,2 % минерального масла. Скорость детонации составляет 4800–5100 м/с. Теплота взрыва достигает 4,03–4,34 МДж/кг.

Смеси пироксилиновых порохов с 4 % водного или водно-гликолевого раствора аммиачной селитры называют **нитропорами**. Скорость детонации составляет 5100–5500 м/с, в водонаполненном состоянии – 5800–6300 м/с при плотности 1,25–1,3 г/см³. Теплота взрыва достигает 3,3–3,7 МДж/кг. Критический диаметр водонаполненного заряда при насыпной плотности – 90–120 мм. Объем продуктов взрыва – 900–950 л/кг [45; 11, с. 221].

В настоящее время в Беларуси изготавливают «Гранипор водоустойчивый» марки БП-1 на основе баллиститных и пироксилиновых порохов, извлеченных из боеприпасов, который выпускается в непатронированном виде и предназначен для отбойки обводненных горных пород в любых климатических районах. Основные взрывчатые характеристики гранипора БП-1 приведены в табл. 23.

Гранипор является взрыво- и пожароопасным веществом. По степени опасности при транспортировании и хранении относится к классу 1, группе совместимости D по ГОСТ 19433 [19]. Перевозить и хранить гранипор следует в соответствии с требова-

ниями ЕПБ при ВР [42]. Его необходимо защищать от огня, воздействия атмосферных осадков и солнечных лучей.

Тротил-У. Тротил-У – промышленное взрывчатое вещество 1 класса, изготавливаемое из тротила, извлеченного из боеприпасов при расснаряжении, предназначенное для заряжания обводненных и сухих скважин при производстве взрывных работ на земной поверхности во всех климатических районах (см. цв. вклейку, фото 21). Температурные пределы применения от +50 до –60 °С. Диаметр скважин не менее 150 мм с агрессивностью сред рН = 3–8.

Тротил-У по ГОСТ 4117 [20] выпускается двух марок: УД и УГ.

Тротил марки УД (дробленый) – выпускается в виде кусков полидисперсного состава, предназначен для ручного заряжания скважин (см. цв. вклейку, фото 22).

Тротил марки УГ (гранулированный) выпускается в виде гранул размером 3–5 мм, предназначен для ручного и механизированного заряжания скважин.

Условные обозначения тротила-У: УД и УГ.

По физико-химическим свойствам тротил-У должен соответствовать требованиям и нормам, указанным в табл. 24.

Выпускается он в непатронированном виде.

Инициирование тротила-У осуществляется шашками-детонаторами Т-400Г, ГТП-500 и другими.

Тротил-У является взрыво- и пожароопасным веществом. Основные взрывчатые характеристики тротила-У приведены в табл. 25. Загоревшийся тротил-У следует тушить обильным количеством воды. Допускается применять углекислотные огнетушители. Использовать кошку и песок запрещается.

По степени опасности при транспортировании и хранении тротил-У относится к классу 1, подклассу 1.1, группе совместимости D по ГОСТ 19433 [19]. Перевозить и хранить тротил-У следует в соответствии с требованиями ЕПБ при ВР [42]. Его необходимо защищать от огня, воздействия атмосферных осадков и солнечных лучей.

Таблица 24. Физико-химические характеристики марок тротила-У

Показатель	Норма	
	Марка УД	Марка УГ
Внешний вид	Куски нерегламентированной формы и прессованные тротиловые шашки размером до 45 мм от светло-желтого до коричневого цвета.	Гранулы нерегламентированной формы от темно-желтого до коричневого цвета. Размер гранул: проход гранул через сито с сеткой № 5 (по ГОСТ3826) не менее 50 %; остаток гранул и их сростков на сите с сеткой № 10 (по ГОСТ 3826) не более 3 %; остатков на сите с сеткой № 14 (по ГОСТ 3826) – отсутствие.
Температура затвердевания (плавления), °С, не менее	80,0	80,0
Массовая доля влаги и летучих, %, не более	2,0	2,0
Массовая доля веществ, нерастворимых в органическом растворителе (в том числе примеси), %, не более	1,2	1,2
Кислотность в пересчете на серную кислоту, %, не более	0,01	0,01

В настоящее время в Беларуси на базе Республиканского казенного предприятия «Центр утилизации артиллерийских и инженерных боеприпасов» на основе утилизированного тротила-У, пироксилиновых и баллиститных порохов изготавливается промышленное ВВ «Нитротол» (см. цв. вклейку, фото 23).

Таблица 25. Основные взрывчатые характеристики марок тротила-У [16, с. 140]

Характеристики	Тротил-У (марка)	
	УД	УГ
Теплота взрыва, ккал/кг	870–900	800–970
Кислородный баланс, %	–74	–74
Критический диаметр, мм в стальной оболочке в бумажной оболочке	10–15 30	10–15 30
Фугасность, см ³	285–295	285–295
Плотность (насыпная), г/см ³	0,75–0,80	0,9–1,0
Плотность гранул, г/см ³	1,45	1,45
Скорость детонации, км/с сухого водонаполненного	4,0–4,6 5,0–5,5	4,0–4,6 5,0–5,5
Содержание влаги и летучих веществ, %, не более	2,0	2,0
Газовая вредность в пересчете на условную окись углерода, л/кг	345	345
Бризантность (по ГОСТ 5984), мм, не менее	15	15
Чувствительность к удару (по ГОСТ 4545) частота взрывов в приборе № 1, % нижний предел, мм	48 400	48 500
Чувствительность к трению по ГОСТ Р 50835, МПа	686,5	686,5

Шашки-детонаторы из ВВ от утилизированных боеприпасов. Ряд НИИ оборонной промышленности СНГ разработал промежуточные шашки-детонаторы массой 500–1000 г из ВВ, полученных из утилизированных боеприпасов.

Конструкция разработанных шашек-детонаторов во всех случаях универсальна, т. е. детонация ее должна надежно происходить от обычных детонаторов, а также от электродетонаторов [16, с. 144]. В настоящее время на базе Республиканского казенного предприятия «Центр утилизации артиллерийских и инженерных боеприпасов» разработаны шашки-детонаторы ПТУ – 800Л, ПТУ – 1000Л [46] для применения в качестве промежуточных детонаторов и представляют собой литые шашки-детонаторы из тротила-У и пироксилинового зерненного пороха соотношением 50/50 % с характеристиками, указанными в табл. 26

Таблица 26. Характеристики шашек-детонаторов

Параметр	Марка шашек-детонаторов	
	ПТУ-800Л	ПТУ-1000Л
Диаметр наружный, мм	80	80
Масса ВВ, г	800	1000
Высота, мм	125	150
Скорость детонации, км/с	6.5	6.5
Чувствительность к удару по ГОСТ 4545, нижний предел не менее, мм	100	100
Чувствительность к трению по ГОСТ Р50835, нижний предел не менее, МПа	200	200

(см. цв. вклейку, фото 24). Там же производятся заряды гибридные сейсмические литые ЗГСЛП-70-1000 [47], представляющие собой литые шашки-детонаторы из тротила-У, пироксилинового пороха и дополнительного заряда А-IX-2 в полиэтиленовом корпусе. Корпуса зарядов могут собираться в гирлянды с помощью замков, изготовленных на корпусе заряда (см. цв. вклейку, фото 25, 26), табл. 23.

Шашки-детонаторы обладают высокой водоустойчивостью и надежно детонируют после выдержки в воде в течение 10 сут. Развиваемое при взрыве давление детонации обеспечивает надежное возбуждение детонационного процесса в сухих и обводненных условиях практически всех применяемых на земной поверхности низкочувствительных ВВ, в том числе гранипоров, дибазитов, порохов.

Гексотоловые шашки-детонаторы ТГФ и ГТП массой 500 и 850 г (только ТГФ), а также тротильные массой 500 г имеют характеристики, представленные в табл. 27. Данные изделия на основе ВВ являются российской разработкой.

Гексотоловые шашки-детонаторы при взрыве развивают давление детонации до 22 ГПа и обеспечивают возникновение детонационных процессов во всех применяемых низкочувствительных ВВ. Выпускаются также гексотоловые и тротильные шашки-детонаторы массой 400 г из флегматизированного гексогена ГФ, прямоугольной формы со сквозным цилиндрическим

Таблица 27. Характеристика гексотоловых шашек-детонаторов

Марка шашек-детонаторов	ТГФ-500Э	ТГФ-850Э	ГТП-500	Т-500
Плотность, г/см ³ , не менее	1,6	1,6	1,58	1,54
Масса, г	500	850	500	500
Скорость детонации, км/с	7,2–7,8	7,2–7,8	7,2	6,2
Теплота взрыва, кДж/кг	4800	4800	4500–4980	4230
Размеры, мм	–	–	70	70
диаметр шашки	61	79	–	–
высота	110	115	86	86
диаметр канала	15	15	14,5	14,5
диаметр гнезда	8	8	7,7	7,7
глубина гнезда для КД	95	100	73	73

каналом. Последние шашки-детонаторы предназначены в основном для геофизических работ [16, с. 146].

7.3. Опыт производства взрывных работ с использованием утилизированных взрывчатых материалов

Отбойка горных пород. В наибольших объемах снятые с вооружения ВМ нашли применение на открытых горных работах для отбойки пород взрывным способом (метод скважинных зарядов) на горнодобывающих предприятиях цветной и черной металлургии, угольной промышленности, строительных материалов, транспортного строительства и гидростроительства.

Многообразие разрабатываемых горных пород, технологий и параметров ведения взрывных работ позволяет применять на массовых взрывах как нерасснаряженные боевые части боеприпасов (удлиненные и сосредоточенные заряды) и элементы расснаряженных боеприпасов (тротило-гексогеносодержащие шашки, баллиститные шашки, зерненные пироксилиновые пороха), так и взрывчатые материалы, изготовленные на основе ВВ, извлеченных из боеприпасов после их расснаряжения (тротил-У, гранипоры и др.).

Из утилизированных тротило-гексогеносодержащих ВМ на горнодобывающих предприятиях хорошо зарекомендовали себя удлиненные заряды разминирования, шашки и тротил-У.

Многие предприятия, ведущие взрывные работы, при использовании гранулола и других ВВ во время заряжания ими обводненных скважин в период низких температур сталкивались со случаями образования на поверхности воды труднопотопляемых пробок из ВВ. При использовании гранипоров и пироксилиновых зерненных порохов за счет высокой плотности пороховых зерен потопление ВВ происходит в нормальном режиме. Массовые взрывы с применением данных ВВ отличаются мягким действием взрыва и пониженной сейсмической волной, что немаловажно для ведения взрывных работ на карьерах, расположенных рядом с населенными пунктами или технологическими объектами. Развалы отбитой горной массы, полученные при использовании гранипоров и порохов, отличаются правильными формами [16, с. 216].

Контурное взрывание. Физическая сущность действия взрывов при контурном взрывании основана на учете различных форм проявления действия взрыва двух (или нескольких) зарядов, взрываемых одновременно при изменении расстояния между ними. Во всех случаях вокруг заряда образуется зона разрушения, размеры которой при контурном взрывании должны быть минимальны. Это достигается путем применения зарядов специальной конструкции, уменьшения плотности заряжания, а также подбора ВВ с минимальным бризантным действием [16, с. 234].

Создание профильных выемок. Создание профильных выемок – широко распространенный вид горных работ, применяемый в транспортном, гидротехническом, гражданском и других видах строительства. Так, в гидромелиоративном строительстве эти работы проводятся при спрямлении, углублении и расширении русла малых и средних рек, устройстве больших магистральных осушительных каналов, углублении существующих магистральных каналов, создании дренажных полос, строительстве дамб, котлованов и др. В дорожном строительстве – при

профилировании участков дорог, создании полостей под основания мостовых опор, сооружении дорожных пересечений на различных уровнях, устройстве экранов вдоль полотна дороги для борьбы с пучением, полостей для водосбора вдоль дороги и т. д.

Наряду с широкой механизацией земляных работ использование взрывного способа в ряде случаев является наиболее эффективным и простым. Существенное преимущество взрывного метода состоит в значительной скорости производства земляных работ, возможности выполнения их в любое время года и в различных горно-геологических условиях, снижении трудоемкости и уменьшении их капиталоемкости. Земляные работы взрывными методами выполняются с привлечением незначительного количества людей и техники, что является экономически целесообразным [16, с. 237].

Взрывные работы под водой. Подводные взрывные работы выполняют с целью углубления акваторий портов, расчистки фарватеров, при сооружении подводных профильных выемок, траншей, каналов. Для ведения подводных взрывных работ применяют методы скважинных и накладных зарядов рыхления. При применении метода скважинных зарядов бурение производится с плавучих установок, на которых монтируются буровые станки различных типов. Для фиксирования установок на дне водоемов их обычно оборудуют выдвижными опорами. Применение накладных зарядов эффективно при взрывании мягких пород и пород средней крепости. Несмотря на увеличение удельного расхода ВВ (в среднем в 3 раза) и соответственно затрат на него, а также затрат на зарядание по сравнению с методом скважинных зарядов, данный метод обеспечивает снижение стоимости отбойки в подводных условиях благодаря исключению буровых работ.

В практике подводных взрывных работ используют водостойчивые ВВ и неводостойчивые, заключенные в водонепроницаемую оболочку [16, с. 242].

Взрывные работы при сейсморазведке. При выполнении сейсморазведочных работ в качестве источника энергии наиболее часто используют ВВ, размещаемые в скважинах различной

глубины, чаще всего водоустойчивые. При выборе рационального типа ВВ должны учитываться следующие специфические условия выполнения взрывных работ: возможность длительного (до нескольких месяцев) нахождения зарядов в скважинах; обводненность скважин и наличие в них бурового шлама; расположение ВВ на значительной глубине.

Из утилизированных ВМ таким требованиям отвечают тротило-гексогеносодержащие изделия и баллиститные шашки. Из тротило-гексогеносодержащих изделий на сейсморазведочных работах могут применяться тротиловые и тротило-гексогеносодержащие шашки, различные подрывные патроны, удлиненные заряды (или их отрезки), боевые части мин (противопехотных, противотанковых) и других боеприпасов. Преимущество перечисленных ВМ, кроме их водоустойчивости, состоит еще и в том, что большинство из них заключено в металлические или другие корпуса, сохраняющие заряды ВВ в течение длительного нахождения их в скважинах. Помимо этого, широкий диапазон изделий по массе ВВ позволяет подобрать требуемую массу сейсмического заряда [16, с. 246].

7.4. Перспективы применения элементов утилизированных боеприпасов для изготовления промышленных взрывчатых веществ

Большая часть извлекаемых из боеприпасов ВВ при утилизации может и должна быть использована в промышленности и для создания наукоемких технологий получения новых материалов и сплавов.

Взрывная технология получения тугоплавких материалов позволяет регулировать экстремальные условия по температурам и давлениям. Мощные ВВ и пороха, извлекаемые при расснаряжении боеприпасов, позволяют достичь давлений (до 2–3 ГПа) и температур (несколько тысяч градусов), которых нельзя добиться другими методами.

Необычным типом углеродного материала, получаемого по такой технологии, является ультрадисперсный алмаз (УДА),

который находит широкое применение в медицине, электронике, оптике, причем область его использования постоянно расширяется.

В промышленности на основе утилизируемых ВВ и порохов могут быть получены рецептуры водосодержащих составов, безопасных в обращении, а также с безопасной экологически чистой технологией их производства. Почти все извлекаемые из боеприпасов ВВ, кроме тротила, обладают повышенной чувствительностью и токсичностью, неблагоприятным в экологическом плане составом продуктов взрыва, поэтому не могут быть непосредственно использованы в промышленности, для взрывания в подземных условиях. Однако составы на основе гексогенсодержащих БВВ оборонного назначения и некоторого количества структурированной специальными добавками воды с растворимыми в ней окислителями (нитратами, перхлоратами) позволяют решить эту проблему.

Создаются составы с высоким уровнем технологичности, стабильности, безопасности, экономичные и эффективные. Их применение в промышленности может быть самым разнообразным, начиная от использования в шланговых зарядах для геофизических работ и заканчивая зарядами повышенной пористости для добычи штучного камня, заоткоски уступов.

Важным перспективным направлением в этом плане является также создание технологий, связанных с управляемым воздействием взрыва на материалы при работах в горной, металлургической и нефтедобывающей отраслях промышленности, строительстве, машиностроении. Эти методы могут быть применены при взрывной разделке железобетонных конструкций, дроблении и рыхлении горных пород, при специальной обработке плит и неметаллических материалов, очистке поверхностей, емкостей и отверстий ото льда, металла, при нанесении покрытий на внутренние поверхности сложного профиля, компактировании труднопрессуемых порошков в различные материалы.

Разработка взрывчатых составов на основе порохов и технологий их изготовления является и в дальнейшем важнейшей

научно-технической проблемой, требующей проведения детальных исследований в области определения детонационных характеристик порохов, их химической стойкости, безопасности, совместимости с другими ВВ, чувствительности к различным внешним воздействиям. Термодинамические расчеты параметров детонации порохов показывают, что при функционировании в этом режиме они превосходят по скорости детонации, давлению и температуре тротил, хотя и уступают гексогену. Еще более значительного увеличения параметров детонации порохов можно добиться путем добавления к ним веществ с положительным кислородным балансом для улучшения сбалансированности получаемой смеси по соотношению «горючее – окислитель». Так, добавление аммиачной селитры позволяет достичь параметров детонации, близких к таковым гексогена при той же начальной плотности смеси.

Вместе с тем высокая чувствительность к тепловым и механическим воздействиям ограничивает применение как порохов, так и их смесей с другими ВВ. Этот недостаток может быть устранен введением в состав смеси небольшого количества воды (до 10–12 %). В результате параметры детонации снижаются незначительно (скорость детонации уменьшается на 300–400 м/с), а безопасность использования таких веществ существенно возрастает. Обладающая пассивирующим действием вода способна значительно снизить чувствительность к механическим и тепловым воздействиям и обеспечить отсутствие пыления и электризации. Кроме того, подбор вводимых в систему флегматизаторов и окислителей позволяет обеспечить гомогенность состава, улучшить экономические показатели и состав продуктов взрыва. Таким образом, могут быть получены составы с высоким уровнем технологичности, физической и химической стабильности, взрывобезопасности, эффективные и экономичные. Такие составы могут применяться методом свободной заливки в шпур или скважину, при этом увеличиваются плотность состава, коэффициент использования выбуренного объема.

Еще более существенного повышения мощностных характеристик ВВ на основе утилизированных порохов можно достичь

введением в их состав мелкодисперсных частиц металлов – алюминия, магния. Термодинамические расчеты показывают, что только ультрадисперсные частицы (5 мкм) способны прогреться и окислиться в зоне детонационной волны. В то же время работоспособность металлизированных ВВ на основе порохов существенно повышается, и связано это с окислением частиц металла на стадии расширения продуктов взрыва. Энергия, выделяющаяся при горении металла, способствует увеличению фугасного действия такого смесового состава.

В настоящее время существует принципиальная возможность применения утилизируемых порохов как энергоносителей для различных устройств. Например, гидрорежущие устройства могут служить для перфорации отверстий в различных сооружениях, разделки корпусов боеприпасов, обрубки фундаментных свай и т. п., а использование в них пороха позволит существенно уменьшить массу и габариты этих устройств, обеспечив, кроме того, их автономное функционирование. Баллистические устройства на основе порохов также могут получить широкое применение в народном хозяйстве – в строительстве, при тушении пожаров, на транспорте и в сельском хозяйстве, при аварийно-спасательных работах.

Перспективным будет использование порохов в пиротехнике. Составы на основе нитратов целлюлозы отличаются красочностью цветов и оттенков, малой дымностью, и поэтому могут применяться в составах цветных огней. Пороха могут представлять собой термическую основу в дымовых составах различного назначения, а также в составах для получения конкретных газов. В сельском хозяйстве такие дымовые составы предназначены для борьбы с вредителями и защиты от заморозков.

Еще один важный перспективный аспект утилизации порохов – их использование в композиционных топливных составах на основе древесных опилок, торфа, угольной пыли и т. п. Добавление в такие составы штатных окислителей позволяет им устойчиво гореть при нормальных условиях, а следовательно, дает возможность применять их в быту в качестве топлива в различных тепловых установках. Существенной проблемой,

ограничивающей использование таких смесевых составов, как топлива, остается их экологическая чистота и стоимость. Однако, как показывают исследования, оптимизация структурных компонентов таких смесевых составов позволит снизить выделение вредных веществ в атмосферу до уровня обычных топлив, служащих для этой цели в настоящее время.

Наряду с доминирующим использованием порохов как энергоносителей, имеется возможность их утилизации и в качестве ценного сырья. Порох представляет собой сложную систему, включающую ряд очень ценных компонентов, и в первую очередь нитроцеллюлозу – сырье для производства лаков, красок, клеевых композиций, пластмассовых труб.

Особую важность и актуальность в настоящее время приобретает проблема утилизации твердых ракетных топлив. Работы по созданию промышленных технологий переработки этих материалов ведутся во многих странах. Предложено большое количество методов их переработки, однако нет еще завершенных разработок на уровне заводских технологий.

Основная задача в этой области на сегодняшний день – это систематизация имеющихся технических предложений и знаний, оценка научно-технического потенциала решения проблемы, создание промышленных технологий.

Важным вопросом при утилизации боеприпасов является возможность использования металла корпусов, гильз, мин, высвобождающегося при переработке. Представляется перспективным производство ряда товаров широкого потребления (например, декоративных и охранных решеток) из гильз, имеющих цилиндрикоконическую форму. Возможна утилизация гильз и корпусов путем переплавки и жидкофазного восстановления. Еще один способ утилизации связан с переработкой корпусов боеприпасов методом пластического деформирования в товары народного потребления и в детали продукции машиностроения.

Таким образом, области возможного применения утилизированных ВВ и элементов боеприпасов весьма разнообразны. Несомненно, основное значение имеет использование их как энергоносителей для взрывных работ, в различных устройствах,

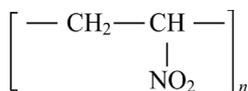
пиротехнике, химических производствах. Они могут служить источником сырья для промышленного производства товаров народного потребления, ценных материалов, композиционных составов. Обоснование экономической эффективности и целесообразности утилизации всего спектра боеприпасов, а также возможных областей применения ВМ становится важной государственной и народнохозяйственной задачей [16, с. 312].

Синтетические взрывчатые полимеры. Развитие синтетических взрывчатых полимеров только набирает темп. Интерес к этим полимерам вызван тем, что они одновременно совмещают как взрывчатые свойства, так и свойства высокомолекулярных соединений, главными из которых, имеющих значение для практики изготовления и применения зарядов ВВ, являются пластичность, термопластичность, термореактивность, прочность и др.

Уже сейчас синтетические взрывчатые полимеры находят применение в качестве горюче-связующих в смесевых твердых ракетных топливах. Однако к этим полимерам предъявляются требования не столько в направлении собственно взрывчатых свойств, сколько их назначения в топливах – быть хорошим горючим и хорошим связующим. Для боеприпасов же нужны полимерные ВВ. Пока еще не найдены достаточно полноценные синтетические высокомолекулярные ВВ, но из открытых и исследованных взрывчатых полимеров некоторые уже имеют перспективы практического применения.

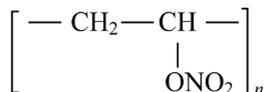
Взрывчатые полимеры непременно содержат нитрогруппы $-\text{ONO}_2$, которые обычно вводятся в мономеры. Примеры взрывчатых полимеров приводятся ниже.

Нитрополиэтилен:



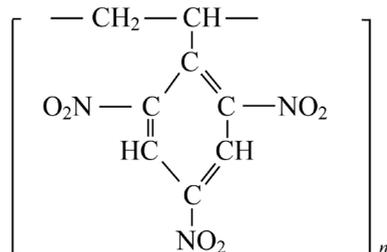
Чувствительность к удару в 1,5–2 раза выше тротила. Теплота взрыва примерно $Q_v = 2,93$ МДж/кг. Расширение в свинцовой бомбе около 100 мл.

Поливинилнитрат:



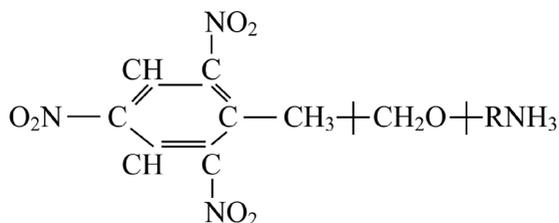
Чувствительность к удару подобна пироксилину. Температура вспышки составляет 160–180 °С. Слабовосприимчив к детонации. Скорость детонации при плотности 1,4 г/см³ $D = 6100$ м/с. Термически недостаточно стоек.

Нитрополистирол:



Чувствительность к удару малая (подобно динитротолуолу). Скорость детонации при плотности 0,25 г/см³ $D = 1500$ м/с. Может применяться как связующее вещество для ВВ, для запальных и инициирующих смесей, а также для изготовления твердых водоотталкивающих защитных оболочек (например, оболочек подрывных шнуров).

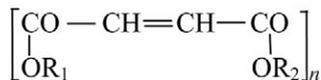
Полимерные смолы на основе тротила, формальдегида и первичных аминов.



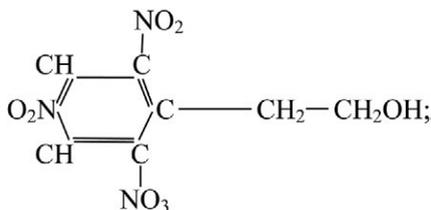
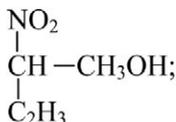
В зависимости от амина R получают смолы с температурой размягчения 95–125 °С. Все смолы бурно горят, а также способны к детонации. Предложены для изготовления военных ВВ, ракетных зарядов, детонаторов, запалов, как горючие связывающие вещества или пластификаторы для нитратов целлюлозы,

дымного пороха, тротила, тетрила и различных взрывчатых составов.

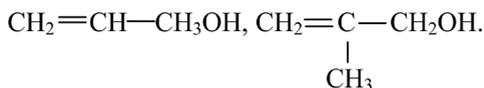
Полимеры смешанных эфиров олеиновой кислоты спиртов и нитроспиртов



где R_1 – радикалы с нитрогруппами, например,



R_2 – радикалы с двойной связью, например,



Эти полимеры имеют разное агрегатное состояние: от твердых стеклообразных масс до плотных, несколько эластичных, резиноподобных продуктов. Бурно горят, а также способны к детонации. Предложены для тех же целей, что и предыдущие смолы на основе тротила [1, с. 122].

Применение ВВ в народном хозяйстве. Когда говорят о ВВ, то применение их обычно связывают, прежде всего, с войной, что справедливо лишь отчасти. Действительно, война немыслима без ВВ. Однако ВВ имеют большое значение и для мирной техники, для народного хозяйства. В настоящее время ВВ являются совершенно обязательными как для войны, так и для мира.

ВВ способны совершать при взрывчатом превращении за очень короткие промежутки времени весьма значительную работу. Это свойство ВВ и определяет целесообразные условия их

применения. ВВ являются одним из самых эффективных средств ускорения и облегчения трудоемких и тяжелых работ.

В первые годы советской власти ВВ использовались сравнительно ограниченно, главным образом для корчевки пней, валки деревьев, для проведения оросительных и осушительных каналов, для работ на карьерах по добыче дорожного камня. Значительно расширилось применение ВВ в восстановительный период. Особенно следует отметить взрывные работы, проведенные на строительстве электростанций.

В последующие годы, а также в наши дни применение взрыва проникает в мирную технику все в возрастающих масштабах. Больше всего ВВ потребляет горная промышленность при разработке различных ископаемых.

В последние годы массовые взрывы направленного действия применяются для мгновенного преграждения рек. Для этого выбирается участок реки с одним или двумя обрывистыми берегами, что обычно бывает в местах поворота русла. В крутом берегу закладываются заряды ВВ. При взрыве порода берега выбрасывается на дно реки, образуя достаточно плотную перемычку, способную выдержать напор воды.

В торфяной промышленности применение ВВ дает возможность значительно увеличивать производительность труда и добычу этого топлива. Оттаивание торфяной массы протекает очень медленно, что увеличивает сроки добычи торфа. Разработка же мерзлого торфа гидромониторами малопродуктивна. С помощью ВВ смерзшийся торф легко дробится на куски, которые оттаивают за 2–3 дня (вместо 2–2,5 месяцев).

В нефтяной промышленности ВВ проводят так называемое торпедирование нефтяных скважин, переставших давать нефть. На дне скважины подрывается заряд ВВ и под давлением образующихся продуктов взрыва нефть выталкивается вверх; скважина вновь начинает давать нефть.

ВВ широко применяются геологоразведкой для открытия новых месторождений нефти и других полезных ископаемых. С этой целью заряд помещается на небольшой глубине в земле; его взрыв вызывает на земле так называемые сейсмические

волны подобно тем, которые возникают при землетрясениях. Встречая на своем пути слои различных пород или жидкостей, волны отражаются от каждого из них по-разному. Отраженные волны, возвращающиеся на поверхность Земли, записываются чувствительными приборами. По характеру этих записей и судят о наличии в районе взрыва месторождения полезных ископаемых.

ВВ получили новое применение и в промышленности – клепка взрывом. Особое значение этот способ имеет в авиационной промышленности. С этой целью в цилиндрическом конце заклепки устраивается небольшой канал, в котором помещается маленький заряд специального ВВ. После того как заклепка вставлена в место склепывания, к головке ее прикладывают нагретый металлический стержень, который разогревает заклепку, и этим вызывается взрыв заряда. Цилиндрический конец заклепки расширяется, и заклепка оказывается прочно закрепленной.

Особое значение этот способ имеет для самолетостроения, так как при постройке самолетов устанавливается от 0,5 до 1 млн заклепок.

Взрывным способом быстро и безопасно осуществляется разрушение и валка каменных строений, которые требуется иногда сносить при реконструкции городов. Опыт таких работ показывает, что при правильном расчете и размещении зарядов никаких повреждений соседних зданий и разлета осколков не бывает.

Взрывным способом создают в короткие сроки каналы для орошения полей и осушки болот. Осушку болот можно производить также путем пробивания взрывом водонепроницаемого слоя, задерживающего сток грунтовых вод.

Интересно применение ВВ в борьбе с лесными пожарами. Быстрая прокладка широкой просеки с помощью взрыва лучше всего преграждает путь огню.

При сплаве леса ускоряют взрывным способом задержавшийся в верховьях реки ледоход. Теперь даже не верится, что раньше в таких случаях лед пилили вручную. С помощью ВВ расчищают ледяные заторы, а также очищают русло рек от камней, мешающих сплаву.

ВВ применяются в Арктике для преодоления ледяных полей, преграждающих путь судну, для дробления больших льдин при сжатии затертого во льдах корабля; подушка мелкого льда, образованная взрывами вокруг корпуса корабля, смягчает напор льда, делая его более равномерным и поэтому менее опасным для судна [1, с. 129].

В настоящее время в Республике Беларусь основными потребителями промышленных ВВ являются такие крупнейшие предприятия, как РУПП «Гранит», щебеночный завод «Глушевичи», ОАО «Доломит».

Новые и перспективные ВВ. Во всех развитых странах ведется разработка более эффективных ВВ. В настоящее время выбрано 4 основных направления по их синтезу и внедрению.

1. Разработка ВВ повышенной мощности для применения в кумулятивных и осколочных боеприпасах.

2. Разработка малочувствительных ВВ для применения в боеприпасах пониженной уязвимости.

3. Разработка термостойких ВВ.

4. Разработка ИВВ с пониженной чувствительностью к механическим воздействиям.

Несмотря на то, что в мире каждый год появляется по несколько новых химических соединений, пригодных для использования в качестве ВВ, лишь очень малая доля из них действительно перспективна для запуска в промышленное производство.

Дело в том, что с военной и промышленной точки зрения, ВВ и другие энергоемкие материалы это многотоннажный продукт, который должен производиться из доступного сырья по минимальной цене. При этом синтез должен включать, как можно меньшее количество стадий, чтобы выход продукта был максимальным. Иными словами, никому не нужно ВВ, которое на несколько процентов эффективнее, чем освоенные вещества, но по цене в 100 раз большей. Хотя с другой стороны компаниям-разработчикам выгодно выпускать на рынок дорогие ВВ, мотивируя их выпуск какими-либо более или менее обоснованными преимуществами, что несомненно подстегивает научно-технический прогресс.

Поиск ВВ с новыми свойствами идет не только по пути синтеза новых веществ, но и по пути модификации уже существующих, что обходится намного дешевле. Например, разработаны специальные методы кристаллизации, позволяющие получать гексоген и октоген с низкой чувствительностью к механическим воздействиям. Разрабатываются более дешевые технологии производства уже существующих ВВ. Особое внимание уделяется новым методам перекристаллизации и формированию энергоемких композитных материалов. В последние годы активно разрабатываются промышленные методы с использованием замкнутых аппаратов и «суперкритических жидкостей» типа жидкой двуокиси углерода. Вещество растворяют в жидкой двуокиси углерода под давлением, потом снижают давление или распыляют раствор вещества, которое затем кристаллизуется, а двуокись углерода возвращается обратно в цикл. Таким образом, удастся организовать высокопроизводительный замкнутый цикл и избежать использования огнеопасных органических растворителей.

Среди специалистов считается, что современная химия ВВ практически исчерпала свои возможности. При детонации конденсированных ВВ импульс давления передается через возбуждение колебательных степеней свободы в молекулах. Детонационная волна не может пройти расстояние порядка длины химической связи за время, меньшее периода одного колебания. Следовательно, исходя из расчетов, скорость детонации органических ВВ физически не может превысить порога в 11 км/с. А все рассуждения специалистов о создании сверхмощных ВВ со скоростями детонации 12–15 км/с не что иное, как попытка выудить дополнительные ассигнования на научные работы. К тому же известно, что с ростом мощности ВВ, в общем случае увеличивается его чувствительность к механическим воздействиям. При этом практическим пределом мощности можно считать гексанитрогексаазаизовюрцитан (HNIW или CL-20). Хотя существуют некоторые более мощные ВВ, чем CL-20 («АБ», динитродиазенофуросан), их практическое применение вызывает серьезные сомнения из-за опасности в обращении с ними.

Вообще спектр применяемых и осваиваемых ВВ в разных странах отличается в зависимости от технико-экономических возможностей и особенностей химической промышленности данной страны. Например, в США с 40–50-х годов XX в. активно осваивались и до сих пор осваиваются технологии, использующие в качестве сырья уксусный ангидрид, так как США обладают очень мощными и высокорентабельными установками по его производству и регенерации. Во Франции активно изучались нитропроизводные глиоксальуреида (DINGU и TENGU), так как Франция является крупнейшим производителем глиоксальуреида и расширение сырьевой базы казалось в то время целесообразным [45; 11, с. 26].

В настоящее время в Беларуси на базе РКП «ЦУАИБ» разработано новое ЭВВ – «Нитробел», предназначенное для ведения взрывных работ на земной поверхности при отбойке горных пород с коэффициентом крепости до 20 по шкале М. М. Протодяконова в скважинах любой обводненности, во всех климатических районах в диапазоне температур окружающей среды от –40 до +50 °С. Изготовление эмульсионного промышленного ВВ производится на месте его применения при помощи смесительно-зарядной машины (СЗМ) при зарядании скважин.

Так же проведена разработка и испытание нового промышленного ВВ-эмульсионного патрона «ЗЭПт», чувствительного к первичным средствам инициирования. «ЗЭПт» предназначены для применения при взрывных работах на земной поверхности и в подземных условиях при любой степени обводненности, во всех климатических районах в диапазоне температур окружающей среды от –30 до +50 °С, за исключением шахт и рудников опасных по газу и пыли. «ЗЭПт» применяются в качестве индивидуальных зарядов, промежуточных детонаторов при инициировании скважинных зарядов промышленных ВВ для ведения взрывных работ на земной поверхности и в подземных условиях. Заряд представляет собой полиэтиленовый рукав, заполненный эмульсией-П, sensibilizированной микросферами (см. цв. вклейку, фото 27).

РКП «ЦУАСП» разработано новое промышленное ВВ – «Альгетол-35Б», представляющее собой водостойкое гранули-

рованное промышленное ВВ, состоящее из литевой смеси тротила, флегматизированного гексогена и алюминия. Данное ВВ предназначено для взрывных работ на земной поверхности при ручном зарядании скважин и полостей любой степени обводненности во всех климатических районах. Водостойкость обеспечивается нерастворимостью компонентов, входящих в рецептуру альгетолов. Цифра «35» обозначает содержание гексогена в данной марке альгетола.

Цель такой работы заключается не только в увеличении объемов выпускаемой продукции, но также и в расширении ее ассортимента, улучшении качественных показателей, снижении удельной энергоемкости производства, повышении экологической чистоты технологии и внедрении модернизированных производственных процессов. В связи с широким и все более увеличивающимся применением ВВ, а следовательно, большим их расходом, одной из задач взрывной технологии является разработка и внедрение новых видов промышленных ВВ с потребительскими свойствами, соответствующими лучшим мировым аналогам, рациональных способов их применения и удешевления.

Р а з д е л VIII

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ СОСТАВОВ

Производство ЭВВ. Модульный завод по производству эмульсии состоит из трех основных модулей (А, Б и В), смонтированных в контейнеры. Все контейнеры обогреваемые, с алюминиевым полом, оборудованы освещением, дверьми для персонала, вентиляционными каналами, системой пожаротушения.

Перечень модулей оборудования:

Контейнер (А): приготовление топливной фазы и парогенератор/воздушный компрессор);

Контейнер (Б): эмульсионный модуль, пульт управления оператора и экспресс химлаборатория;

Контейнер (В): модуль хранения заводского (первичного) раствора аммиачной селитры, модуль растворения, модуль хранения технологического (готового) раствора аммиачной селитры;

Модуль очистки воды;

Модуль для хранения нефтепродуктов;

Модуль разогрева эмульгатора;

Модуль подготовки газогенерирующей добавки;

Данное технологическое оборудование – установка смешительная эмульсионная передвижная (СЭМП). На установке СЭМП используется современная конструкция эмульсионного миксера. Конструкция главного миксера является элементом «ноу-хау». Давление в миксере всегда является избыточным по отношению к атмосферному. Это обеспечивает безопасность, благодаря отсутствию подсоса воздуха и несанкционированной сенсibilизации эмульсии.

После изготовления эмульсия постоянно содержится под давлением в трубах, где проникновение в нее сенсibilизиру-

шего воздуха также невозможно. Диаметр труб намного меньше критического диаметра эмульсии, что делает передачу детонации по трубам невозможной. Кроме того, производственная линия оборудована разрывными дисками и гибкими соединениями на случай передачи детонации.

Особые элементы безопасности, интегрированные в производственный процесс: в производственном процессе для формовки и перемещения эмульсии используется безопасный миксер с противодавлением. До окончательного формирования эмульсионной матрицы не требуется никакой дополнительной прокачки или рециркуляции. Низкое номинальное рабочее давление.

Современные элементы управления процессом обеспечивают безопасность путем отключения всего технологического процесса в случае отклонения от заданных параметров.

Компьютеризированное управление технологическим процессом состоит из операторского интерфейса на русском языке. Данный интерфейс позволяет оператору наблюдать на мониторе компьютера за процессом и полностью его контролировать. Многочисленные страницы-файлы содержат информацию по работе технологического оборудования завода. Дополнительно будет установлено видеонаблюдение на основных технологических узлах. Данные видеонаблюдения выводятся на второй монитор оператора.

Автоматизированная контрольная система представляет собой систему, работающую без вмешательства человека. Все технологические параметры процесса контролируются, при отклонении параметров от заданных значений, технологический процесс автоматически останавливается.

Использование главного миксера с избыточным давлением позволяет получать готовую эмульсионную матрицу с размером частиц, не превышающим 5–10 микрон. Такой размер частиц обеспечивает высокую площадь контакта окислителя и горючего и, как следствие, высокие детонационные характеристики и стабильность ЭВВ.

Производительность 10 000 т ЭВВ в год не потребует перекачки эмульсионной матрицы в промежуточные емкости для

хранения. Готовая эмульсионная матрица будет загружаться в смесительно-зарядную машину (СЗМ) по трубопроводу продуктовым насосом, что позволит избежать дополнительной перекачки, которая негативно влияет на сохранность и качество микрочастиц матрицы.

Эмульсионная матрица «Нитронит» имеет кислородный баланс близкий к нулевому, т. е. являются сбалансированной, что обеспечивает минимальный выброс вредных газов и максимально возможный выход энергии. Эти два основных компонента могут быть механически смешаны в любой пропорции, в зависимости от требований по водостойкости.

ЭВВ «Нитрониты» имеют широкий диапазон водостойкости в зависимости от условий обводненности во взрывных скважинах – от нескольких часов до 30 сут.

Добавки для ЭВВ: эмульгаторы SMO и PIBSA. Исторически, сорбитан моноолеат (SMO) получил широкое использование как эмульгатор в производстве эмульсионных взрывчатых веществ. Это химическое вещество относительно недорого и легко формирует эмульсию. Однако, поскольку возникла необходимость в улучшенных характеристиках эмульгатора, использование эмульгатора на полимерной основе, или PIBSA (янтарный ангидрид полиизобутилена), становится все более широким.

В связи с некоторыми фундаментальными отличиями в смежных характеристиках этих двух типов эмульгаторов очень часто возникают трудности при переходе от SMO к PIBSA и получении эмульсии нужного качества. Ниже описываются некоторые отличия этих двух технологий и что они значат для ключевых характеристик эмульсии и конечного продукта.

Химические и физические отличия. Перед обсуждением воздействия различных технологий эмульгатора на характеристики эмульсии очень важно иметь представление о химических и физических отличиях этих продуктов. На рис. 11 приведено графическое представление молекулы PIBSA и SMO.

При рассмотрении химической структуры, первое, что очевидно, молекула PIBSA гораздо больше молекулы SMO. Другое отличие, что SMO является неионным эмульгатором, тогда как

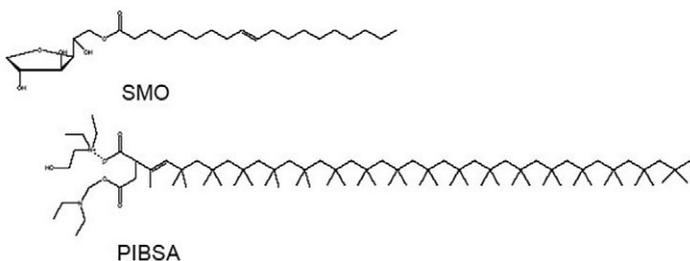


Рис. 11. Молекулы PIBSA и SMO

молекула PIBSA – анионная (из-за избытка амина). Оба этих фактора ведут к существенным отличиям в характеристиках эмульгаторов. И наконец, молекула PIBSA имеет гораздо большую степень разветвления «хвоста», тогда как молекула SMO в основном линейная с одним ответвлением для двойной связи.

Воздействие на образование эмульсии и характеристики.

Зная основные физические и химические различия между этими двумя технологиями, сейчас проще понять, почему они по-разному действуют при производстве ЭВВ.

Первая проблема, часто возникающая при переходе с эмульгатора SMO на PIBSA – затрудненность формирования эмульсии. Это связано с тем, что в процессе производства нового эмульгатора не проводится переналадка оборудования. Из-за больших размеров молекул PIBSA медленнее мигрирует в капли окислителя.

Что это значит для производителя ЭВВ? Первое и главное – для производства эмульсии из эмульгатора, основанного на PIBSA, требуется больших затрат энергии в производственном процессе. В технологическом оборудовании должны быть произведены следующие основные модификации (специфические изменения зависят от характеристик оборудования, но общая концепция – универсальная):

- 1) увеличение скорости миксера;
- 2) увеличение времени нахождения продукта в камере миксера.

По возможности, первый способ предпочтительнее, поскольку не затрагивает продуктивность производственного оборудования.

Вторая проблема – размер капель и вязкость эмульсий на основе SMO и PIBSA отличаются. Даже при использовании дополнительной энергии, размер капель эмульсии, основанной на PIBSA, составляет порядка 3–4 мкм, тогда как размер капель эмульсии, основанной на SMO – порядка 1–2 мкм. Таким образом, немногим больший размер капель ведет к немного меньшей вязкости эмульсии.

Интуитивно можно подумать, что эти два отличия могут негативно повлиять на качество конечного продукта. Однако размер имеет значение, и более длинный хвост молекулы PIBSA в сочетании с большей степенью ветвления приводит к большей стабильности и лучшему качеству эмульсии.

Дистанция между каплями на рис. 12 показана стрелками – это ключевой параметр стабильности эмульсии. Дистанция обычно определяется длиной хвоста молекулы эмульгатора (примерно в 2 раза больше длины хвоста). Поскольку хвост молекулы PIBSA в два раза длиннее, то расстояние между каплями в четыре раза больше. Также ветвление хвоста молекулы PIBSA по сравнению с линейным хвостом SMO приводит к большему расстоянию между каплями. И наконец, ионная природа эмульгатора PIBSA приводит к более прочному закреплению в окислителе, что еще больше увеличивает стабильность эмульсии.

Все вышеуказанные причины приводят к преимуществу, указанному на рис. 13:

В связи с этими отличиями в свойствах при переходе с эмульгатора SMO на PIBSA необходимо изменить значение таких параметров, как размер капель и вязкость. Размер капель необходимо увеличивать до получения нужных характеристик продукта. Вязкость продукта может быть повышена применением топливной фазы большей вязкости (минерального масла или смесей топлива вместо просто топлива).

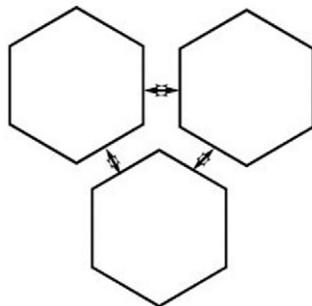


Рис. 12. Схематическая структура эмульсии

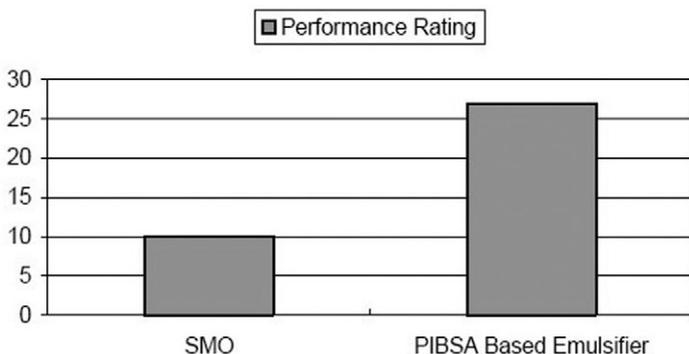


Рис. 13. Соотношение характеристик SMO и PIBSA

Итак, применительно к эмульгаторам, используемым в производстве ЭВВ, размер имеет значение. Большой размер молекул эмульгатора, основанного на PIBSA, при переходе с SMO приводит к изменениям физических характеристик ЭВВ. Эти изменения вопреки традиционному толкованию дают возможность получать более стабильный конечный продукт высокого качества. Причина улучшения характеристик лежит в химических и физических отличиях двух технологий. Для получения стабильной эмульсии хорошего качества требуется изменение характеристик производственного процесса.

Например, компания «Лубризол» предлагает широкий спектр концентратов эмульгатора для использования в производстве взрывчатых веществ от обычных наливных ВВ до перекачиваемых матриц с высокой стабильностью и пакетированных ВВ с длительным сроком хранения. Список, приведенный ниже, представляет некоторые из наиболее популярных эмульгаторов:

1. **Lubrizol 2717W.** Эмульгатор с отличными характеристиками для наливных и пакетированных ВВ. Хорошие характеристики при применении в формулах, содержащих нитрат кальция.

2. **Lubrizol 2721.** Хороший эмульгатор для обычного использования в наливных и пакетированных ВВ.

3. **Lubrizol 2724.** Хороший эмульгатор для обычного применения в наливных и пакетированных ВВ. Рекомендуется для ис-

пользования в формулах, содержащих микросферы. Хорошо показал себя для применения в формулах, требующих многократного перекачивания.

4. **Lubrizol 2725.** Базовый эмульгатор для наливных ВВ, используемых в сложных условиях взрывания.

5. **Lubrizol 2728.** Эмульгатор с отличными характеристиками для наливных и пакетированных ВВ. Рекомендуется для применения в формулах, содержащих нитрат кальция.

6. **Lubrizol 2729.** Эмульгатор с отличными характеристиками для наливных и пакетированных ВВ. Рекомендуется для применения в формулах, содержащих нитрат кальция.

7. **Lubrizol 2735.** Эмульгатор с отличными характеристиками для наливных и пакетированных ВВ. Рекомендуется для применения с парафином, аммиачной селитрой, системами газообразования для низких температур, дизельным топливом и минеральным маслом с высоким содержанием серы.

8. **Lubrizol 2739.** Базовый эмульгатор для наливных и пакетированных ВВ [7, 8, 12].

О безопасности при обращении с аммиачной селитрой. Аммиачная селитра один из основных компонентов в большинстве промышленных эмульсионных ВВ, также она широко используется и в качестве удобрения. В последние годы участились несчастные случаи при обращении с аммиачной селитрой. Кроме того, ее использовали в преступных целях для изготовления взрывных устройств. Поэтому власти и законодательные органы во всем мире уделяют применению аммиачной селитры особое внимание. Исторически считалось, что этот и другие продукты на основе нитратов, которые используются во всем мире, являются безопасными. Однако в последнее время произошли большие изменения в ответственности за поддержание стандартов безопасности в промышленности, чтобы предотвратить неправильное применение исходного сырья и ВВ.

В течение последних лет аммиачная селитра привлекала большое внимание со стороны властей многих стран мира. Это вызвано различными несчастными случаями и неправильным обращением с ней. В прошлом, в основном, внимание уделялось технике безопасности при производстве, транспортировке, хра-

нении и использовании аммиачной селитры. Сегодня вопросы безопасности становятся все более важными и власти концентрируют внимание на методах и способах предотвращения неправильного применения аммиачной селитры и других легко доступных продуктов с потенциалом высокого риска.

В мире произошли значительные изменения по требованиям безопасности при транспортировке, хранении и применении не только аммиачной селитры, а также всех энергетических материалов, применяемых во взрывных целях.

В табл. 28 приведены некоторые несчастные случаи, которые произошли за последние годы при обращении с аммиачной селитрой. Кроме этого зарегистрированы многочисленные пожары в зданиях с аммиачной селитрой, однако такие случаи – «нормальные инциденты» не берутся во внимание, так как не произошло детонации.

Таблица 28. Основные инциденты, связанные с аммиачной селитрой в течение 1950–2000 гг.

Дата/место/продукт	Описание
1954 г. Красное море Сельскохозяйственная АС	Морская транспортировка. Пожар на корабле по причине: АС+ бумага + органика/медь. Взрыв на корабле. Команда покинула корабль. Корабль затонул. Никто не пострадал
1960 г., г. Траквуд, США Сельскохозяйственная АС	Железнодорожная перевозка. Вагоны сошли с рельс и загорелись. В вагонах было: углеводород, концентрированная азотная кислота и АС. Произошел взрыв. Никто не пострадал
1963 г., г. Траквуд, США Сельскохозяйственная АС	Железнодорожная перевозка. Вагоны сошли с рельс, пролилось масло, и случилось возгорание. Взрыв не произошел. Никто не пострадал
1966 г. США Сельскохозяйственная АС	Складские помещения. На складе хранились: АС, пестициды и ГСМ. Произошел пожар. Дым мешал действию пожарных. Произошел взрыв. Никто не пострадал
1967 г. США Сельскохозяйственная АС	Железнодорожная перевозка. 50 т АС в бумажных мешках в вагонах с внутренней деревянной обшивкой. Произошел пожар, его не тушили. Пламя само погасло. Никто не пострадал

Дата/место/продукт	Описание
1972 г. Франция Раствор АС	Железнодорожная перевозка. Цистерна с раствором АС. Произошло повреждение внутренней тепловой обшивки. Последовал взрыв, выплеснулся горячий раствор АС, 2 человека получили смертельные ожоги
1973 г. США Сельскохозяйственная АС	Складские помещения. Загорелись леса в складском помещении. Огонь перебрался на погрузчик, который вез бочку с топливом. Огонь усилился. Возникли трудности с тушением пожара. Произошел взрыв нескольких тонн АС. Остальная куча в 14 000 т осталась нетронутой. Никто не пострадал
1978 г. США Сельскохозяйственная АС	Складские помещения. Загорелось 500 т АС в складском помещении. Склад сгорел полностью. Взрыва не было. Никто не пострадал
1982 г. Великобритания Сельскохозяйственная АС	Складские помещения. Загорелась мебель в подсобном помещении возле склада АС. Началось выделение токсичных газов. Сработала аварийная сигнализация. Началась эвакуация людей, примерно 1000 человек. Взрыва не последовало. АС в складе сгорела полностью. Никто не пострадал
1998 г. г. Кентуки США Сельскохозяйственная АС	Складские помещения. Товарный склад с 4000 т АС. Произошел пожар в подвале. Последовало два взрыва, предположительно два баллона с пропановым газом. Эвакуировано 2500 человек. Склад сгорел полностью. Никто не пострадал
1997 г. Бразилия Техническая АС	Дорожная транспортировка. Пожар на грузовике, затем взрыв. Несколько человек получили смертельные ранения
2000г. Флорида, США Сельскохозяйственная АС	Дорожная транспортировка. Столкновение самосвала с АС с автомобильным топливозаправщиком. Водитель грузовика погиб. Взрыва не было. Пожар не тушили, позволили огню догореть

Из приведенных случаев, которые произошли в последнее время, видно, что взрывы делятся на две группы. К первой группе относятся взрывы, которые произошли вследствие удара с последующей передачей детонации. Инициирование взрыва происходит вследствие выброса взрывной массы в исходный материал, или детонации какого-то слоя (оболочки), попавшего в исходную массу, или детонации взрывной смеси в контакте с АС. Хорошо известные примеры этого типа включают случаи в городах Криевалд, Морган, Опау, Тессендерлу и Траквуд.

Ко второй группе относятся взрывы, которые произошли после возникновения пожара, который распространился или на аммиачную селитру (Техас, Сити, Брест, Окдал и т. д.), или на аммиачную селитру, смешавшуюся с горючим веществом в процессе пожара (Репауно, Черок и др.). Касательно этой группы следует подчеркнуть, что известны многочисленные случаи пожара аммиачной селитры, которая была загрязнена, но это не привело к взрыву. Из примеров видно, что существуют определенные граничные условия для перехода пожара во взрыв.

Хотя пожары и взрывы с аммиачной селитрой происходили и в прошлом, меры безопасности (и представление) о данном продукте остаются на прежнем уровне. Случай, происшедший во Франции в г. Тулуза 21 сентября 2001 г., заставил пересмотреть старые представления. Взрыв произошел на складе, в котором хранилось 200–300 т некондиционной аммиачной селитры (как сельскохозяйственная, так и техническая). При взрыве погибли 29 человек и почти 2500 получили ранения, из них 30 – серьезные. Силой взрыва было разрушен завод и серьезно повреждены близ расположенные здания. Что привело к взрыву аммиачной селитры – до сих пор полностью не понятно.

Пожароопасность. Как известно, аммиачная селитра сама по себе не горит, но в контакте с другими горючими материалами увеличивает пожароопасность. Из-за окислительных свойств она способствует инициированию пожара и усиливает его в горючих материалах. Из-за этого обычно считается, что потенци-

ал пожарного риска выше, чем потенциал риска взрыва самой аммиачной селитры. Аммиачная селитра может поддерживать и усиливать огонь, даже в отсутствии доступа воздуха. При пожаре с горением аммиачной селитры будет выделяться окись азота и нашатырь. До недавнего времени считалось, что вероятность взрыва аммиачной селитры при горении очень мала. Однако недавние несчастные случаи заставляют пересмотреть эти взгляды. В табл. 29 приведен краткий обзор таких случаев.

Таблица 29. Несчастные случаи с возгоранием и последующим взрывом аммиачной селитры в период 2003–2004 гг.

Дата/место	Описание
02 октября 2003 станция Romain г. en Jarez, France	Взрыв в амбаре фермера. Загорелось сено в амбаре. В нем находилось примерно 5 т сельскохозяйственной АС и около 3000 шт. пластиковых (полиэтиленовых) ящиков в куче. Примерно 1 ч и 15 мин огонь горел, и никто его не замечал. Когда огонь заметили, люди начали собираться. В это время произошел взрыв. Пострадало 26 человек, включая 18 фермеров. Взрывом повредило или разрушило 82 близлежащих дома. Обломки склада разбросало в радиусе примерно 650 м
18 февраля 2004 г. Иран	Взрыв ж/д состава. Состав состоял из 51 вагона, из которых 7 были загружены 420 т сельскохозяйственной АС, 7 вагонов с 390 т мочевины в мешках, 17 вагонов с измельченной серой, загруженной насыпью, 10 вагонов с бензином и ДТ и 10 вагонов с хлопком – волокном. Состав сошел с рельс. Вначале загорелась сера при контакте с бензином, а после этого последовал взрыв АС. Погибли 300 человек. Власти обвинили 9 ж/д служащих в халатности: не сработали аварийные тормоза, не было ж/д башмаков
09 марта 2004 г. г. Каstellон Испания	Взрыв грузовика. Грузовик с 25 т сельскохозяйственной АС (АС была насыпана прямо в металлический кузов) столкнулся с легковой машиной. Он перевернулся. Пролетело топливо и попало на АС. Начался пожар. Через 20–30 мин произошел взрыв. Двое погибли включая водителя грузовика и 5 получили ранения. Обломки грузовика разбросало на расстояние 200 м.

Дата/место	Описание
24 мая 2004 г. г. Майхаилести Румыния	Взрыв грузовика. Грузовик с 23 т сельскохозяйственной АС в мешках занесло юзом, грузовик съехал с дороги и перевернулся. Загорелась кабина. Пожар продолжался примерно 1 ч. За это время собрались люди, а затем приехала пожарная команда. Пожарники только начали разматывать шланги, как прогремел взрыв. Погибло 20 человек. Причина: ни водитель, ни сопровождающий не были уполномочены перевозить такой груз. Пожарники не были уведомлены о перевозке опасного груза. Людей не эвакуировали, не была отмечена опасная зона.
22 апреля 2004 г. Северная Корея	Взрыв ж/д вагона. Автомобильный заправщик с маслом столкнулся с двумя ж/д вагонами, груженными АС. При ударе образовалась электрическая искра, которая вызвала пожар, а затем произошел взрыв. Погиб 161 человек и 1300 раненых. По анализу воронки было высказано предположение, что в вагонах находился военный груз. Однако официальные власти отрицают это

Все приведенные выше несчастные случаи имеют одно общее сходство: вначале происходит загрязнение какого-либо вида, затем пожар в течение определенного времени и, наконец, взрыв. Итак можно сделать следующие выводы:

при определенных обстоятельствах аммиачная селитра может детонировать, как, например, при пожаре или сильном ударе; риск намного выше для аммиачной селитры с низкой плотностью и обогащенной;

взрывы происходили, когда аммиачная селитра смешивалась с органическими веществами или когда нагревалась в замкнутом пространстве, что вызывало рост давления;

очень мало несчастных случаев происходило со взрывом аммиачной селитры сельскохозяйственного класса с высокой плотностью, которая соответствовала качеству Европейского стандарта;

не зарегистрировано случаев взрыва удобрений на основе аммиачной селитры, которые содержали ее менее 80 %.

Меры безопасности. Хорошо известно, что аммиачная селитра, кальциевая селитра и мочевины в смеси с другими компо-

нентами, такими как масло, сахар и др., имеют свойство детонировать. Такие смеси использовали в террористических актах во всем мире, например: в Великобритании, Ирландии, США, Африке, Среднем Востоке, Турции.

В 90-е годы XX в. такое исходное сырье применяли в автомобилях – бомбах в Великобритании, а особенно в Лондоне. В течение этого периода происходили многочисленные попытки террористических актов, подготовка которых была вовремя обнаружена, и обезврежены. Последний, хорошо известный случай, произошел в Лондоне в апреле 2004 г. Тогда украли мешок удобрения массой 50 кг. Мешок обнаружили, велось наблюдение в течение нескольких недель, в результате чего последовали многочисленные аресты.

Одна из основных причин использования аммиачной селитры не по назначению лежит в ее доступности. Класс реальных ВВ «UN Class 1» хорошо контролируется и почти невозможно добыть большое количество ВВ для незаконных действий. Меньше 2 % терактов, взрывов бомб в США осуществляется с применением промышленных, высоко энергетических ВВ. Поэтому аммиачная селитра часто является предпочтительным компонентом для осуществления незаконных взрывов в большом масштабе.

Распределение аммиачной селитры технического назначения осуществляется по принципу «закрытая система» т. е. обычно от производителя к пользователю данного продукта и поэтому при хорошем контроле защищена от краж. Селитра сельскохозяйственного назначения по пути к фермеру проходит широкую дистрибуторскую сеть и ее можно легко похитить. Существуют текущие сводные правила и промышленные законодательные инициативы с целью улучшить контроль распределения и хранения такого вида сельскохозяйственных удобрений. Если аммиачную селитру применять для незаконных целей, то ее следует переработать, чтобы получить соответствующие изменения в зависимости от свойств исходного материала. Качество удобрения такого класса, сделанного для европейского рынка, намного выше, исходя из специальных соображений по характеристикам безопасности данного материала.

Маркировка и упаковка. Применение не по назначению аммиачной селитры и ВВ всегда ассоциируется с вопросом, что можно сделать для предотвращения таких случаев. Обычно возникают призывы с требованием маркировать и паковать коммерческие ВВ, которые криминалы выбирают для своих импровизированных взрывных устройств, так чтобы невозможно было использовать высокоэнергетические ВВ в таких взрывных устройствах.

Маркировку и упаковку можно разбить на два типа исходя из технологии маркирования:

маркировка с целью раскрытия преступления (детектная маркировка) – используется с целью обнаружения ВВ до детонации;

идентификационная маркировка – предназначена для определения пути прохождения ВВ до пункта назначения.

Большинство стран требуют детекторного реагента для пластиковых ВВ. Без детекторных реагентов трудно определить пластиковые ВВ. В качестве таких реагентов используются органические вещества, добавление которых приводит к переводу аммиачной селитры в класс 1.

Технология детекторной маркировки сегодня успешно применяется для пластиковых ВВ, однако еще нужно разработать и внедрить более совершенные технические методы идентификации, т. е. по схеме «взрыв – обнаружение и опознание ВВ».

Технология идентификационной маркировки всецело базируется на «Микроарляке», который представляет собой чип, выполненный из многослойного пластика и металла. Теоретически такие чипы можно размещать в аммиачной селитре и ВВ с надеждой, что следователи смогут найти их во взрывных устройствах криминалов, найти их после взрыва, проследить прохождение ВВ от производителя до бомбы.

Внедрение маркировочных чипов во ВВ вызывает одну проблему. Еще предстоит изучить влияние таких чипов на окружающую среду. По оценке специалистов, в США ежегодно расходуется примерно 1000 т таких пластико-металлических чипов. Фактически, добавление таких частиц в аммиачную селитру, которую используют для производства ВВ химическим спосо-

бом и являющуюся основным ингредиентом в сельскохозяйственном удобрении, приводит к рассеиванию такой песчаной фрагментации в окружающей среде.

Маркировка криминальной бомбы не отличается от маркировки ВВ, предназначенных для законного применения в промышленности: производство строительных материалов, бетона, щебня, строительства дорог и т. д. Разработка и внедрение многоцелевых способов маркировки ВВ сильно тормозятся из-за отсутствия научных исследований, а также различных судебных разбирательств, отсутствия разработок в области создания программного обеспечения.

Таким образом, на сегодняшний день пока еще не разработали совершенных систем маркирования ВВ, а существующие системы имеют ограниченное применение. Дополнительно можно сказать, что в настоящее время продолжается работа по данной теме в направлении «sniffers» (сниферы) – т. е. обнаружение аммиачной селитры по запаху. Однако пока безуспешно (А. С. Стеценко, Е. К. Быков, ЗАО «Интервзрывпром»).

Свойства эмульсионных взрывчатых веществ. Эмульсия – однородная смесь двух взаимнонерастворяющихся жидкостей, причем одна жидкая фаза диспергирована в другой. ЭВВ является дисперсией водного раствора окислителя в среде горючего, т. е. эмульсия типа «вода в масле». Именно эта уникальная структура и высокое соотношение окислителя к топливу, которые дают ЭВВ их особые свойства.

«Масло» или горючая фаза является непрерывной или внешней, потому что она окружает и покрывает капли окислителя (рис. 14). Горючая фаза, как правило, представляет собой масло или воск, или их комбинацию. Дизельное топливо (ДТ) является общим для многих ЭВВ, также некоторые другие виды топлива применяются в патронированных ЭВВ. «Вода» или фаза окислителя называется дискретной или внутренней фазой, поскольку микроскопически мелкие капли находятся отдельно друг от друга и окружены непрерывной фазой горючего. Окислитель всегда содержит нитрат аммония. Другие соли, такие как нитрат натрия, нитрат кальция и аммония могут быть также использо-

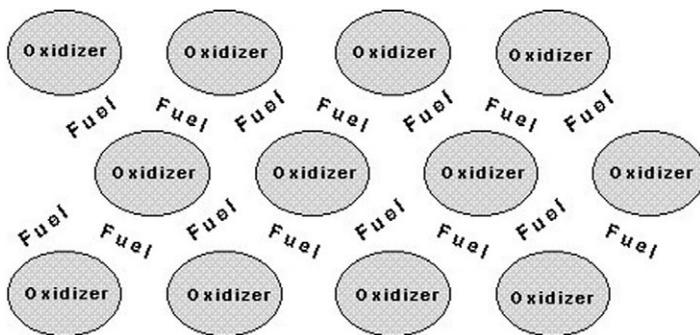


Рис. 14. Окислитель, окруженный горючим

ваны. Окислитель диспергируют в топливо для образования стабильной эмульсии под действием поверхностно-активных веществ (эмульгатор). Например, масло и уксус удерживаются вместе с яичными желтками для формирования эмульсии, известной, как майонез. Есть много различных эмульгаторов, и выбрать, какой из них использовать, зависит от конкретных требований к продукции. Эмульсии, образованные из горючей фазы, фазы окислителя и эмульгатора, перед добавлением наполнителя, алюминия, или твердой аммиачной селитры, называют эмульсионной матрицей, которая является основой для производства продукции рис. 15.

Структура. Из-за необходимости иметь близкий к нулевому кислородный баланс, нужно чтобы объем окислителя был на-

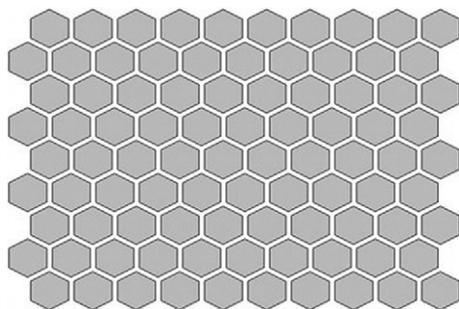


Рис. 15. Эмульсионная матрица

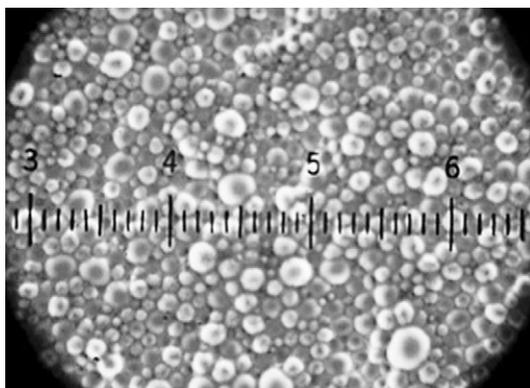


Рис. 16. Эмульсия «вода в масле» под микроскопом. Между каждой цифрой – 50 мк. Каждое малое деление – 5 мк

много больше объема горючей фазы (примерно 9:1). Из-за того, что относительный объем топлива намного меньше, чем окислителя, он должен быть распространен очень тонким слоем, чтобы покрыть все капли окислителя. Размер капель очень мал, и благодаря отношению окислитель/горючее, капли имеют форму многогранников. Обычно их размер составляет 0,2–10 мк в диаметре или от 1/40 до 1/2000 размера зерна соли (рис. 16).

Реологические свойства или вязкость эмульсии контролируется природой горючей фазы и размером капель. Состав (воск, масло, эмульгатор) горючей фазы оказывает наибольшее влияние на конечную вязкость продукта. Низкая вязкость горючей фазы (как у ДТ) может быть использована для производства перекачиваемой эмульсии. Воск и высоковязкое масло используются для производства толстых патронированных продуктов. Размер капель зависит от времени перемешивания эмульсии. Чем быстрее и больше времени перемешивают, тем меньше размер капель и распределение по размерам.

Энергия взрыва. Добавление алюминия или аммиачной селитры + ДТ к ЭВВ может быть использовано для увеличения его энергии (кал/г). Алюминий не существенно увеличит чувствительность ЭВВ, потому может быть применен более грубый, но

менее дорогостоящий алюминий вместо дорогой алюминиевой пудры. Теоретически добавление 5 % алюминия увеличит энергию ЭВВ на 25–35 %, а 10 % алюминия – на 40–60 %. Добавление более 10 % алюминия может быть не эффективно.

Аммиачная селитра + ДТ, добавленная к ЭВВ, увеличит его энергию на 5–10 %. Это также имеет дополнительное преимущество в выделении газообразных продуктов взрыва. Увеличение объема газа, как правило, приводит к лучшему выбросу горных пород во время взрывных работ.

Отношение количества выделяемой энергии к расчетной термохимической энергии является мерой эффективности ВВ. Водогелевые ВВ в продуктах взрыва, как правило, содержат жидкую и твердую фазу. Они сделаны при повышенных температурах, когда продукт охлаждается, начинают формироваться кристаллы соли окислителя. Чем холоднее становится продукт и чем дольше он хранится, тем больше проявляется тенденция к формированию кристаллов, из-за этого продукт становится менее эффективным. Компоненты не тесно связаны друг с другом, потому что относительно большое количество окислителя окружает относительно небольшое количество горючего. А в ЭВВ увеличение близости между горючим и окислителем и очень мелкие капли приводят к повышению эффективности и улучшению детонационных характеристик этих продуктов. Эмульсии – двухфазные системы. Для того чтобы иметь соответствующий баланс кислорода, лишь очень небольшое количество топлива можно распространить на каждой капли окислителя, что приводит к высокой однородности смеси. Есть очень много капель окислителя и они настолько малы, что соли окислителя, независимо от температуры, не будут легко кристаллизоваться и расти. Так как соли окислителя находятся в растворе, детонационные свойства ЭВВ остаются неизменными в течение длительного периода времени и в широком диапазоне температур.

Безопасность. Эмульсии не взрываются во время испытаний, которые являются стандартными для ВВ в течение многих лет. При помещении на металлическую пластину эмульсии не в состоянии взорваться под воздействием пули. Другие испыта-

ния на удар показывают, что эмульсии имеют большую устойчивость к инициации ударом, чем любые водогелевые ВВ или динамиты. Как правило, ЭВВ не взрывается во время горения, но нет никакой гарантии этого, что этого не произойдет если продукт загрязнен инородными материалами (ржавчина, детонатор или алюминиевая пудра). При перекачивании эмульсий необходимо соблюдать осторожность, чтобы трение не подняло температуру эмульсии до точки распада нитрат аммония или других ингредиентов. Если это случится, может произойти взрыв. Опасность сохраняется и при перекачивании сенсibilизированной эмульсии. Хотя тесты показали, что эмульсии предлагают большую степень безопасности, но взрыв возможен, если они будут подвергнуты суровым условиям.

Скорость детонации. Это установленный факт, что чем меньше размер частиц компонентов ВВ, тем выше скорость детонации (D). Как только размер капель эмульсии достаточно мал, D ЭВВ очень высока (близка к теоретической). D несколько снижается с уменьшением диаметра заряда или при добавлении твердых веществ, таких как алюминий, но D в целом остается относительно высокой.

Давление взрыва. Если эмульсии имеют высокую скорость детонации и хорошую плотность, они также имеют относительно высокое давление детонации.

Чувствительность. Поскольку эмульсии имеют частицы очень мелких размеров и представляют собой чрезвычайно однородную смесь горючего и окислителя, добавление веществ, снижающих плотность, может сделать их взрывчатыми. Не стоит использовать ВВ или химические сенсibilизаторы. Плотность может быть уменьшена с помощью введения газов, химической аэрацией, путем добавления перлита, вспученного пластика, полых стеклянных или фенольных микросфер, или даже амиачно-селитренных комков. Чувствительность эмульсии должна быть такой, чтобы детонировать от КД № 8 (или меньше). Эмульсии чувствительны в широком диапазоне температур, и они также сохраняют чувствительность в широком диапазоне диаметров 22 мм и выше для «взрывчатого вещества бризантного типа

E1.1D» и 38 мм и выше для «Взрывчатого вещества тип E1.5D». Различные концентрации сенсibilизаторов используются по разным причинам, но стеклянные микросферы являются наиболее распространенными, хотя химическая аэрация становится также популярной. Поскольку некоторые стеклянные микросферы выдерживают высокое давление, они особенно уместны при сенсibilизации эмульсионных продуктов для использования в глубоких или близко расположенных скважинах, где высокое гидростатическое и ударное давление. Как правило, чем ниже плотность взрывной эмульсии и чем ниже содержание в ней воды, тем чувствительнее она становится.

Водустойчивость. «Вода–в–масле» – непрерывная, не смешивающаяся с водой масляная и очень водостойкая фаза. Водостойкость не зависит от целостности упаковки. Эмульсии являются хорошим выбором для обводненных скважин, потому что они будут успешно взрываться после контакта с водой в течение нескольких недель или даже месяцев (рис. 16) [47–57].

Современное состояние рынка ЭВВ. Пионерами в освоении промышленной технологии изготовления и применения ЭВВ являются фирмы США, Швеции, Испании, Германии, Франции. В этих и ряде других стран все большее предпочтение отдают именно этому типу ВВ и особенно «тяжелым» эмульси-



Рис. 17. Разрушение породы взрывом ЭВВ

ям. Объемы их потребления, по оценкам зарубежных специалистов, значительно возросли. Это объясняется рядом преимуществ, и, прежде всего, их низкой стоимостью, а также водостойчивостью, нетоксичностью компонентов и самих веществ, экологической чистотой.

ЭВВ уже давно широко используются и в странах СНГ, в том числе в Российской Федерации, Узбекистане, Казахстане, Киргизии. Например, в России ЭВВ при взрывных работах применяют ОАО «Коршуновский горно-обогатительный комбинат», РАО «Норильский никель», Оленегорский, Айхальский, Лебединский, Ковдорский и Качканарский ГОКи, ОАО «Карельский окатыш», а также на угольных разрезах Кемеровской области и серебро-золоторудных приисках Магадана, ОАО «Ураласбест»; в Узбекистане – Новойский и Алмалыкский горно-металлургические комбинаты, в Казахстане – Соколово-Сорбайский ГОК, в Киргизии – рудник «Кумтор» и т. д.

Рынок ЭВВ в Украине. Все большую популярность при проведении взрывных работ завоевывают экологически чистые ВВ. Наблюдается тенденция к увеличению объемов производства таких ВВ у наших соседей (Россия) и в других зарубежных странах. А в качестве основного направления принято производство экологически чистых ВВ простейшего состава, преимущественно эмульсионного типа.

В настоящее время на украинском рынке ВВ разворачивается конкурентная борьба между двумя новыми разработками – украинитом, уже допущенным к промышленному применению, и анэмиксом. В обоих случаях отечественные ГОКи получают новое поколение ВВ, способных разрушать горные породы любой крепости, более безопасные при использовании и экологически чистые. Активизация разработок и производства новых ВВ, в конечном итоге приведет к тому, что все предприятия, ведущие взрывные работы, смогут подобрать ВВ, которое даст как больший эффект в конкретном карьере, так и будет соответствовать запросам потребителей по качеству и цене.

Работы по созданию и внедрению новых ВВ в Днепропетровской области активизировались в конце 1990-х гг. Для

поддержки этого направления в 1999 г. местной облгосадминистрацией была принята «Целевая региональная комплексная программа перехода горно-обогатительных комбинатов на безртотиловые экологически чистые взрывчатые вещества».

«В рамках этой Программы было создано национальное эмульсионное взрывчатое вещество украинит-ПМ-1, оборудованное для изготовления его и аппаратов зарядания в скважины. По заключению государственной приемной комиссии, украинит отнесен к современным ВВ, обладающим высокой мощностью, позволяющей разрушать породы любой крепости и обводненности. Он имеет низкую чувствительность к внешним воздействиям, что делает его относительно безопасным в обращении и позволяет полностью механизировать все операции по изготовлению и заряданию в скважины. Кроме того, это ВВ отнесено к эффективным и экологически чистым». (Профессор Днепрпетровского национального горного университета Родерик Крысин).

Для изготовления основного компонента украинита – эмульсионной композиции (эмулькома) – в Украине созданы промышленные установки на Ингулецком ГОКе (г. Кривой Рог) производительностью 25 тыс. т/год, на заводе «Экоантилед» (г. Днепродзержинск) и на ЗАО «Промвзрыв» (Запорожье) производительностью по 15 тыс. т/год каждая.

В настоящее время разработчики предлагают горнякам украинит-ПМ-2, который будет иметь три модификации для разрушения различных видов горных пород. Под него перестроена СЗМ «Акватол». В ней применена оригинальная, более безопасная конструкция насоса для подачи ВВ в скважину, отличная от используемых в мировой практике.

Разработан оригинальный газификатор ВВ. Украинские ученые отказались от применяемого в настоящее время для этих целей нитрита натрия. Модернизации подвергнутся еще четыре машины. Ее стоимость не сравнима со стоимостью зарубежной техники. В процессе эксплуатации модернизированных машин они намерены продолжать работать над собственной машиной, в основу которой закладываются три главных требования: надежность, безопасность, простота в управлении и эксплуатации.

Разработчиком и производителем анэмикса является предприятие «Интервзрывпром». В анэмиксе лишь 1,5 % составляет импортный синтетический эмульгатор, остальные компоненты украинского производства. ГОСНИИ безопасности труда и экологии в горнорудной и металлургической промышленности дал заключение о том, что при использовании этого ВВ практически не обнаружено наличие оксидов азота, углекислый газ составляет 0,09 л/кг. Количество токсичных газов в 480 раз меньше, чем при взрыве тротила, и в 80 раз – чем при взрыве граммонита 79/21, который имеет нулевой кислородный баланс. Создан участок для производства необходимых компонентов. Технология изготовления ВВ и ведения взрывных работ полностью отвечают мировым стандартам охраны окружающей среды, безопасности и энергосбережения. При зарядке скважин абсолютно отсутствует пыль, дозирование ВВ идет с помощью компьютера, по окончании зарядки достаточно очистить зарядный шланг сжатым воздухом и машина может уезжать из карьера.

Компания по добыче железной руды и производству взрывчатки «Кривбассвзрывпром» в начале 2004 г. начала реконструкцию комплекса «Северный» для производства взрывчатки «Эмонит». Установка производит невзрывчатые компоненты взрывчатки, которые будут доставляться на взрывной блок в отдельных бункерах СЗМ, смешивание и зарядание компонентов будет происходить в скважине, после зарядания смесь переходит во взрывоопасное состояние через 20–25 минут.

Основные характеристики ЭВВ. ЭВВ являются продуктом эволюции горячельющихся ВВ – акватолов, изобретенных в начале 70-х годов XX в. (представлявших собой горячий концентрированный раствор селитры с добавлением загустителя и ТНТ). Основой ЭВВ, применение которых за рубежом началось в 80-е годы, является матрица – все тот же раствор селитры, сенсибилизированный воздушными пузырьками микронного размера, т. е. превращенный в пену. При прохождении через такую пену ударной волны пузырьки адиабатически сжимаются, температура в них повышается, и они служат центрами детонации. Для создания конкретных рецептур ЭВВ в матрицу может

добавляться как селитра в гранулах, так и ТНТ, алюминиевая пудра, органическое топливо, другие добавки. При этом сама матрица, согласно Концепции безопасности применения ЭВВ, считается взрывчатым веществом (что доказал печальный опыт катастрофы в Асбесте в 90-м году), а значит, условия ее производства и хранения должны быть соответствующими. К созданию эмульсии есть два подхода: применение стеклянных микросфер и применение газогенерирующих добавок.

Первый способ более стабилен (матрица, сенсibilизированная микросферами, может храниться достаточно долго), но дорог (стоимость микросфер зарубежного производства достигает нескольких тысяч долларов за тонну, микросферы отечественного производства не отвечают жестким требованиям к стабильности размера). Газогенерирующие добавки (нитрит натрия и другие) при перемешивании с горячим раствором селитры выделяют газ, образующий множество микронных пузырьков. Это дешевле, однако, такая матрица со временем теряет газ и десенсibilизируется, т. е. изготавливать ее необходимо непосредственно перед применением. Ферросилиций не нашел широкого применения в качестве сенсibilизатора (как предложено в украинской разработке – украините) в производстве ЭВВ. Во-первых, он утяжеляет и инертизирует смесь (даваемая им прибавка к теплоте взрыва в 7,4 кДж/кг мизерна по сравнению с расходом тепла на нагревание и испарение этого, фактически, песка), а за счет высокой плотности ферросилиция затруднено получение стабильного состава заряда по длине. О нестабильности его состава в скважинном заряде свидетельствует и предлагаемый способ его инициирования – гирляндой шашек. Во-вторых, при нагревании ферросилиций выделяет водород (который образует пузырьки в эмульсии, но может скапливаться, например, в емкости над поверхностью матрицы), а также мышьяковистый и фосфористый водород, самовоспламеняющиеся на воздухе. Таким образом теоретически создается повышенная опасность взрыва газовой смеси и преждевременной неконтролируемой детонации матрицы, в состав которой входит ферросилиций, что недопустимо.

Резюмируя, можно выделить следующие требования к промышленной взрывчатке. Во-первых, она должна быть недорога и удобна в применении (не должна содержать дорогих и дефицитных компонентов, должна позволять механизацию зарядных работ и обеспечивать их безопасность). Во-вторых, она должна быть стабильна и универсальна для сухих и обводненных скважин (закупать несколько видов ВВ для разных условий горнякам не выгодно). В третьих, она должна быть достаточно мощной. И, наконец, должна нести минимальный экологический вред (экономически он выражается во времени простоя для проветривания карьера после взрыва). Анализируя эти показатели, можно увидеть, что ЭВВ водоустойчивы, как гранулол, но дешевле его в два раза и более (в зависимости от состава), и выделяют в несколько раз меньше ядовитых газов.

Преимущества и особенности применения ЭВВ. ЭВВ превосходят тротил и тротилсодержащие вещества по целому ряду характеристик. В частности, исследования показали, что ЭВВ при взрыве выделяют в десять раз меньше газов по сравнению с тротилом. Они водоустойчивы, что полностью исключает загрязнение грунтовых вод. Кроме того, использование ЭВВ способно исключить возможности совершения диверсий или несчастных случаев во время транспортировки (ЭВВ как конечный «взрывной продукт» образуется только в заряженных скважинах). Компоненты ВВ, перевозимые к месту проведения взрывов на специальных машинах, не являются взрывоопасными. Похищать готовые ЭВВ в случае их отказа при ведении взрывных работ бессмысленно, так как они имеют весьма непродолжительный срок хранения.

На горнодобывающих предприятиях десятки лет применяются тротил и взрывчатки на его основе. Экологически это достаточно опасно – при взрыве возникает значительное количество вредных газов. Впрочем, вопросы экологии как раз решаются. В чистом виде тротил сейчас почти не используют (в 2001 г. его доля не превысила 15 %), а взрывчатые смеси на его основе дают гораздо более «чистый» взрыв. Тем не менее один из недостатков тротила практически неискореним – он достаточно

дорог. Одна тонна обходится примерно в 580–600 долл. США. Существуют (хотя больше теоретически) и проблемы безопасности его перевозки. Как альтернатива в мире применяют эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ). Стоят они в диапазоне 280–380 долл. США, т. е. в полтора-два раза дешевле.

Из-за способности попадать в организм человека через неповрежденную кожу тротил относится к высокоопасным веществам, поскольку вызывает у людей заболевания печени, катаракту глаз и онкологические заболевания. Кроме того, в составе продуктов взрыва тротила находится большое количество ядовитых газов (окись углерода и азота, а также углерод в виде сажи). По подсчетам специалистов, за период с 1990 по 2001 г. в Кривбассе (регионе, наиболее активно использующем взрывные работы) было израсходовано около 270 тыс. т тротила. За это время в атмосферу выброшено более 85 млрд литров ядовитых газов (1 кг тротила выделяет около 800 л газа, из которых более 300 л – это окислы азота и СО. Окислы азота в свою очередь соединяются в атмосфере с водой и выпадают в виде кислотных дождей).

Помимо применения в чистом виде, тротил широко используется в тротилсодержащих ВВ (акватол, граммонит) в качестве горючих добавок. Основным компонентом этих веществ является аммиачная селитра, которая в обводненных скважинах растворяется и вымывается грунтовыми водами. Затем высокоминерализованный раствор через водоносные пласты попадает в водоемы, водоносные пласты, вызывая усиленное их цветение и способствуя возникновению различных заболеваний у людей и животных.

Сравнительный анализ вредных выбросов штатных ВВ и эмульсионных простейшего состава приведен в табл. 30, где указано количество вредных газов, выделяющихся при взрыве основной группы промышленных ВВ, используемых при открытой добыче полезных ископаемых (по данным ВостНИИ, г. Кемерово).

Среди проблем, с которыми связано промышленное применение ВВ, важное место занимает безопасность. Все промышленные ВВ доставляются на склады и к месту зарядки железно-

Таблица 30. Сравнительный анализ вредных выбросов ВВ

Взрывчатое вещество	Содержание газов, л/кг		Суммарно, в пересчете на СО
	СО	NO _x	
Аммонит 6ЖВ	3,76	3,68	27,7
Граммонит 79/21	48,2	5,6	84,6
Игданит (5,5 % ДТ)	8,65	8,65	64,9
Гранулит УП-1 *	18,8	8,5	74
Гранулит АС-4 **	16	6,1	55,6
Гранулит АС-8 *	26,9	7,4	73
Ифзанит-Т-20 *	74,9	5,96	113
Ифзанит-Т-20 **	31	8,0	83,3
Порэммит-1 *	14,22	1,67	25,1
Порэммит-1 **	4,71	1,14	12,2

* В песчаной оболочке по схеме на эффективность действия взрыва.

** В стальной трубе диаметром 77 мм.

дорожным и автомобильным транспортом. Транспортировка часто осуществляется через жилые массивы, и их жители подвергаются потенциальной опасности. Всем памятна катастрофа, произошедшая в 1987 г. в Арзамасе, когда по неизвестной причине на железнодорожном переезде взорвались шесть вагонов со взрывчаткой (тогда погибли около ста человек).

Кроме того, промышленные ВВ являются постоянным объектом хищения. Например, воровство взрывчатки становится возможным из-за отказов скважинных зарядов во время ведения взрывных работ в карьерах. Так, в Кривбассе на каждые 1000 взорванных скважин происходит около двух отказов – за год более 150. Каждый отказ – это в среднем 500 кг ВВ. Они обнаруживаются в процессе экскавации раздробленной взрывом породы (при которой к тому же не исключается возможность взрыва). Указанные факторы подняли вопрос о замене тротила ВВ иного рода и об ускорении замены тротилсодержащих ВВ эмульсионными взрывчатыми материалами отечественного или зарубежного производства.

ЭВВ относятся к классу ВВ на основе аммиачной селитры. Кроме аммиачной селитры и натриевой селитры в их состав входят нефтепродукты (нефть, машинное масло, дизельное топливо) и различные стабилизирующие добавки.

Изготовление ЭВВ происходит непосредственно на месте будущего взрыва: компоненты смешиваются в специальных устройствах и по очереди заливаются в скважину. Консистенция ЭВВ сметанообразная. Кислородный баланс взрывчатой смеси легко регулируется при производстве, поэтому вредные выбросы при взрыве можно свести к минимуму (взрывы с применением ЭВВ дают в 10–30 раз меньше вредных выбросов, чем тротилсодержащие). Аналогично путем подбора компонентов можно регулировать фугасность и бризантность смеси, необходимую для конкретной плотности породы. Компоненты ЭВВ не являются ВВ. ЭВВ имеют самый малый срок хранения, ограниченный временем испарения нефтепродукта, поэтому, с одной стороны, хищения их из несдетонировавших зарядов не имеют смысла, а с другой стороны, экскавация породы, содержащей неразорвавшиеся заряды, через некоторое время становится полностью безопасной.

Существуют водногелевые ЭВВ, в которых углеводороды эмульгированы в водный раствор селитры с добавлением загустителя (гуаргам, соли хрома) и пузырьков воздуха (например, украинский гелекс). После смешивания компонентов необходимо время для их загустения. Консистенция их достаточно густая, что исключает применение насосов для их зарядки в скважины (это приходится делать вручную).

Другой тип ЭВВ, наоборот, предполагает эмульгирование раствора селитры в жидкий углеводород (дизтопливо или индустриальное масло) посредством раствора полиэтиленгликолевых эфиров оксиэтилированных жиров растительного и животного происхождения. После этого в смесь добавляется аэрирующий агент (возможно, гранулы пенопласта), для придания ей нужной консистенции, или другие полимерные закрепители.

Подрыв ЭВВ осуществляется с помощью промежуточных детонаторов. ЭВВ имеют высокую фугасность (значительный объем продуктов взрыва) за счет как можно более полного сго-

рания входящего в их состав углеводорода. Гидростойкость ЭВВ зависит от степени загущенности и структурирования.

В США давно применяется концепция маломощных взрывов (до 10 т против 200–1000 т у нас). Небольшие взрывы проводятся каждый день, при этом работа карьера вообще не останавливается, лишь создается запретная зона в 200–300 метров. Экологический ущерб от таких взрывов минимален, взрывной участок в карьере работает без перерывов. Экономически такая схема более оправдана, чем наши субкилотонные взрывы раз в две недели, с остановкой производственного процесса иногда на несколько дней. Применить такую технологию у нас мешают лишь традиции.

Экономические преимущества применения ЭВВ. Наряду с промышленной безопасностью при применении ЭВВ наблюдается рост экономической эффективности взрывных работ. ЭВВ по стоимости ниже штатных, тротилсодержащих взрывчатых веществ в 3–5 раз при практически одинаковой разрушающей способности.

Специалисты подсчитали, что средняя цена тротилсодержащих ВВ составила около 490 долл. США. Стоимость тонны эмульсионных ВВ – около 250–280 долл. США. При этом по оценкам специалистов, на сегодняшний день в стоимости железорудного сырья, продаваемого металлургам, от 5 до 12 % занимает стоимость взрывных работ (на карьерах стройматериалов эта величина достигает 30 %). Согласно тем же оценкам, при переходе на ЭВВ этот показатель уменьшится больше, чем на половину.

Тротил, для производства которого необходим толуол, значительно дороже ВВ на основе аммиачной селитры. Следует отметить интересный феномен, в большой степени влияющий на стоимость ВВ стран СНГ и Украины в частности. Российская цена тротила составляет примерно 570–580 долл. США за тонну, мировая – 700–750 долл. США за тонну. Тротил украинского производства стоит 850 долл. США. Это объясняется тем, что он изготавливается в основном из импортируемого толуола.

При открытом способе добычи стоимость взрывных работ составляет от 5 до 12 % в себестоимости готового железорудного сырья. Снижение затрат на взрывание снизит себестоимость

концентрата и повысит его конкурентоспособность на рынке. Таким образом, переход горнодобывающих комбинатов на ЭВВ способен решить все изложенные выше проблемы: экологии и безопасности взрывных работ, а также их удешевления.

Технологии и оборудование для производства ЭВВ. Смесительно-зарядная машина «Анемикс». Смесительно-зарядная машина «Анемикс» шасси Scania P 380 CB 8*4 ENZ ADR предназначена для перевозки невзрывчатых компонентов к месту проведения взрывных работ и изготовления из них промышленных ВВ «Нитробел», для зарядания сухих и обводненных скважин на открытых горных разработках (рис. 18, табл. 31). СЗМ «Анемикс» соответствует правилам ДОПОГ (Европейское соглашение о международной перевозке опасных грузов).

Таблица 31. Технические характеристики СЗМ «Анемикс»

Грузоподъемность, кг	33000
Диаметр заряжаемых скважин, мм	более 80
Техническая производительность, кг/мин	от 200 до 250
Масса перевозимого груза, кг	20000
Габаритные размеры в транспортном положении, мм, не более	
длина	10 700
ширина	2550
высота	3950



Рис. 18. Смесительно-зарядная машина «Анемикс»

Смесительно-зарядная машина «Универсал». Предназначена для транспортирования невзрывчатых компонентов к местам производства взрывных работ, изготовления из них на месте применения ЭВВ «Нитробел» и зарядания ими сухих и обводненных скважин на открытых горных разработках при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 40 °С (рис. 19, табл. 32).

Таблица 32. Технические характеристики СЗМ «Универсал»

Грузоподъемность, кг	16657
Максимальная производительность зарядки скважин, кг/мин	170–380
Частота вращения валов бункера-смесителя, м ⁻¹ , не более	20
Предельно-допустимое отклонение дозирования взрывчатого вещества, %	+/-4
Габаритные размеры в транспортном положении, мм не более	
длина	9699
ширина	2256
высота	3469
Масса снаряженной машины, кг	17386



Рис. 19. Смесительно-зарядная машина «Универсал»

Результаты экспериментальной оценки эффективности применения баллистичного ракетного топлива в качестве сенсibilизаторов в ЭВВ. В настоящее время в горнодобывающей промышленности широко используются тротилсодержащие ВВ. Применяемые на открытых горных работах ВВ на основе аммиачной селитры с содержанием тротила 20–35 % не являются достаточно водоустойчивыми, а использование водоустойчивого дорогостоящего гранулозола повышает себестоимость буровзрывных работ. Водосодержащие ВВ, такие как ифзаниты, акватолы, карботолы, горячельющиеся составы достаточно водоустойчивы, малочувствительны к внешним воздействиям и обеспечивают высокую плотность заряжания, однако недостатком водосодержащих ВВ является сам факт присутствия в составе ВВ воды до 15 %, оказывающей флегматизирующее действие на заряд, что требует введения в его состав не менее 20–30 % тротила или его сплавов, что сильно увеличивает стоимость ВВ.

В то же время проблема утилизации порохов и твердых ракетных топлив из расснаряжаемых боеприпасов стоит достаточно остро. Химический состав порохов практически не отличается от химического состава ВВ, поэтому конверсия оборонной промышленности открывает широкие возможности в использовании утилизируемых составов из демонтируемого вооружения в качестве сенсibilизирующих добавок в составе ВВ.

В данной работе проведена сравнительная оценка эффективности применения баллистичных ракетных твердых топлив (БРТТ) в составе ЭВВ с целью изучения возможности их использования в промышленности для отбойки горных пород вместо штатных ВВ.

Исследования проводились в НТЦ «Взрывобезопасность» ФЦДТ «Союз».

Для оценки эффективности применения БРТТ в качестве сенсibilизаторов в составе ЭВВ проводились эксперименты по определению работоспособности ЭВВ с содержанием утилизируемых компонентов по воронке выброса и исследования их детонационных характеристик. Для сравнения детонационных

характеристик ЭВВ с содержанием БРТТ в качестве эталона было выбрано одно из наиболее распространенных водосодержащих ВВ акватол Т-20ГК, содержащий 20 % тротила, и имеющий следующие характеристики: плотность 1,45 г/см³, скорость детонации 5000–5300 м/с, критический диаметр детонации 120 мм, теплоту взрыва 3700 кДж/кг, объемную концентрацию энергии 5365 кДж/дм³ и объем газов 900 л/кг (1250 л/дм³). Результаты испытаний по определению скорости детонации эмульсионного ВВ с добавкой БРТТ с различным процентным содержанием представлены в табл. 33.

Таблица 33. Зависимость скорости детонации эмульсионного ВВ от содержания утилизируемых компонентов

Вид утилизируемого компонента	Содержание, %	Плотность, г/см ³	Состояние индикаторов детонации		Скорость детонации, м/с
			ДШ	эластит	
Крошка БРТТ	20	1,51	+	+	5200
Крошка БРТТ	30	1,52	+	+	5500
Крошка БРТТ	50	1,52	+	+	6200

Зависимость скорости детонации зарядов ЭВВ от содержания утилизируемых компонентов представлена на рис. 20. Скорость детонации ЭВВ, содержащего 20 % крошки БРТТ типа

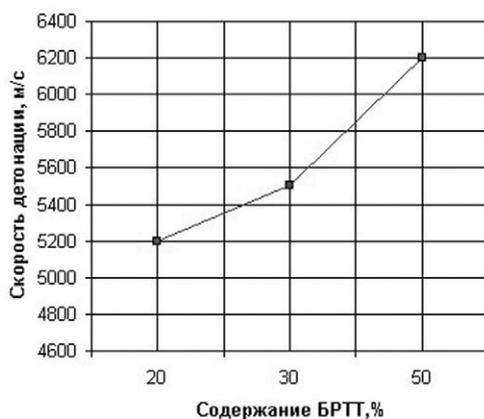


Рис. 20. Зависимость скорости детонации зарядов эмульсионного ВВ диаметром 105 мм от содержания утилизируемых компонентов

РСТ-4к составляет 5200 м/с, а при содержании крошки РСТ-4к равном 50 % скорость детонации данного ВВ достигает 6200 м/с, что существенно выше скорости детонации акватаола Т-20ГК.

Для зарядов ЭВВ с различным содержанием утилизируемых компонентов по методу цилиндрических зарядов был определен критический диаметр детонации ($d_{кр}$). Результаты определения критического диаметра детонации приведены в табл. 34. Зависимость критического диаметра детонации от содержания БРТТ представлена на рис. 21.

Таблица 34. Результаты определения критического диаметра детонации зарядов ЭВВ, содержащих утилизируемые компоненты

Вид утилизируемого компонента	Содержание, %	Плотность, г/см ³	$d_{кр}$, мм	Скорость детонации крит., м/с
Крошка БРТТ	20	1,51	85	4950
Крошка БРТТ	30	1,51	70	5100
Крошка БРТТ	50	1,52	50	5300

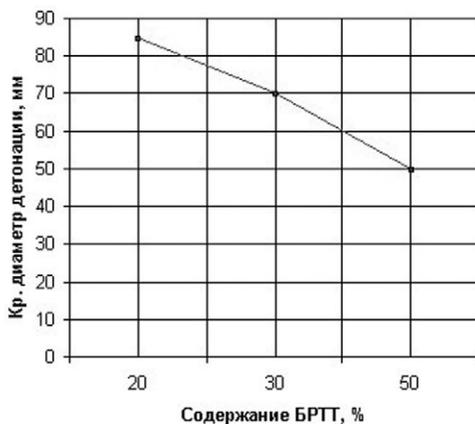


Рис. 21. Зависимость критического диаметра детонации от содержания БРТТ

Сравнительная оценка работоспособности водосодержащих ВВ с различным содержанием утилизируемых компонентов. Помимо скорости детонации необходимо знать другие характеристики ВВ. Работоспособность – одна из основных ха-

рактических ВВ. Она отражает его потенциальные возможности совершать работу взрыва. Так как обычно действие взрыва производится над определенной средой, то часто рассматриваются конкретные формы полезной работы (выброс грунта, дробление оболочки, метание породы и т. д.).

Для правильной оценки работоспособности ВВ необходимо обеспечить одинаковые условия испытаний и исключить возможное влияние режима взрывчатого превращения. Это означает, что испытания необходимо проводить по одинаковой технологии на зарядах одинаковой массы, детонирующих в идеальном или близком к нему режимах. Все эти условия, в принципе, можно обеспечить при промышленных взрывах. Однако подобные испытания являются дорогими, требуют много времени на подготовку и проведение. Кроме того, эти испытания проводятся в различных горно-геологических условиях без надежного контроля за свойствами горных пород и режимами взрывчатого превращения ВВ, что делает результаты подобных испытаний практически невозпроизводимыми.

Наиболее полно определить работоспособность промышленных ВВ позволяет метод, основанный на измерении воронки выброса. Данный метод прямо воспроизводит условия практического использования ВВ. Он достаточно широко известен и изучен, используется для моделирования промышленных взрывов и не требует сложной измерительной аппаратуры.

Несмотря на кажущуюся простоту этот метод включает в себя ряд особенностей, которые невозможно смоделировать в других испытаниях. При взрыве в породе учитывается часть энергии взрыва, расходуемая на ее деформацию и нагрев. Пористость породы создает условия взаимодействия с ней продуктов детонации. Важной особенностью взрыва на выброс является наличие свободной поверхности, преодоление сил тяжести при подъеме породы и сравнительно большое время совершения работы.

Основным недостатком этого метода можно считать трудоемкость и сравнительно невысокую точность, так погрешность по оценке некоторых авторов может достигать 10–14 %. Однако

представляется возможным уменьшить погрешность измерений за счет улучшения контроля за состоянием среды и повышения точности определения объема воронки выброса.

Значения глубин воронок по профилю и их диаметры представлены в табл. 35:

Таблица 35. Глубина воронок по профилю и их диаметры

Расстояние по профилю воронки h_i , см	Глубина по профилю воронки h_i , см				
	ТНТ прессованный	РСТ-4к моноблочный	Эмульсия +50 % РСТ-4к	Эмульсия +30 % РСТ-4к	Эмульсия +20 % РСТ-4к
0	0	0	0	0	0
25	26	12	15	19	22
50	46	28	30	33	49
75	77	49	47	54	82
100	94	68	62	73	91
125	113	81	76	86	107
150	124	95	85	92	122
175	122	107	94	104	122
200	111	111	97	112	115
225	95	97	96	119	99
250	72	81	92	99	85
275	53	59	83	75	70
300	27	35	68	58	54
325	0	20	54	33	29
350		0	37	17	22
375			22	0	0
400			0		

Примечание. Ширина воронки выброса эмульсия 30 % РСТ-4к равна 370 см.

Зависимость объема воронки выброса от содержания утилизируемого пороха представлена на рис. 22 (эмульсия РСТ-4к).

Относительная работоспособность ЭВВ определялась как отношение объема воронки выброса у тротила к объему воронки выброса у ЭВВ. Значения объема воронки выброса, относительной работоспособности и удельного расхода ВВ приведены в табл. 36.

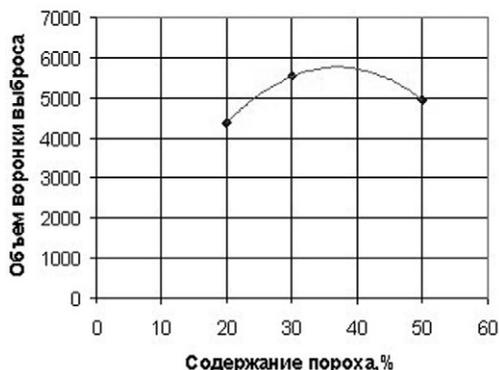


Рис. 22. Зависимость воронки выброса от содержания утилизируемого пороха

Таблица 36. Результаты определения относительной работоспособности и удельного расхода для различных типов ВВ

Тип ВВ	Объем воронки выброса, л, (влажность 5,2 %)	Относительная работоспособность	Удельный расход, кг/м ³
РСТ-4к (моноблочный заряд)	3899,5	1,107	0,871
Тротил прессованный	4322	1,014	0,786
Крошка РСТ-4к 75 % раствор АС	5375,8	0,803	0,632
ЭСВВ + 20 % РСТ-4к	4370,7	0,989	0,777
ЭСВВ + 30 % РСТ-4к	5523,8	0,786	0,616
ЭСВВ + 50 % РСТ-4к	4935,7	0,876	0,689

Как видно из результатов проведенных испытаний, содержание БРТТ в составе ЭВВ в пределах 35–38 % оптимально, изученные ЭВВ с использованием элементов утилизируемых БРТТ по работоспособности значительно (на 10–25 %) превосходят тротил. Моноблочные заряды из БРТТ типа РСТ-4к по работоспособности уступают тротилу.

Для ЭВВ с различным содержанием утилизируемых БРТТ максимальной работоспособностью обладают составы, содержащие 37 % дробленой структуры состава типа РСТ-4к. Зависимость относительной работоспособности ЭВВ от содержания БРТТ представлена на рис. 23.

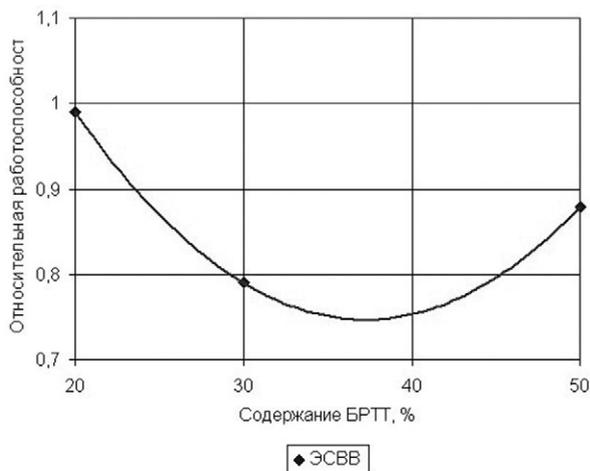


Рис. 23. Зависимость относительной работоспособности ЭВВ от содержания БРТТ

В результате проведенных лабораторно-полигонных экспериментов установлено, что использование утилизируемого баллистического ракетного топлива в качестве сенсibilизаторов в составе ЭВВ приводит к улучшению термодинамических характеристик ВВ и повышению эффективности использования таких ВВ в сравнении со штатными ВВ.

Проведенные исследования позволили установить:

1. Оптимальное содержание БРТТ в составе ЭВВ составляет 35–38 %.
2. Величина критического диаметра зарядов ЭВВ составляет 50–85 мм, что позволяет использовать буровой инструмент и, следовательно, скважинные заряды малого диаметра.
3. Максимальной работоспособностью обладают ЭВВ, содержащие 37 % состава типа РСТ-4к.
4. Эффективность использования ЭВВ, содержащего 35–38 % баллистического ракетного топлива, на 10–13 % выше применяющихся сейчас ВВ типа акваторов в промышленности, что позволяет увеличить сетку скважин и снизить затраты по статье «буровые работы» на 1 м³ взрываеваемой породы [7, 8, 12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферов, К. Д. Взрывчатые вещества: в 2 ч. Иницирующие и бризантные взрывчатые вещества. Пенза, 1965.
2. Вопросы утилизации боеприпасов / В. В. Антипов [и др.]. – Тула, 2001.
3. Генералов, М. Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: учеб. пособие для вузов / М. Б. Генералов. – М.: Академкнига, 2004.
4. Горст, А. Г. Пороха и взрывчатые вещества / А. Г. Горст. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1972.
5. Дубнов, Л. В. Промышленные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревиц, А. И. Романов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988.
6. COOK, M. A. THE SCIENCE OF INDUSTRIAL EXPLOSIVES / M. A. COOK. – IRECO CHEMICALS SALT LAKE CITY, UTAH 1974; Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах, пер. с англ. под ред. Г. П. Демидюка, Н. С. Бахаревиц. – М.: Недра, 1980.
7. Кутузов, Б. Н. Разрушение горных пород взрывом / Б. Н. Кутузов. – М.: МГГУ, 1992.
8. Кутузов, Б. Н. Технология и безопасность изготовления и применения ВВ на горных предприятиях / Б. Н. Кутузов, Г. А. Нишпал. – М.: МГГУ, 1999.
9. Орлова, Е. Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ / Е. Ю. Орлова. – 3-е изд. перераб. – Л.: Химия, Ленингр. отд., 1981.
10. Светлов, Б. Я. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ / Б. Я. Светлов, Н. Е. Яременко. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1973.
11. Справочник по взрывчатым веществам, порохам и пиротехническим составам. Пиропсправка. – Изд. 6. – М., 2012.
12. Тарасенко В. П. Взрываемость массивов горных пород, выбор рационального ассортимента ВВ / В. П. Тарасенко, В. И. Сивенков. – М.: МГГУ, 1989.
13. Фахрутдинов, И. Х. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: учеб. для машиностроительных вузов / И. Х. Фахрутдинов, А. В. Котельников. – М.: Машиностроение, 1987.
14. Ханукаев, А. Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом / А. Н. Ханукаев. – М.: Недра, 1974.
15. Чельшев, В. П. Основы теории взрыва и горения / В. П. Чельшев. – Ч. 1: Основы теории взрыва. – М.: МО СССР, 1981.

16. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов: учеб. пособие для вузов / Ю. Г. Щукин [и др.]; под общ. ред. Ю. Г. Щукина. – М.: Недра, 1998. – 319 с.

17. Вещества взрывчатые промышленные. Термины и определения: ГОСТ 26184-84.

18. Система разработки и постановки продукции на производство. Материалы взрывчатые промышленные: ГОСТ 15.109-97.

19. Грузы опасные. Классификация и маркировка: ГОСТ 19433-88.

20. Тротил для промышленных взрывчатых веществ. Технические условия: ГОСТ 4117-78.

21. Пороха бездымные. Методы определения стойкости по лакмусовой пробе: ГОСТ 11857-77.

22. Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару: ГОСТ 4545-88.

23. Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к трению при ударном сдвиге: ГОСТ Р 50835-2010.

24. Вещества взрывчатые. Методы определения фугасности: ГОСТ 4546-81.

25. Вещества взрывчатые. Методы определения бризантности: ГОСТ 5984-99.

26. Взрывчатые вещества. Метод определения способности к передаче детонации на расстояние: ГОСТ 11131-65.

27. Вещества взрывчатые промышленные. Приемка и отбор проб: ГОСТ 14839.0-91.

28. Вещества взрывчатые промышленные. Методы определения массовой доли тротила, минерального масла и нитроэфиров: ГОСТ 14839.1-69.

29. Вещества взрывчатые промышленные. Метод определения содержания нитроэфиров: ГОСТ 14839.2-69.

30. Взрывчатые вещества промышленные. Метод определения массовой доли аммиачной селитры: ГОСТ 14839.3-69.

31. Взрывчатые вещества промышленные. Метод определения содержания нитроаминов (гексогена): ГОСТ 14839.9-69.

32. Взрывчатые вещества промышленные. Методы определения массовой доли алюминия: ГОСТ 14839.10-69.

33. Взрывчатые вещества промышленные. Методы определения содержания нерастворимых веществ и коллоидного хлопка: ГОСТ 14839.11-69.

34. Взрывчатые вещества промышленные. Методы определения содержания влаги: ГОСТ 14839.12-69.

35. Взрывчатые вещества промышленные. Метод определения водостойкости: ГОСТ 14839.13-69.

36. Взрывчатые вещества промышленные. Метод определения способности к передаче детонации на расстояние: ГОСТ 14839.15-69.

37. Взрывчатые вещества промышленные. Метод определения гранулометрического состава: ГОСТ 14839.17-69.

38. Взрывчатые вещества промышленные. Методы определения плотности: ГОСТ 14839.18-69.
39. Взрывчатые вещества промышленные. Методы определения полноты детонации: ГОСТ 14839.19-69.
40. Вещества взрывчатые промышленные. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение: ГОСТ 14839.20-77.
41. Вещества взрывчатые. Общие требования к проведению химических и физико-химических анализов: ГОСТ 30037-93.
42. Единые правила безопасности при взрывных работах (ЕПБ при ВР), утверждены Госпромомнадзором Респ. Беларусь 29.05.92 г.
43. Инструкция о порядке хранения, приобретения, транспортирования, использования и учета взрывчатых материалов, утверждена приказом Комитета по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике при Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 18 января 2000 г. № 5.
44. Инструкция о порядке выдачи боеприпасов, подлежащих утилизации, Центру утилизации артиллерийских и инженерных боеприпасов, утверждена постановлением МО Республики Беларусь от 04.04.2000 г. № 6.
45. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://exploders.us>.
46. О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе: ТР ТС 028/2012, принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 г. № 57.
47. ISEE Blasters Handbook, 18 th Edition, 2010.
48. Bampffield, H. A., Cooper J. Encyclopedia of Emulsion Technology, Chapter 7.
49. Emulsion Explosives. – New York and Basel: Marcel Dekker, Inc., 1988.
50. Bluhm, H. F. Ammonium Nitrate Emulsion Blasting Agent and Method of Preparing Same.
51. U. S. Patent N 3,447,978 Washington D. C., U. S. Patent Office (June 1969).
52. Water Resistant Blasting Agent and Method of Use: Pat. U. S. 4,181,546 / R. B. Clay. – Washington: D. C. U. S. Patent Office, 1980, Jan.
53. Ammonium Nitrate–Containing Emulsion Sensitizers for Blasting Agents: U. S. Pat. Office 3,161,551 / R. S. Egly, A. E. Neckar. – Washington, D. C. Patent Office, 1964, Dec.
54. Sudweeks, Walter B. IQEC Product Research & Development; Physical and Chemical.
55. Properties of Industrial Slurry Explosives; 24, 432; American Chemical Society, 1985.
56. Van Ommeren, C. L. A Consumer's Guide to Bulk Emulsions and Emulsion/ANFO Blends // Proceedings of the 15th Conference on Explosives and Blasting Technique, Feb. 5–10, 1989. – Society of Explosives Engineers. – P. 271–285.
57. Water in Oil Emulsion Explosive Composition: Pat. 4,110,134 U. S. / C. G. Wade. – Washington: D. C. U. S. Patent Office, 1978, Aug.



Фото 1. Гексогенсодержащее ВВ, шашка – А-IX-2



Фото 2. Гексогенсодержащее ВВ, шашка – А-IX-1



Фото 3. Гексогенсодержащее ВВ, шашка – А-IX-2



Фото 4. Гексогенсодержащее ВВ, шашка – А-IX-2 (сборка)



Фото 5. Октогенсодержащее ВВ, – шашка Окфол



Фото 6. Октогенсодержащее ВВ, шашка – Окфол



Фото 7. Октогенсодержащее ВВ, шашка – Окфол



Фото 8. Промышленное эмульсионное ВВ «НИТРОБЕЛ»



Фото 9. Заряды промышленного ВВ «Эмульсена -ГА-90» марки 1



Фото 10. Процесс изготовления зарядов «Эмульсена – ГА-90» марки 1



Фото 11. «Состав Г-2У»



Фото 12. Эмульсия марки А



Фото 13. Промышленное ВВ – Гранипор БП-1



Фото 14. Промышленное ВВ – Гранипор БП-1 (РКП ЦУАИБ)



Фото 15. Порох зерненный



Фото 16. Порох зерненный (увелич.)



Фото 17. Порох пироксилиновый



Фото 18. Порох дымный черный.



Фото 19. Каргуз с дымным порохом



Фото 20. Шашка тротиловая



Фото 21. Тротил -У, полученный от утилизации боеприпасов



Фото 22. Тротил – УД, дробленный



Фото 23. Промышленное ВВ «Нитролог»



Фото 24. Шашка – детонатор ПТУ-1000Л, ПТУ-800Л (порох тротил)



Фото 25. Заряд гибридный сейсмический литевой ЗГСЛП-70-1000



Фото 26. Заряд гибридный сейсмический литевой ЗГСЛП-70-1000



Фото 27. Заряд эмульсионного патрона «ЗЭП»

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Принятые сокращения	5
Введение	6
Раздел I. Краткая история развития взрывчатых веществ	9
Раздел II. Термины и определения	28
Раздел III. Общие сведения о взрывчатых веществах	34
Раздел IV. Классификация взрывчатых веществ	55
4.1. Иницирующие взрывчатые вещества	59
4.1.1. Чувствительность иницирующих взрывчатых веществ	61
4.1.2. Иницирующая способность иницирующих взрывчатых веществ	67
4.1.3. Индивидуальные иницирующие взрывчатые вещества	71
4.1.4. Иницирующие смеси	89
4.2. Классификация бризантных взрывчатых веществ	92
4.2.1. Индивидуальные бризантные взрывчатые вещества	93
4.2.2. Бризантные взрывчатые вещества – ароматические нитросоединения	95
4.2.3. Бризантные взрывчатые вещества – нитроамины	101
4.2.4. Бризантные взрывчатые вещества – нитроэфиры	106
4.2.5. Чувствительность бризантных взрывчатых веществ	109
4.2.6. Механические смеси взрывчатых веществ	112
4.2.7. Литьевые взрывчатые смеси на основе плавких взрывчатых веществ	117
4.2.8. Бризантные взрывчатые вещества с флегматизатором	124
4.2.9. Прессовые составы на инертном связующем	126
4.2.10. Литьевые составы на инертном связующем	128
4.2.11. Литьевые составы на термостойком связующем	129
4.2.12. Составы с энергоемким связующим	129
4.2.13. Пластизольные взрывчатые вещества	131

4.2.14. Эластичные взрывчатые вещества	133
4.2.15. Пластичные взрывчатые вещества	134
4.2.16. Пастообразные взрывчатые вещества	137
4.2.17. Жидкие взрывчатые вещества	138
4.2.18. Термобарические смеси	140
4.2.19. Эвтектические литьевые смеси	142
4.2.20. Промышленные взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры	144
4.2.21. Перхлоратные взрывчатые вещества	169
Раздел V. Пороха	171
Раздел VI. Пиротехнические составы	177
Раздел VII. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов	193
7.1. Основная номенклатура утилизируемых боеприпасов, применяемых в промышленности	197
7.1.1. Инженерные боеприпасы	198
7.1.2. Твердое ракетное топливо (ТРТ)	201
7.1.3. Пороха	206
7.1.4. Боевые части боеприпасов	208
7.1.5. Методы утилизации боеприпасов	209
7.2. Номенклатура взрывчатых материалов, получаемых при промышленной переработке элементов боеприпасов	213
7.3. Опыт производства взрывных работ с использованием утилизированных взрывчатых материалов	224
7.4. Перспективы применения элементов утилизированных боеприпасов для изготовления промышленных взрывчатых веществ	227
Раздел VIII. Промышленные взрывчатые вещества на основе эмульсионных составов	241
Список литературы	279

Научное издание

Ильющенко Александр Федорович,
Петюшик Евгений Евгеньевич,
Рак Анатолий Леонидович и др.

**ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

Справочное пособие

Редактор *Т. С. Климович*
Художественный редактор *В. В. Домненков*
Технический редактор *О. А. Толстая*
Компьютерная верстка *Н. И. Кашуба*

Подписано в печать 22.09.2017. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 16,51 + 0,81 вкл. Уч.-изд. л. 12,8.
Тираж 100 экз. Заказ 181.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом
«Беларуская навука». Свидетельства о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/18 от 02.08.2013, № 2/196 от 05.04.2017.
Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск.