## Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби

## **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА**

## 

## **Тулепов М.И.**

Учебное пособие

Алматы, 2015

*Peкoмeндoвaнo к издaнию Peдaкциoннo –издaтeльcким coвeтoм*

*КaзНУ им. aль-Фapaби*

Peдaкциoннaя кoллeгия

З.A. Мaнcуpoв (пpeдceдaтeль),В.A. Зaвaдcкий, E.O. Дocжaнoв

Paxимoвa Б.У. (oтвeт. ceкpeтapь)

Peцeнзeнты:

дoктop xимичecкиx нaук **P.Г. Aбдулкapимoвa**

кaндидaт xимичecкиx нaук **Е.А.Акказин**

кaндидaт xимичecкиx нaук **A.C. Жумaкaнoвa**

**Промышленные взpывчaтыe вeщecтвa**. – Aлмaты: Қaзaқ унивepcитeті, 2015. – 124 c.

Нacтoящee издaниe пpeднaзнaчeнa для мaгиcтpaнтoв и дoктopaнтoв выcшиx учeбныx зaвeдeний cпeциaльнocтeй «Xимичecкaя тexнoлoгия взpывчaтыx вeщecтв и пиpoтexничecкиx cpeдcтв».

Взрыв­ные работы широко применяются при добыче минеральных руд, строительстве, туннелестроении и в различных отраслях народного хозяйства. Многообразие условий применения и широкий диапазон технических требований к промышленным ВВ обусловливает разли­чия их по химическому составу, физическим и взрывным свойст­вам, поэтому ассортимент промышленных ВВ довольно обширен.

Знание закономерностей взрывного процесса имеет большое значение для управления взрывом и его механическим действием в различных условиях.

При разработке методики проведения лабораторных работ учтена тенденция к внедрению в учебный процесс элементов научных исследований, в них используются современные научные приборы и аппаратура.

Учебное пособие предусматривает ознакомление студентов, с основными закономерностями явления взрыва, с методикой экспериментальных исследований и способами обработки и анализа результатов измерений, coдepжит кpaткиe cвeдeния o тeopии взpывчaтыx вeщecтв, o взpывчaтыx вeщecтвax, cpeдcтвax иницииpoвaнии в oбъeмe, пpeдуcмoтpeннoм учeбными пpoгpaммaми.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | COДEPЖAНИE |  |
|  | ПPEДИCЛOВИE…………………….……………………………......... | 5 |
| 1 | ОТ ЗАЖИГАТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДО ПОРОХА, ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ…………………........ | 8 |
| 1.1 | Основные представители промышленных взрывчатых веществ….. | 9 |
| 1.2 | Виды и компоненты промышленных ВВ ……………………….......... | 10 |
| 2 | ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПАРАМЕТРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ.................................................................... | 15 |
| 2.1 | Основные понятия и определение взрыва …………………………... | 15 |
| 2.2 | Параметры взрыва промышленных взрывчатых веществ…................ | 15 |
| 2.3 | Основные характеристики промышленных ВВ …..…………............ | 15 |
| 2.4 | Классификация промышленных ВВ. Физико-химические свойства промышленных ВВ …………………………………………………..... | 16 |
| 3 | АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА…...... | 19 |
| 3.1 | Взрывчатые свойства и характеристики аммиачной селитры............ | 19 |
| 3.2 | Динамоны и ее основные характеристики …………………………… | 22 |
| 4 | ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АММОНИТОВ……………………... | 26 |
| 4.1 | Состав, физико-химические и взрывчатые свойства аммонитов ….. | 26 |
| 4.2 | Суспензионные взрывчатые вещества и их характеристики............... | 31 |
| 4.3 | Эмульсионные взрывчатые вещества и их характеристики ……… | 32 |
| 4.4 | Состав и свойства суспензионных ВВ……………………………….. | 33 |
| 4.5 | Нитроглицериновые и перхлоратные промышленные ВВ………….. | 34 |
| 4.5.1 | Нитроглицериновые промышленные ВВ…………………………… | 34 |
| 4.5.2 | Перхлоратные промышленные взрывчатые вещества………………. | 36 |
| 5 | ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ПРИ ВЗРЫВЕ И ФОРМЫ ПРЕВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ..................................... | 38 |
| 5.1 | Образование ядовитых газов при взрыве……………………………... | 39 |
| 5.2 | Теплота и температура взрыва. Объем и давление газообразных продуктов взрыва………………………………………………………. | 40 |
| 5.3 | Детонация и ее условия для взрывчатых веществ…………………... | 42 |
| 6 | ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА ………….. | 45 |
| 6.1 | Шахтная атмосфера подземных горных выработок, подземные газовые и пылевые взрывы…………………………………………….. | 45 |
| 6.2 | Механизм взрыва газовых и пылевых взрывов рудничных газов…... | 46 |
| 6.3 | Взрывчатость и воспламеняемость угольной пыли…………………. | 48 |
| 6.4 | Воспламенение взрывным импульсом горючих шахтных сред…….. | 49 |
| 7. | ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПОВЕРХНОСТИ И В ШАХТАХ………… | 53 |
| 7.1 | Взрывчатые вещества для взрывных работ только на земной поверхности…………………………………………………………….. | 53 |
| 7.2. | Взрывчатые вещества для взрывных работ в шахтах не опасных по газу и пыли и на земной поверхности ………………………………... | 55 |
| 7.3 | Порошкообразные взрывчатые вещества…………………………….. | 57 |
| 7.4 | Предохранительные взрывчатые вещества…………………………... | 58 |
| 7.5 | Промышленные ВВ на основе утилизируемых боеприпасов……….. | 59 |
| 8 | ДЕТОНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ, ДЕФЛАГРАЦИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ…………………………………………… | 61 |
| 8.1 | Горючесть и дефлаграция предохранительных ВВ………………….. | 61 |
| 8.2 | Детонационная способность предохранительных взрывчатых веществ………………………………………………………………….. | 65 |
| 8.3 | Классификация предохранительных ВВ и принципы компоновки их составов……………………………………………………………… | 67 |
| 9 | ПPОМЫШЛЕННЫЕ ВЗPЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕCТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ………………………………………………………… | 74 |
| 9.1 | Основные компоненты промышленных взрывчатых веществ……… | 75 |
| 10 | ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА…………... | 78 |
| 10.1 | Применение взрывчатых веществ в шахтах опасных по газу и пыли | 82 |
| 10.2 | Пламегасители в составе предохранительных взрывчатых веществ.. | 85 |
| 10.3 | Детонация предохранительных взрывчатых веществ……………….. | 88 |
| 10.4 | Предохранительные взрывчатые вещества и их горючесть………… | 89 |
| 10.5 | Физико-химические изменения свойств взрывчатых веществ со временем………………………………………………………………... | 91 |
| 11 | ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ………………………………………….. | 98 |
| 11.1 | Влияние взрывчатых веществ на окружающую среду при их применении……………………………………………………………... | 98 |
| 11.2 | Способы утилизации взрывчатых веществ…………………………… | 102 |
| 12 | ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ К КУРСУ «ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА»………………………………………… | 104 |
|  | Работа 1. Определение чувствительности взрывчатых веществ к тепловому импульсу…………………………………………………… | 104 |
|  | Работа 2. Определение чувствительности взрывчатого вещества к удару…………………………………………………………………….. | 107 |
|  | Работа 3. Определение чувствительности взрывчатых веществ к трению…………………………………………………………………... | 110 |
|  | Работа 4. Определение теплоты взрывчатого превращения………… | 113 |
|  | Работа 5. Измерение температуры детонации конденсированных взрывчатых веществ……………………………………………………. | 120 |
|  | РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА…………………………………. | 124 |

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

При добыче твердого минерального сырья на рудниках, блочного камня, при строительстве метро, туннелестроении, прокладке различных коммуникаций и дорог, при разрушении асфальтового или бетонного дорожного полотна, негабаритных гранитных блоков, бетонных кирпичных строений в условиях плотной застройки вопросы эффективности и безопасности проведения работ зачастую находятся в противоречии. Так, повышение эффективности разрушения, как правило, сопровождается ростом интенсивности ударной воздушной и сейсмовзрывных волн, что предопределяет необходимость разработки и производства промышленных взрывчатых веществ.

В области, где применяются взрывные работы, предполагает использование большого количества различных по свойствам и условиям применения взрывчатых веществ и средств инициирования. В современной практике разработано и выпускается очень большой ассортимент взрывчатых веществ, которые постоянно обновляются и совершенствуются.

Нестабильная политическая обстановка на рубеже ХIХ- ХХ века дало толчок быстрому развитию промышленности в привело к созданию и производству мощных взрывчатых веществ: в это время получены тротил, нитроглицерин, тетрин, пикриновая кислота, запатентованы детонатор (запал Нобеля), ВВ на основе аммиачной селитры и динамиты.

В начале ХХ века получены ТЭН и гексоген, которые и поныне очень широко применяются.

В 30-ые годы ХХ века в связи с бурным ростом горнорудной промышленности возникла необходимость замены ранее применявшихся нитроглицериновых динамитов на более безопасные ВВ на основе аммиачной селитры (аммониты и динамоны). Одним из основных этапов в истории взрывного дела является разработка и выпуск в начале 60-ых годов ХХ века простейших взрывчатых веществ-игданитов (смеси АС-ДТ) и гранулированных ВВ (граммониты и гранулиты), что позволило непосредственно применить механизированное заряжание, повысить плотность ВВ в зарядах, улучшить условия труда взрывников.

В настоящее время одной из особенностей взрывных работ является использование промышленных ВВ, полученных из утилизируемых боеприпасов. Широко внедряются в производство утилизируемый из снарядов и бомб тротил (тротил У, УД), пироксилиновые и нитроглицериновые пороха в качестве мощных бризантных ВВ для дробления крепких горных пород.

Обеспечение конкурентоспособности выпускаемой народно-хозяйственным комплексом Республики Казахстан продукции в условиях открытого рынка – основная технико-экономическая и научная задача, которую должны решать разнопрофильные предприятия Республики, в том числе и научные.

Ее решение особенно важно для горно-металлургической отрасли, которая определяет в основном бюджетные показатели страны. Как известно, начальным процессом в горно-металлургическом переделе полезных ископаемых являются буровзрывные работы. Они существенно влияют как на себестоимость конечной продукции горно-обогатительных комбинатов (до 15 % ), так и определяют производительность последующих операций добычного цикла.

Разработка новых технологии и новых методов ведения взрывных работ, обеспечение оптимальных параметров зарядов, исходя из свойств применяемых взрывчатых веществ и их расположения в массиве горных пород, оперативное управление взрывными работами и последующими технологическими процессами в карьере позволит значительно повысить эффективность работы горного предприятия.

Как показывает статистический анализ развития горнодобывающей промышленности и существующих технологий разработки карьеров, по-прежнему основным средством подготовки горных пород к выемке является энергия взрыва, около 70 % полезных ископаемых добываются с применением взрывчатых веществ. Несмотря на, казалось бы, исчерпанные возможности, повышение эффективности направлений для дальнейшего их совершенствования остается одной из важнейших научно-поисковой задачей.

Одним из основополагающих, но недостаточно изученных направлений является анализ и исследование взаимосвязей между процессами динамического воздействия, определяемого в основном свойствами взрывчатых веществ, на скальный породный массив и закономерностями его разрушения до нужных геометрических габаритов.

В последнее время энергия взрыва широко используется в инженерной практике для вскрытия новых рудных месторождений различных природных ископаемых, образования и разрушения плотин и насыпей, прокладки транспортных магистралей в горах при строительстве дорог.

Широкое применение получает взрывной способ обработки металлов и порошков – штамповка, сварка, резание, упрочнение и прессование.

Кроме того, борьба с лесными пожарами, прокладки трасс для газо – и нефтепродуктов, сейсморазведка полезных ископаемых, перфорация нефтяных скважин и взрывное бурение – вот неполный перечень областей использования взрывчатых материалов в народном хозяйстве. В настоящее время в крупных мегаполисах широко распространено разрушение и утилизация отслуживших свой срок зданий и сооружений.

Вместе с тем продолжается исследование по расширению областей использования данного источника энергии. Новое направление работ посвящено взрывному синтезу алмазов и ценных искусственных минералов.

Таким образом, приведенная взрывная энергия может быть образована взрывчатыми веществами, которые для их отличительности называют промышленными взрывчатыми веществами (ПВВ).

Приведенное многообразие условий применения ПВВ из-за широкого диапазона технических требований к ПВВ определяет различия их по химическому составу, и соответственно – по физическим и взрывчатым свойствам. Ассортимент ПВВ во многих странах составляет десятки наименований.

Производительность и эффективность взрывных работ во многом зависят от типа ПВВ, который правильно может быть выбран лишь в том случае, если известны свойства ПВВ и соответствующая этим свойствам технология приготовления и, что особенно важно, - связь между свойствами ПВВ и эффективностью действия соответствующих форм работы продуктов взрыва.

Особенностью и отличительной чертой ПВВ является их химическая и физическая неоднородность. Большинство из них представляет собой смесь химически неоднородных материалов, производится в виде порошков, гранул, суспензий, эмульсий, состоящих из компонентов не одинаковых по физическим свойствам и по агрегатному состоянию. Эти характеристики и неоднородность и определяет особенности процесса взрыва, возбуждения и развития детонации ПВВ, во многом отличающихся от закономерностей взрыва индивидуальных - в большей части военных ВВ.

Физико-химические свойства ПВВ при их смешивании определяются физико-химическими свойствами их компонентов – плотностью, агрегатным состоянием при нормальных условиях, гигроскопичностью, модифицированием, растворимостью в воде, коллоидными свойствами.

Важной задачей науки о промышленных взрывчатых веществах и представляемого курса «Промышленные взрывчатые вещества» является, конечно, освоение накопленных в данной области знаний с целью дальнейшего применения этих знаний для создания современных по уровню технологичности при производстве и безопасности при применении без пагубной экологической нагрузки на окружающую среду продуктов взрыва.

Исходя из этого, в соответствии с основным учебным планом магистрантов и докторантов и рабочей программой по курсу предусмотрены следующие темы.

1. ОТ ЗАЖИГАТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДО ПОРОХА, ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

В середине XIII в. известные в то время арабские ученые Ибн аби Узайбиа и Ибн Бейтара описывали свойства нового соединения - селитры и ее охлаждающее действие. В конце XIII в. в своей книге Хасан ар-Раммайя с описал много способов грубой и тонкой очистки при­родной селитры при действии на нее зольного щелока с последующей перекристализацией образовавшегося продукта. В книге также содержатся также рецепты зажигательных смесей и пиротехнических составов так называемых «китайских стрел» или «китайских огненных копий». Эти названия в определенном смысле связаны с тем, что порох был открыт в Китае и рецепты его изготовления попали через Индию и арабские государства в Европу.

В последующем в книге по военному искусству арабского ученого Шемседдина Мохаммеда, описаны способы использования пороха для стрельбы. Изобретение пороха и применение его в военных целях способствовали совершенствованию вооружения (привело к появлению пушек и ружей). Это стимулировало возникнове­ние новых химических ремесел: приготовление селитры и пороха. Распространение этих ремесел оказало большое влия­ние на совершенствование естественнонаучных знаний, философских систем и даже развитие цивилизации.

В 1258 г. жители немецкого города Кельна впервые в Европе использовали зажигательные составы. В Фрайбурге, где долгое время жил монах Бертольд Шварц - европейский изобретатель по­роха, в 1300 г. была отлита первая пушка. В XIV в ружья и пушки начали изготовлять в различных европейских странах. Первые пороховые заводы возникли в Аугсбурге в 1340 г., в Лигнице в 1344 г., в Шпандау в 1348 г.

Изначально селитра импортировалась в европейские страны. Итальянская Венеция, через которую селитра попадала в Европу, имела большие прибыли от этой торговли. И уже в XV в. из-за растущего спроса на селитру и ее важного значения для укрепления обороны многие европейские государства организовали производство селитры из местного сырья. Постав­щики селитры получали привилегии от властей, об этом свидетельствуют, например, распоряжения архиепископа Магдебургского Гюнтера (1419 г.), решения городского совета Франкфурта (1583 г.) и указы Бранденбургского курфюрста Иоганна Георга (1583 г. ).

Всеобщее военное значение огнестрельного оружия росло вместе с его распространением по всему миру. Для растущего производства оружия требовалось все больше механиков, техников, спе­циалистов по химии и физике. И вследствие этого увеличивалась и потребность в порохе, металле для пушек и ружей, в орудийных лафетах и другом воинском снаряжении и оборудовании. В этот период использовались катапульты - машины для метания камней - и разно­образные стенобитные устройства огнестрельного ору­дия обладали большей разрушительной и убойной силой, значительной дальностью стрельбы и высокой мобильностью.

Применение огнестрельного оружия оказало огромное влияние на совершенствование военной техники, ко­торое можно сравнить лишь с влиянием на развитие че­ловечества использования железа, начавшееся примерно за три тысячелетия до этого. С помощью огнестрельного оружия были покорены моря и континенты, разрушены ци­вилизации, уничтожены или порабощены целые народы. В итоге нау­чившись пользоваться огнестрельным оружием, человек под­чинил себе могучие силы природы.

Селитра по своей сути оказалась также веществом, очень важным для химических ремесел. Изготовление селитры требовало коренного совершенствования методов разделения и очистки солей; особо важную роль в этом играли процессы растворения и кристаллизации. Первые появления огня при горении пороха и без доступа воздуха натолкнуло средневековых ученых на новые представления о процессах горения. Предполагалось, что селитра содержит «воздух», необходимый для горе­ния. Изучение селитряного воздуха сыграло впоследствии громадную роль в разработке важных положений химической науки.

Полученные результаты и совершенствование артиллерийской техники, необходи­мость прицельного огня орудий и изучение движения снарядов привели к возникновению баллистики как науки. Литейное «искусство» в XIII—XIV вв. уже было достаточно развито. Новый стимул для улучшения техно­логии литья металлов появился после изобретения пушек. Требовалось создание специальных сплавов для орудийных стволов и качественных методов обработки металлов. Это способствовало развитию хими­ческих знаний и технического мастерства литейщиков. Для сверления металлов применялись конная тяга или водяные колеса (чтобы приводить сверла в движение).

Растущий спрос на селитру до конца XVIII в. удовлетворялся главным образом импортом из Ин­дии и в меньшей степени благодаря собственным источникам. С XVII в. интенсивные и систематические поиски селитры в Европе привели к организации искусственных «месторожде­ний» селитры. Создавались «селитряные сады», или «планта­ции».

Таким образом, государства были крайне заинтересованы в производстве селитры. В Швеции, например, крестьяне даже налоги должны были частично выплачивать селитрой.

**1.1. Основные представители промышленных взрывчатых веществ**

В соответствии с Едиными правилами безопасности при взрывных работах все промышленные взрывчатые материалы (ВВ, прострелочные и взрывчатые аппараты) при обращении с ними по степени опасности разделяются на группы (табл. 1) (хранение, перевозка, использование) и относятся к классу I.

Взрывчатые материалы по различным группам совместимости должны перевозиться и храниться раздельно. Допускается совместное хранение:

1. Дымных (D) и дефлагирующих (С) порохов в соответствии с требованиями к наиболее чувствительным из них.
2. Изделий группы с взрывчатыми материалами групп В, С, и D.
3. Детонирующего шнура (D) с изделиями группы В.

#### Таблица 1

## Классификация взрывчатых материалов по степени опасности при обрашении с ними

|  |  |
| --- | --- |
| Группа совместимости (опасности) | Вещества, изделия |
| В | вещества, содержащие инициирующие ВВ |
| С | дефлагирующие и метательные ВВ |
| D | дымный порох; изделия содержащие детонирующие ВВ без средств инициирования и метательных зарядов |
| F | Изделия, содержащие средства инициирования и метательные заряды |
| G | Пиротехнические составы и изделия, содержащие их |

Промышленные ВВ по условиям применения разделяются на 7 классов и класс (С), который в свою очередь делится на 4 группы. Данная классификация разделяет ВВ на:

* ВВ для взрывания только на земной поверхности (большой отрицательный Кб) (класс 1);
* ВВ для взрывания на земной поверхности и в шахтах не опасных по взрывчатой пыли (Кб≅ 0) и по выделению метана и (класс 2);
* предохранительные ВВ для взрывания в подземных выработках где есть взрывчатая пыль и выделение метана (класс 3-7);
* ВВ и изделия из них (специальный класс С), предназначенные для специальных взрывных работ, кроме выработок, в которых возможно выделение взрывчатой пыли и метана (сварка, прессование, упрочнение металлов и т.д.)

По физическому состоянию промышленные ВВ делятся на гранулированные, порошкообразные, чешуйчатые, литые, прессованные, текучие, пластичные.

* 1. **Виды и компоненты промышленных ВВ**

В состав промышленных ВВ входит большое количество компонентов. Среди них могут быть как взрывчатые вещества (гексоген, тротил, ТЭН, нитроглицерин, октоген) так и невзрывчатые вещества (аммиачная селитра; гуаргам; полиакриламид; сода; жмыховая мука; торфяная, минеральное масло; порошкообразный алюминий; вода).

В основном нитросоединения представляют собой взрывчатые компоненты промышленных ВВ, содержащие нитрогруппу - NO2 (нитросоединения ароматического ряда – динитронафталин, тротил, нитрометан), -О-NO2 (нитраты спиртов – нитрогликоль, нитроглицерин, ТЭН), -N-NO2 (нитрамины – октоген, гексоген).

*Тротил* *(тринитротолуол)* - C6H2(NO2)3CH3 - малочувствительное термически и химически стойкое соединение, представляющее порошок белого цвета, желтеющий на свету. Токсичен, практически нерастворим в воде, хорошо детонирует в воде. Применяется для изготовления промежуточных детонаторов (Т-400Г, ТГ-500); как компонент аммиачно-селитренных ВВ; как самостоятельное ВВ (гранулотол).

*Нитроглицерин* СН(СН2ОNO2)3 - маслянистая бесцветная жидкость, твердеющая при температуре 13,2оС. Очень чувствителен к нагреванию и механическим воздействиям, очень токсичен, практически не растворим в воде. Одно из наиболее мощных ВВ. Используется в смеси с нитродигликолем и нитрогликолем для производства ВВ на основе нитроэфиров (детонит М, углениты).

*ТЭН* (тетранитропентаэритрит) С(СН2ОNО2)4 - кристаллическое белое вещество с насыпной плотностью около 1 г/см3. Токсичен, химически стоек, практически нерастворим в воде, чувствителен к механическим воздействиям. Флегматизированный и чистый ТЭН применяется в в качестве сердцевины нетермостойких детонирующих шнуров.

*Гексоген* (циклотриметилентринитрамин) (СН2)3N3(NO2)3, кристаллический белый порошок. Термически и химически стабилен, ядовит, длительно выдерживает высокую температуру, обладает высокой чувствительностью к механическим воздействиям. Имеет малый критический диаметр детонации. Используется как сенсибилизатор в аммиачно-селитренных ВВ. Используют во флегматизированном состоянии (до 6% парафина или церезина).

###### Октоген (циклотетраметилентетранитрамин) (СН2)4N4(NO2)4 - кристаллическое белое вещество с высокой термостабильностью и температурой плавления. Обладает малым критическим диаметром и высокой чувствительностью к механическим воздействиям.

*Тетрил* (тринитрофенилметилнитрамин) С6Н2(NO2)4NCH3.

Порошок кристаллический бледно-желтого цвета. Не взаимодействует с металлами. При воспламенении быстро горит с возможностью перехода горения в детонацию. Обладает инициирующей способностью и высокой чувствительностью.

В отдельную группу выделяют первичные инициирующие ВВ, которые применяются только для снаряжения средств инициирования. По сравнению с промышленными и другими ВВ они обладают значительно более высокой чувствительностью к внешним воздействиям, способны в малых количествах (десятые доли грамма) взрываться под действием слабого импульса (удар, накол, луч огня). По чувствительности инициирующие ВВ делят на *первичные* (азид свинца, гремучая ртуть, ТНРС) и *вторичные* (ТЭН, тетрил, гексоген).

*Гремучая ртуть* (ртутная соль гремучей кислоты - фульминат) Нg(ONC)2. Это мелкокристаллический белого цвета порошок с температурой вспышки ≈ 170оС и насыпной плотностью ≈ 1,2 г/см3. Хорошо прессуется до плотности 4 г/см3, сохраняя при этом инициирующую способность и чувствительность. Очень чувствительна к влаге (при влажности 10 % не детонирует). Очень чувствительного к трению в увлажненном состоянии вступает в реакцию с медью с образованием фульмината меди. В тех же условиях с алюминием образуется пористая невзрывчатая масса. Допустимая влажность при снаряжении капсюлей 0,03 %, а чашечку, в которой запрессовывают гремучую ртуть, покрывают лаком.

*Азид свинца* (свинцовая соль азотистоводородной кислоты ) Рb(N3)2.

Мелкокристаллический белый порошок. Не растворим в воде, не гигроскопичен, не теряет детонационной способности в увлажненном состоянии. Не взаимодействует с металлами в сухом состоянии. Запрессовывается в алюминиевые гильзы. В увлажненном состоянии взаимодействует с медью с образованием высокочувствительных соединений. Менее чувствителен к лучу огня, чем гремучая ртуть, однако превосходит гремучую ртуть по инициирующей способности.

*ТНРС (тринитрорезорцинат свинца)* С2Н6(NO2)3Pb.H2O - ртутная соль стифниновой кислоты (стифнат свинца). Порошок кристаллический золотисто-желтого цвета. Не вступает в химические реакции с металлами. Занимает промежуточное место по чувствительности и слабее гремучей ртути и азида свинца по инициирующей способности. Применяется как промежуточный заряд массой 0,1 г для инициирования азида свинца.

Основные характеристики первичных и вторичных инициирующих веществ представлены в табл. 2.

#### Таблица 2

## Характеристика инициирующих ВВ

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Первичные | | | Вторичные | | |
| гремучая  ртуть | азид  свинца | ТНРС | тет-  рил | тэн | гексо-  ген |
| Теплота взрыва, МДж/кг  Объем газов, л/кг  Температура взрыва, оС  Плотность, г/см3  Кислородный баланс, %  Скорость детонации, км/с  Работоспособность в  свинцовой бомбе, см3  Температура вспышки, оС  Чувствительность к удару  (высота падения груза  массой 2 кг), см | 1,49  316  4450  3,5  -11,8  5,4  110  165  2 | 1,59  308  4300  4,6  -  5,3  115  327  4 | 1,64  448  3030  2,9  -56  5,2  110  270  11 | 4,2  412  3810  1  -47,4  7,2  350  195  30 | 6,2  780  4000  1  -10,1  8,2  500  220  30 | 5,44  890  3850  1,05  -20,1  8,3  520  203  30 |

*Аммиачная селитра NH4NO3 -* белый кристаллический порошок. Выпускается несколько видов аммиачной селитры (АС): мелкокристаллическая, порошкообразная, гранулированная пористая, гранулированная беспористая, водоустойчивая кристаллическая. АС содержит 35 % азота, 5 % водорода, 60 % кислорода. 20 % кислорода при взрывчатом превращении выделяется в свободном состоянии. Температура плавления 160 оС, при влажности 2,5 % температура плавления снижается до 140 оС. Термостабильна и химически стойка (термический распад начинается при температуре 185-200 оС). В воде очень хорошо растворяется (178 г в 100 мл воды при Т=20 оС). Сильно подвержена слеживанию, гигроскопична, особенно при увеличении температуры и влажности. С некоторыми веществами (сульфиды, сера, железные руды) вступает в химические реакции с выделением тепла, что может привести к самопроизвольной детонации. Разложение АС может произойти по нескольким реакциям. В идеальных условиях при детонации АС выделяется максимальное количество теплоты (384 ккал/кг) и газообразных продуктов ( ≈ 980 л/кг):

NH4NO3 → 2H2O↑ + N2↑ + 0,5O2 + Q

АС пожароопасна, что связано с возможностью перехода горения в детонацию. С увеличением диаметра гранул и влажности способность к детонации снижается. Примеси горючих веществ (масло, дизтопливо) при содержании до 6 % резко увеличивают чувствительность АС к детонации. Среди всех выпускаемых селитр (калиевая, натриевая, кальциевая) стоимость АС наименьшая. В качестве окислителя используется в большинстве промышленных ВВ.

Другие виды селитр имеют более высокую плотность, содержат значительно больше "свободного" кислорода (в 2-2,5 раза), обладают более высокой чувствительностью, однако при взрывчатом превращении образуют твердые окислы и значительно меньше газообразных продуктов, что значительно снижает их ценность как возможного компонента для промышленных ВВ. Используются в основном в водонаполненных ВВ для повышения пластичности, плотности, снижения температуры замерзания (особенно кальциевая).

*Дизельные масла и топлива.* Для изготовления промышленных ВВ используют все выпускаемые виды дизельного топлива (зимнее, арктическое, летнее и др.) с цетановым числом не менее 40 или низковязкие виды масел (веретенное, индустриальное, приборное, соляровое, трансформаторное). Степень очистки данных масел от различных примесей удовлетворяет требованиям ГОСТ и ТУ для промышленных ВВ.

*Карбамид* (мочевина) Н2NCOOH2. Нетоксичное, сыпучее, неслеживающееся вещество. Используется для очистки нефти от парафинов, в качестве удобрения. Не взрывоопасно. Применяется в горячельющихся ВВ (карбатолы) для получения низкоплавких смесей (смесь карбамида и АС с 5% воды плавится при tо ≈75-80оС).

*Загустители* - высокомолекулярные промышленные и природные вещества, предназначенные для повышения физической стойкости (отсутствие расслоения) водонаполненных (водосодержащих) промышленных ВВ и придания ВВ густой (вязкой) консистенции. В качестве загустителя наиболее часто используются ПАА (полиакриламид), КМЦ (карбоксиметилцеллюлоза) и гуаргам (природный продукт). Выпускаются в виде порошков, которые затем, растворяясь в воде, значительно повышают вязкость растворов. Гуаргам обладает лучшей растворимостью, несколько хуже растворяется КМЦ. Для растворения ПАА необходимо постоянное перемешивание и подогретая вода. Растворимость в воде загустителей 98-99%.

###### ПАА используется для изготовления гелеобразных ВВ в заводских условиях, КМЦ используется в водонаполненных ВВ со структурообразующими добавками. Гуаргам - продукт, получаемый размолом высушенных бобов некоторых видов тропической акации. В настоящее время в промышленных ВВ гуаргам не используется.

*Cтруктурообразующие добавки (сшивки) -* применяются для поперечной связи в водных растворах сшивки макромолекул загустителей. В качестве сшивок используются: нитрат хрома, сернокислый хром, калиевые квасцы хрома (для КМЦ), бура (для ПАА и гуаргама). Масса сшивок, вводимых в растворы ≈ 0,01-0,05% по отношению к массе загустителя.

*Горючие металлические добавки.* Одним из путей повышения энергии взрыва является введение в состав промышленных ВВ порошкообразных металлов. Химические реакции окисления металлов идут со значительно большим выделением теплоты, чем при окислении углерода и водорода. При добавке алюминиевой пудры до 15% по массе ВВ (алюмотол) достигается наибольший эффект. Дальнейшее увеличение массы алюминия приводит к удорожанию ВВ. В качестве добавок могут быть использованы и другие более экономичные и менее дефицитные металлы и их соединения (железо, кремний, ферросилиций, силикокальций). Данные вещества также обеспечивают высокую объемную концентрацию энергии (практически не уступая алюминию) и позволяют снизить стоимость ВВ на 10-15%.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите первых ученых из Аравии, открывших зажигательные смеси
2. История развития взрывного дела в Германии и Европе
3. Влияние огнестрельного оружия на совершенствование военной техники
4. Перечислите основные представители промышленных взрывчатых веществ
5. Перечислите основные компоненты промышленных взрывчатых веществ

**2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПАРАМЕТРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

**2.1 Основные понятия и определение взрыва**

По своим основным параметрам взрывы делят на:

*физические* - происходит физическое преобразование исследуемого вещества без изменения химической природы (взрывы паровых котлов, баллонов с сжиженным газом и т.д.);

*химические* – в этом случае происходит чрезвычайно быстрое химическое превращение исходных веществ (образование новых химических соединений за счет реакций окисления углерода, водорода, алюминия) с выделением большого количества тепла (до 6.103 кДж/кг) и газообразных продуктов (до 1000 л/кг);

*ядерные* - происходят реакции деления ядер с образованием новых химических элементов и выделением значительного количества тепла (до 4.1014 кДж/кг).

Само собой в горном производстве применяются химические взрывы.

* 1. **Параметры взрыва промышленных взрывчатых веществ**

Обычно взрывчатые вещества подвергаются превращению под действием внешнего импульса (удар, накол, быстрый нагрев) и способны детонировать (взрываться), т.е. вступать в химическую реакцию с выделением теплоты и газов и совершать механическую работу (дробление и перемещение горных пород).

Энергия при взрыве выделяется при протекании химических реакций окисления водорода в воду, углерода в оксиды СО и СО2 кислородом, входящим в состав молекул взрывчатого вещества (при взрыве 1 л нитроглицерина выделяется ≈ 104 кДж, что значительно меньше энергии, выделяемой при сгорании такого же количества спирта или бензина). Однако, при взрыве энергия выделяется в течение доли секунды, что обеспечивает большую мощность взрыва.

Выделяемым теплом химических превращении нагреваются образующиеся продукты взрыва (газы) до температуры 2.103 - 5.103 оС. Так как скорость взрыва очень велика, то в зоне взрыва в начальный момент газы развивают давление до 104  МПа, что обеспечивает разрушение и перемещение твердых горных пород.

Отличительными признаками взрыва взрывчатых веществ являются:

1. Сверхзвуковая скорость выделения энергии.
2. Высокая объемная концентрация энергии.
3. Экзотермичность процесса.
4. Образование большого количества газообразных продуктов.
   1. **Основные характеристики промышленных ВВ**

Взрывчатые вещества - химические соединения или смеси, способные под действием внешнего импульса к быстрому самораспространяющемуся экзотермическому процессу.

По физическому состоянию взрывчатые вещества делят на:

а) твердые однокомпонентные соединения или смеси твердых веществ (к ним относятся тротил, гексоген, пикриновая кислота; смесь тротила с аммиачной селитрой);

б) смеси твердых и жидких веществ (из известных относятсяаммиачная селитра и дизельное топливо, аммиачная селитра и минеральное масло);

в) смеси газов (метан в воздухе);

г) смеси твердых веществ и газов (угольная пыль в воздухе может тоже относится к ВВ);

д) смеси жидких веществ (например смеси нитроэфиров, четырехокись азота и керосин).

Практическое применение в качестве промышленных ВВ получили взрывчатые вещества групп а и б.

В состав известных промышленных взрывчатых веществ может входить несколько компонентов, которые придают каждому ВВ определенные свойства. Все эти компоненты делят на:

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

*горючие добавки* - вещества, содержащие в большом количестве углерод и водород ( например уголь, древесная мука, жидкие углеводороды), а также алюминий;

*сенсибилизаторы* - наиболее мощные взрывчатые вещества, вводимые в смеси для повышения чувствительности и передаче детонации (например гексоген, нитроглицерин);

*стабилизаторы* - высокомолекулярные вещества, например торфяная и жмыховая мука, обычно вводятся в состав ВВ для предотвращения расслоения водонаполненных и слеживания порошкообразных ВВ;

*флегматизаторы* - легкоплавкие углеводороды, которыми обволакиваются частицы ВВ, что приводит к снижению чувствительности к тепловому и инициируещему импульсам (например парафин, вазелин);

*пламегасители* - для взрывчатых веществ, используемых в подземных работах, в которых возможно выделение метана и (или) взрывчатой пыли снижают температуру взрыва. В качестве пламегасителей наибольшее распространение получили NaCl и KCl.

**2.4 Классификация промышленных ВВ. Физико-химические свойства промышленных ВВ**

Промышленные взрывчатые вещества классифицируют по химическому составу или физическому состоянию, по наиболее характерным особенностям их свойств или рецептурного состава, по области и условиям применения.

Все взрывчатые вещества по *химическому составу* подразделяются на индивидуальные химические соединения и механические смеси.

Из индивидуальных ВВ в промышленности на взрывных работах самостоятельно применяют только тротил, главным образом в виде гранулотола и шашек-детонаторов. Тетрил используют, главным образом, в капсюлях детонаторах, а тэн (реже гексоген) – в детонирующих шнурах.

Из смесевых взрывчатых веществ в промышленности наиболее широкое применение нашли смеси на основе аммиачной селитры, называемые аммиачно-селитренными ВВ: аммониты, аммоналы, детониты, углениты и др. Особую группу составляют водонаполненные ВВ суспензионного и эмульсионного типов различной консистенции: акватолы, акваниты, акваналы, ифзаниты, эмульхимы, украиниты и др. Их еще иначе называют водосодержащими или растворонаполненными ВВ. Вода с селитрой в составе таких ВВ образуют насыщенный раствор, составляющий дисперсионную среду суспензий и эмульсий.

*Аммониты* – смесь аммиачной селитры с тротилом реже с гексогеном, динитронафталином и невзрывчатыми горючими компонентами. Предохранительные аммониты содержат дополнительно пламегасители – хлориды щелочных металлов. В некоторых из них вместо тротила содержатся жидкие нитроэфиры (серный и нефтяной аммониты).

*Граммониты* – аммониты двухкомпонентные в гранулированном виде.

*Аммоналы -* аммониты, содержащие алюминий, аммоналы в гранулированном виде называют *граммоналами*.

*Динамоны –* смесь аммиачной селитры с невзрывчатыми горючими компонентами: масла, целлюлоза, сажа, растительная мука и т.д. Динамоны в гранулированном виде называют *гранулитами*. К ним относится также *игданит* - стехиометрическая смесь гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом.

*Акватолы -*  это водонаполненные суспензионные взрывчатые вещества текучей консистенции, твердой фазой которых является гранулотол, а жидкой – насыщенный загущенный раствор аммиачной селитры.

*Акваниты и акваналы* – водонаполненные суспензионные взрывчатые вещества пластичной консистенции, активной основой которых являются аммонитные и аммональные смеси с присутствием кальциевой или натриевой селитры и пластифицирующих добавок.

*Ифзаниты –*суспензионные растворосодержащие ВВ, твердая фаза которых смесь гранулированной селитры и гранулотола наполненные концентрированными или загущенными растворами аммиачной селитры на месте применения в момент заряжания скважин.

*Карботолы –* отвердевающие горячельющиеся ВВ, изготавливаемые на месте применения на основе низкоплавкой эвтектической смеси водорастворимых компонентов с малым содержанием воды.

*Эмульхимы –* эмульсионные водосодержащие ВВ, изготавливаемые, как правило, на месте применения, дисперсионную среду которых представляет насыщенный водный раствор аммиачной селитры, дисперсную фазу – минеральные масла или дизельное топливо.

*По физическому состоянию* взрывчатые вещества можно подразделить на твердомонолитные (литые, прессованные), сыпучие (порошкообразные и гранулированные), пластичные и жидкотекучие суспензии и эмульсии. К последним относятся акватолы, ифзаниты, карботолы, эмульхимы.

Литыми выпускают тротило-гексогеновые шашки. В прессованном виде выпускают тротиловые шашки – патроны и детонаторы скального аммонита. Почти все порошкообразные и некоторые пластичные взрывчатые вещества для удобства применения патронируют.

По *наиболее характерным особенностям свойств* современные промышленные ВВ разделяют на *неводоустойчивые* и *водоустойчивые.*

Характерные особенности рецептурного состава некоторых ВВ позволяют их выделить в отдельные группы нитроэфирных и *гексогенсодержащих* ВВ, требующих более осторожного обращения в производстве и применении. К гексогенсодержащим ВВ относятся скальный аммонит № 1 и скальный аммонал № 3. К нитроэфирным ВВ порошкообразного типа относятся непредохранительные детониты и предохранительные углениты.

Промышленные ВВ классифицируются  *по условиям и области и безопасного применения*. Согласно этим признакам все ВВ, допущенные к взрывным работам, разделены на шесть классов. Первые два класса составляют непредохранительные ВВ, допущенные для открытых или подземных работ в шахтах, не опасных по газу и пыли, остальные классы – предохранительные ВВ различной степени безопасности.

Приведенная классификация по условиям применения выполнена, в основном, применительно к горнодобывающим отраслям промышленности.

Каждому классу ВВ предъявляют специальные требования и методы их испытаний. Так, если для ВВ, допущенных к открытым работам, пока не регламентируется количество ядовитых газов в продуктах взрыва, то для непредохранительных ВВ, допущенных в шахты, обязательным требованием является минимальное образование ядовитых газов и повышенная детонационная способность, а для предохранительных дополнительно - соответствующая степень антигризутности.

К наиболее важным физико-химическим свойствам ВВ, определяющим наряду со взрывчатыми характеристиками эксплуатационные качества ВВ и их стабильность, относятся гигроскопичность, слеживаемость, эксудация, химическая стойкость, водоустойчивость, пластичность и сыпучесть. Последние три свойства определяют физическую стойкость ВВ.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Перечислите отличительные признаки взрыва ВВ
2. Что входит в состав известных промышленных взрывчатых веществ? Перечислите оосновные характеристики промышленных ВВ
3. Требования предъявляемые к ВВ применяемым к горнодобывающим отраслям промышленности
4. Классификация промышленных ВВ

**3. АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА**

**3.1. Взрывчатые свойства и характеристики аммиачной селитры**

Основной составляющей частью аммиачно-селитренных ВВ является аммиачная селитра - окислитель наиболее распространенный в промышленных ВВ. Доступность исходного сырья, безопасность и простота технологии получения и переработки аммиачной селитры при производстве ВВ обусловили ее массовое применение. Основным фактором является и то, что сама аммиачная селитра в чистом виде является взрывчатым веществом: работоспособность (фугасность) в свинцовой бомбе Трауцля 165-230 см3 , теплота ее взрыва 335 ккал/кг, что примерно в 3 раза меньше теплоты взрыва тротила. Скорость детонации порядка 1,5-2,5 км/с, что требует для ее взрывания промежуточный детонатор из мощного ВВ.

Аммиачная селитра NH4NO3 – по физическим параметрам белое кристаллическое вещество с молекулярной массой 80, содержит 60 % кислорода, 5% водорода и 35 % азота. Аммиачная селитра существует в пяти стабильных формах, области существования которых приведены в таблице 3.1.

Аммиачная селитра, кроме указанных пяти стабильных модификаций, имеет еще метастабильные формы, возникающие под влиянием некоторых добавок и других факторов (термообработки, давление). В особенности это видно в присутствии воды. В сухом нитрате происходят только превращения между формами V, IV,II,I. Превращение же IV ↔III происходят только в присутствии влаги или во влажной атмосфере, либо этот период смещается в области температур 323-328 К.

Таблица 3.1

# Характеристики и области существования кристаллических форм нитрата аммония

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Область существования модификации, К | Модификация | Плотность, г/см3 | Теплота превращения (при температуре, К), кал/г |
| 442,6-398,8 | кубическая (I) | 1,55-1,57 | I ↔II; 13,2 (398,8) |
| 398,8-357,1 | тетрагональная (II) | 1,60-1,64 | II↔ II;I 4,0 (357,1) |
| 357,1-305,3 | ромбическая или моноклинная (III) | 1,66 | III↔IV; 5,1 (305,3) |
| 305,3-256,0  (-17 оС) | ромбическая бипирамидальная (IV) | 1,725 | IV ↔V; 1,4 (256,0) |
| Ниже 256,0 | тетрагональная (V) | 1,725 | - |

Температура плавления аммиачной селитры лежит в пределах 442,0-443,4 К, теплота плавления - 16,2 кал/г. Испарение становится заметным с температуры 403-433 К.

Интенсивное разложение аммиачной селитры происходит в интервале температур 483-613 К.

Разложение аммиачной селитры в зависимости от температуры может происходить по следующим основным реакциям:

при 383 К NH4NO3 = НNO3 + NH3  + 41 ккал/моль;

при 458-473 К NH4NO3 = 2NO2 + 2Н2О + 30,3 ккал/моль;

при 503 К и выше

2NH4NO3 = 2N2 +О2 +4Н2О + 30,7 ккал/моль.

При температуре выше 673 К разложение аммиачной селитры протекает со взрывом по одной из следующих реакций:

4NH4NO3 = 3N2 + 2NО2 +8Н2О + 29,5 ккал/моль,

8NH4NO3 = 2NО2+4NО+5N2+16Н2О+49,5 ккал/моль.

Термическую стойкость селитры понижают органические вещества, содержащие углеводы: крахмал, сахариды и глюкоза. Целлюлозу содержащие вещества: бумага, картон, древесина, хлопчатобумажные и льносодержащие ткани также понижают термическую стойкость. С нитратом аммония легко взаимодействуют сера и сульфиды (сульфидные руды), азотная кислота и окислы азота, серная и фосфорная кислоты, многие металлы (особенно в виде порошков) - цинк, медь, кадмий, никель, магний, висмут. Особенно сильно влияют на термическую стойкость аммиачной селитры азотная кислота и нитритные соли.

Не взаимодействуют с селитрой алюминий, железо, их окислы и соли.

Вода же является катализатором процесса термического распада селитры.

Также к группе веществ, не влияющих на термическую стойкость аммиачной селитры, можно отнести кизельгур, каолин, сульфаты бария и аммония, железо и их оксиды и соли. К группе веществ, стабилизирующих аммиачную селитру, следует отнести мочевину [*СО(NH2)2*], уротропин, карбонаты кальция и магния.

Нитрат аммония очень гигроскопична, хорошо растворяется в воде, этиловом и метиловом спиртах, пиридине, ацетоне и в жидком аммиаке. Для придания водоустойчивости в аммиачную селитру добавляют одновременно парафин, жирные кислоты и соли железа.

На практике процесс получения аммиачной селитры достаточно прост. В качестве сырья для производства аммиачной селитры используют газообразный аммиак и разбавленную азотную кислоту. Производство аммиачной селитры по технологии условно делят на четыре стадии:

* нейтрализация (45-50)% азотной кислоты газообразным аммиаком

*NH3 + HNO3 = NH4NO3 +Q,*

* упаривание растворов аммиачной селитры,
* кристаллизация расплава аммиачной селитры,
* упаковка и складирование аммиачной селитры.

В промышленном производстве аммиачная селитра выпускается по ГОСТ 2-85 трех сортов: А – мелкокристаллическая; Б- чешуйчатая и кристаллическая; В – гранулированная. Аммиачная селитра сортов А и Б используется в промышленности, а сорта В – в сельском хозяйстве. Кроме того, аммиачная селитра выпускается и по ГОСТ 14702-79, которая предназначена для производства промышленных ВВ. В соответствии с этим ГОСТом изготавливается водоустойчивая аммиачная селитра двух марок: ЖВК – кристаллическая, ЖВГ- гранулированная.

Водоустойчивость достигается за счет введения в состав аммиачной селитры гидрофобных добавок: жирных кислот (фракций *С17-С20*) и парафина (0,3-0,4% по массе в соотношении 1:1) и железа (0,06-0,09) % по массе.

Критический диаметр для зарядов аммиачной селитры зависит от степени измельчения, влажности и плотности. По данным Беляева А.Ф., детонация сухой тонкоизмельченной селитры при плотности 0,8 г/см3  распространяется устойчиво в открытых зарядах диаметром около 100 мм. Взрывчатое превращение чешуйчатой селитры частицы размером 1 мм с влажностью 1 % массе затухает в заряде диаметром 300 мм. Аммиачная селитра с влагосодержанием 3 % по массе не взрывается в зарядах еще больших диаметров. А.Ф. Беляев в массивной, не подверженной разрушению и деформации оболочке, получил устойчивую детонацию аммиачной селитры в заряде диаметром 7 мм при инициировании одним капсюлем- детонатором.

М.Кук получил следующие зависимости от диаметра заряда (*D3)* измельченной селитры величины скорости детонации (*D)*:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *D3, мм* | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 460 |
| *D, м/с* | отказ | 1455 | 1600 | 1800 | 2150 | 2750 |

Г.З.Поздняков установил, что небольшие количества гидрофобных добавок (до 0,4 % масс.) в водоустойчивой селитре существенно не увеличивает взрывоопасность ее по сравнению с неводоустойчивой селитрой. Но пыль водоустойчивой селитры в сухом состоянии обладает более высокой взрывоопасностью. По термической стабильности водоустойчивая селитра уступает химически чистой селитре (нитрат аммония). Критический диаметр детонации водоустойчивой селитры несколько меньше, чем у неводоустойчивой селитры.

По данным Г.З.Позднякова скорость детонации неводоустойчивой селитры в металлической трубе диаметром 40 мм составляет 1950 м/с, водоустойчивой селитры в этих же условиях – 2570 м/с, а скорость детонации ее пыли – 3400 м/с.

Работоспособность (фугасность) аммиачной селитры в зависимости от массовой доли органической примеси в ее составе определена как:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Содержание парафина, % масс. | 1 | 2,5 | 4 | 5,5 |
| Работоспособность, см 3 | 178 | 207 | 260 | 325 |

Сухая и химически чистая тонкоизмельченная аммиачная селитра неводоустойчивая не чувствительна к капсюлю- детонатору и детонирующему шнуру. Только в прочной металлической оболочке тонкоизмельченная селитра детонирует от капсюля – детонатора и детонирующего шнура. Для возбуждения незатухающей детонации в аммиачной селитре обычного измельчения в бумажной оболочке необходим промежуточный детонатор в виде шашки прессованного тротила массой не менее 50 г. Чувствительность к детонации возрастает при введении в селитру органических добавок, возрастает также чувствительность к удару.

* 1. **Динамоны и ее основные характеристики**

*Динамоны* – это смеси невзрывчатых горючих материалов и аммиачной селитры. Динамоны содержат самые различные горючие материалы: торф, мох, древесные опилки, парафин, соляровое масло и др. Критический диаметр детонации динамонов может меняться от нескольких миллиметров до десятков сантиметров. На него оказывают влияние дисперсность частиц, материал оболочки, инициирующий импульс.

Взрывчатые свойства динамонов зависят от технологии и состава их изготовления. У динамонов сильная зависимость детонационной способности от влажности, слеживаемости, степени уплотнения из-за отсутствия взрывчатого сенсибилизатора в их составе.

Таблица 3.2

Физико –химические характеристики динамонов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Состав, % масс: | АМ-8 | АМ-10 |
| Аммиачная селитра ЖВ | 89 | 87,7 |
| Масло минеральное | 3 | 2,3 |
| Пудра алюминиевая | 8 | 10 |
| Кислородный баланс, % | -0,1 | +0,25 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1180 | 1295 |
| Объем газов, л/кг | 830 | 800 |
| Работоспособность, см3 | 420-440 | 425-460 |
| Бризантность, мм | 14-16 | 15-17 |
| Критический диаметр, мм |  |  |
| в бумажной оболочке | 20-22 | 15-18 |
| в стальной оболочке | 10 | 10 |
| Скорость детонации заряда, м/с |  |  |
| в бумажной оболочке диаметром 60 мм | 3400-3600 | 3400-3700 |
| в стальной оболочке диаметром 17 мм | 3170 | 3290 |

Динамоны на основе гранулированной селитры в последнее время получили широкое распространение, пропитанной 4-6 % масс. жидкими, термоплавкими нефтепродуктами, главным образом дизельным топливом и парафином.

Крупнодисперсная структура гранулированных динамонов обусловливает их восприимчивость к взрывному импульсу по сравнению с порошкообразными динамонами и пониженную детонационную способность. Гранулированные динамоны устойчиво детонируют только от дополнительных детонаторов: детонита, тротиловых шашок и т.д.). В случае применения микропористой гранулированной аммиачной селитры детонационная способность гранулированных динамонов заметно возрастает, выпуску которой предается большое значение в развитых странах.

Основными достоинствами гранулированных динамонов являются их низкая чувствительность к механическим воздействиям, высокая сыпучесть, отсутствие пыления. Простейшие двухкомпонентные составы: гранулированная селитра – соляровое масло можно изготовить непосредственно на горных предприятиях, используя для этого передвижные или стационарные смесительно-зарядные агрегаты.

Первым видом гранулированного динамона, изготовленного непосредственно на горных предприятиях, стал *игданит,* разработанный в Институте горного дела им. А.А.Скочинского в России. Для изготовления игданита используют несколько сортов дизельного топлива, исходя из погодных условий. Помимо дизельного топлива в некоторых случаях допускается использование дешевых нефтепродуктов и их отходов (мазут, отработанные масла).

Позже были внедрены *гранулиты* - динамоны заводского изготовления. Это, как правило, трехкомпонентные составы, двухкомпонентный состав назван гранулитом. Важнейшей эксплуатационной характеристикой для гранулитов заводского изготовления является физическая стабильность, определяемая иммобилизационной способностью аммиачной селитры по отношению к жидким топливам и маслам. Для повышения иммобилизационной способности аммиачной селитры существуют два пути:

- повысить у аммиачной селитры пористость гранул (наличие развитой внутренней поверхности у гранул селитры),

- применить маслопоглощающие поверхностные горючие добавки.

Вследствие из этого, двухкомпонентный состав: гранулит М изготавливается на пористой селитре марки П, а трехкомпонентные составы: гранулиты АС-8, АС-4, С-2 изготавливаются на обычной непористой селитре марки Б. В качестве жидкого горючего применяют масла марки 45 или индустриальные марки И-40А в трехкомпонентных составах, масло соляровое или поглотительное – в двухкомпонентных составах. В качестве добавок применяют алюминиевую пудру и древесную муку в гранулитах марки С – в гранулитах марки АС. Последняя значительно повышают теплоту взрыва ВВ. Наличие жидкой фазы обусловливает легкую уплотняемость игданита и гранулита. Плотность заряжания шпуров при пневмозаряжании достигает 1,2 г/см3, а скважин – 1,1 г/см3, что значительно превышает плотность заряжания патронированными и прессованными аммонитами (соответственно 0,7-0,8 и 1 г/см3).

Благодаря высокой объемной энергии метиллизированные гранулиты уплотненные в шпурах (скважинах) по эффективности взрывания не уступают наиболее мощным патронированным ВВ – детонитам и скальным аммонитам.

К недостаткам гранулитов и игданита относится их низкая водоустойчивость. Поэтому в поле зрения промышленности находятся и горючие компоненты: низкоплавкие нефтепродукты (парафин, воск и т.д.), которые повышают водоустойчивость гранулитов. Гранулы, покрытые застывшей пленкой водонерастворимых нефтепродуктов, при относительно длительном пребывании в воде, сохраняют свои взрывчатые свойства. Гранулит П (смесь аммиачной селитры с парафином) характеризуется следующими показателями: критический диаметр открытых зарядов при промежуточном детонаторе 100-200 г, тротила – 90 мм, скорость детонации при этом диаметре составила 1880-2020 м/с. Гранулиты малочувствительны к капсюлю- детонатору и детонирующему шнуру, но надежно детонируют от промежуточного детонатора – патрона аммонита №6 ЖВ массой 200 г. Состав и свойства гранулитов приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Состав и свойства гранулитов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Гранулиты | | | | Игданит |
| АС-8 | АС-4 | С-2 | М |
| Состав, % по массе  Аммиачная селитра гранулированная | 89 | 91,8 | 92,8 | 94,5(пористая) | 94,5 |
| Масло индустриальное | 3,0 | 4,2 | 4,2 | - | - |
| Масло приборное | - | - | - | 5,5 | 5,5 |
| Пудра алюминиевая | 8 | 4 | - | - | - |
| Мука древесная | - | - | 3 | - | - |
| Кислородный баланс, % | +0,34 | +0,41 | +0,06 | +0,14 | +0,14 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1242 | 1080 | 917 | 920 | 920 |
| Объем газов, л/кг | 847 | 907 | 985 | 980 | 980 |
| Работоспособность, см3 | 410-430 | 390-410 | 320-330 | 320-330 | 320-330 |
| Бризантность при взрывании в стальных кольцах, мм | 24-28 | 22-26 | 15-22 | 18-22 | 15-20 |
| Продолжение таблицы 3.3 | | | | | |
| Критический диаметр в бумажной оболочке, мм | 80-100 | 100-120 | 120-130 | 70-100 | 120-150 |
| Скорость детонации, м/с (заряд массой 50г в стальной оболочке диаметром 38-42 мм, дополнительный детонатор – шашка массой 102) | 3000-3600 | 2600-3200 | 2400-3200 | 2500-3600 | 2200-2800 |
| Чувствительность к удару, % | 8-12 | 4-12 | 0-4 | 0 | 0 |

**Вопросы для самоконтроля**

1. Укажите стабильные модификации и метастабильные формы аммиачной селитры.

2. Перечислите органические вещества, понижающие термическую стойкость селитры.

3. Перечислите основные характеристики динамонов

4. Какими недостатками обладают гранулиты и игданиты

**4 ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АММОНИТОВ**

**4.1 Состав, физико-химические и взрывчатые свойства аммонитов**

*Аммониты* – это промышленные взрывчатые вещества, состоящие из аммиачной селитры и нитросоединении, преимущественно тротил.

Аммониты бывают тонкоизмельченные и грубодисперсные, в зависимости от степени измельчения компонентов.

Грубодисперсные *граммониты*  применяются для заряжания скважин увеличенного диаметра (80 мм и более). Они состоят из гранулированной селитры и гранулированного или чешуированного тротила.

Добавка горючих компонентов (древесная или торфяная мука) предусмотрена для снижения производственных затрат и снижения слеживаемости. Тротил в аммонитах играет роль активного горючего, являясь сенсибилизатором, так как он значительно быстрее и легче аммиачной селитры разлагается в детонационной волне. Аммониты имеют более высокую детонационную способность, чем динамоны. Для получения ВВ с очень малым критическим диаметром и высокой критической плотностью и для еще большего повышения детонационной способности в них вводят дополнительный сенсибилизатор – нитроглицерин, гексоген или тэн.

Детонационные свойства аммонитов регулируются содержанием тротила и дисперсностью компонентов. Увеличение содержания тротила в аммонитах при заданной плотности уменьшает диаметры детонации (*dкр, dпр*); при заданном диаметре заряда – увеличиваются критическая (соответствует границе устойчивой детонации) и оптимальная (соответствует максимуму скорости детонации) плотности ВВ. При содержании тротила больше 50 % по массе аммонит приобретает детонационные свойства, близкие к свойствам тротила в достаточно широком интервале. С увеличением плотности *dкр* не увеличивается, как это свойственно низкопроцентным по тротилу аммонитам, а уменьшается, как у тротила.

Энергетические характеристики аммонитов (насыпных и без воды) наиболее высоки при стехиометрическом соотношении компонентов.

Стехиометрическому соотношению соответствует смесь, содержащая 79 % по массе аммиачной селитры и 21 % по массе тротила. Эту смесь в порошкообразном виде часто используют за эталон для сравнительных оценок (*QV =*1030 ккал/кг) взрывчатых свойств промышленных взрывчатых веществ. Смесь чешуйчатого тротила и гранулированной селитры того же состава называют граммонитом 79/21.

Основное назначение порошкообразных аммонитов - заряжание скважин и шпуров при подземных разработках патронами диаметром от 32 до 90 мм. Для изготовления современных аммонитов в основном используется водоустойчивая селитра ЖВ. Для подземных работ наиболее распространенным аммонитом является *аммонит №6 ЖВ*. При очистных работах в некоторых подземных рудниках применяют *динафталит,* изготавливаемый по бегунной технологии. Аммонит 7ЖВ, ранее применяемый в подземных взрывах пород малой и средней крепости (при добыче бурых углей, калийных руд и т.д.), в настоящее время не выпускается из-за большой трудоемкости производства.

*Аммоналы* – это смеси алюминия и аммиачной селитры по энергетике значительно выше, чем смеси селитры с тротилом. Максимальное количество тепла (*Q* =2330 ккал/кг) выделяется при взрыве смеси, содержащей 40 % по массе алюминия, согласно реакции:

*NH4 NO3 + 2 Al → Al2O3 +2H2 + N2.*

При взрыве же смеси, содержащей 18,5 % по массе алюминия, в продуктах реакции присутствует вода:

*3NH4 NO3 + 2 Al → Al2O3 +6H2О + 3N2.*

Количество выделившегося тепла (*QV*) составляет около 1600 ккал/кг.

Аммоналы из-за их низкой детонационной способности в чистом виде редко применяются во взрывных работах (большой критический диаметр, малая восприимчивость к детонационному импульсу). При введении алюминия в количестве 4-10 % по массе теплота взрыва аммонита повышается на 100-300 ккал/кг (аммонал ВА-4 и скальные аммониты -аммоналы).

*Скальный аммонит №1* (*аммонал №1*) предназначен для взрывания особо крепких пород и выпускается преимущественно в прессованном виде.

*Скальный аммонал №3* выпускается в порошкообразном патронированном виде уменьшенным диаметром в патронах нормального диаметра (32-36 мм и 60-90 мм) .

Применение порошкообразных аммонитов в настоящее время неперспективно: они не отвечают требованиям механизированных способов заряжания, пылят, слеживаются и плохо транспортируются. Перспективными они остаются только в качестве патронов-боевиков.

Эти негативные свойства порошкообразных аммонитов отчасти устранены в *граммонитах*, в которых аммиачная селитра представлена в виде гранул размером 2-3 мм, а тротил – в виде чешуек в *граммонитах* 79/21 и 79/21 ГС, в виде гранул – в граммоните 30/70, в виде пленки тротила, покрывающей гранулы селитры при его кристаллизации из расплава в *граммонитах* 50/50-В и 30/70-В.

В *граммоналы* (алюминиевый порошок в расплавленном тротиле и гранулированные отвердевшие суспензии измельченной селитры), кроме тротила, входит алюминий. Граммоналы и граммониты в промышленности представлены как с нулевым, так и с отрицательным кислородным балансом. Первые применяются на дневной поверхности так и под землей, вторые предназначены только для открытых работ.

Наиболее распространен во взрывных работах аммонит 79/21, он хуже уплотняется по сравнению с гранулитами и не обладает водоустойчивостью.

В *граммоните 30/70* селитра сравнительно быстро переходит в раствор и не имеет гидрофобной защиты. Однако и в растворе она участвует в процессе взрыва как окислитель до тех пор, пока ее объем (в растворе) не превышает объем заряда; практически при этом энергетика ВВ (с водой иммобилизационной) соответствует энергетике водонаполненного тротила. Если количество воды становится предельным, то участие растворенной селитры будет не полным в химических процессах взрыва. Граммонит более эффективен в частично обводненных скважинах, где нет проточной воды. Тротил в граммоните 30/70 применяется в виде гранул размером 5 мм. Гранулы с такими размерами лучше тонут в воде и меньше флегматизируются водой из-за снижения поверхности соприкосновения тротила с водой.

Водоустойчивые граммониты марки В получают разбрызгиванием расплавленного тротила (температура плавления ~82оС) на гранулы селитры в аппаратах «кипящего» слоя, граммоналы – смешением алюминиевого порошка и селитры с расплавленным тротилом в лопастных смесителях.

*Граммониты* 30/70-В и 50/50-В, а также *граммонал* А-45 применяют на открытых работах, два первых по мощности близки к тротилу, а третий - значительно превышает тротил. Водоустойчивость их повышается с увеличением содержания тротила, наиболее стойким к воде является состав 30/70-В. *Граммонал* А-8 предназначен для подземных работ, при небольшом увлажнении не пылит и хорошо уплотняется в скважинах при пневмозарядке и во влажных шпурах.

Скорость детонации граммонитов сильно зависит от диаметра заряда. Зависимость становится слабее при взрывании в скважинах, пробуренных в скальных крепких породах. Граммониты детонируют по режиму, близкому к идеальному, отвечающему максимальной скорости детонации при минимальных химических потерях в скальных породах и скважинах диаметром более 200 мм.

Для полной детонации граммонитов требуется достаточно мощный начальный импульс, поэтому в качестве промежуточных детонаторов применяют шашки из тротила, а для сухих зарядов также заряды из аммонитов. Граммоналы детонируют от капсюля-детонатора, но надежнее детонируют от промежуточного детонатора.

В таблицах приведены основные свойства аммонитов (таблица 4.1), граммоналов и граммонитов (таблица 4.2).

# Таблица 4.1

# Физико-химические и взрывчатые свойства аммонитов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Аммониты | | | | Аммонал ВА-4 | Динафталит | Скальный аммонал (порошкообразный) | |
| №6ЖВ | №7ЖВ | №9ЖВ | №10  ЖВ | №1 | №3 |
| Состав, % по массе:  Аммиачная селитра  водоустойчивая | 79 | 81,5 | 87 | 85 | 80,5 | 35(15\*) | 66 | 72 |
| Аммиачная селитра | - | - | - | - | - | 53(73\*) | - | - |
| Тротил | 21 | 16 | 5 | 8 | 15 | - | 5 | 5 |
| *Продолжение таблицы 4.1* | | | | | | | | |
| Динитронафталин | - | - | - | - | - | 11,6 | - | - |
| Мука древесная | - | 2,5 | 8 | 7 | - | - | - | - |
| Алюминиевая пудра | - | - | - | - | 4,5 | - | 5 | 8 |
| Парафин | - | - | - | - | - | 0,4 | - | - |
| Гексоген | - | - | - | - | - | - | 24 | 15 |
| Кислородный баланс, % | -0,42 | +0,34 | +2,74 | +1,53 | +0,18 | +0,3 | -0,79 | -0,78 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1030 | 995 | 857 | 908 | 1180 | 975 | 1292 | 1360 |
| Объем газов, л/кг | 895 | 905 | 933 | 924 | 845 | 920 | 830 | 810 |
| Работоспособность (фугасность) по пробе Трауцля, см3 | 360-380 | 350-370 | 300-320 | 300-320 | 410-430 | 320-340 | 450-480 | 450-470 |
| Бризантность, мм | 15-18 | 15-17 | 10,0-12,5 | 11-13 | 18-20 | 15-16 | 18,5-22,5 | 18-20 |
| Критический диаметр открытого заряда, мм | 10-13 | 11-13 | 20-25 | 15-20 | 12-14 | 13-14 | 5-6 | 8-10 |
| Скорость детонации, км/с | 3,6-4,8 | 3,5-4,0 | 3,0-3,5 | 3,2-3,6 | 4,0-4,5 | 3,5-4,6 | 4,8-5,3 | 4,0-4,5 |
| Плотность, г/см3 | 1,0-1,2 | 0,95-1,1 | 0,95-1,1 | 0,95-1,1 | 0,95-1,1 | 1,0-1,15 | 1,0-1,1 | 1,0-1,15 |
| Чувствительность к удару, % | 16-32 | 16-28 | 12-24 | 12-24 | 24-36 | 12-24 | 40-60 | 40-44 |

Для заряжания скважин с проточной водой на открытых горных выработках широко применялись гранулированная смесь тротила с алюминием (15 % по массе) *– алюмотол*  и гранулированный тротил (*гранулотол*)*.* Алюмотол получают методом водной грануляции суспензии алюминиевого порошка в расплавленном тротиле.

Алюмотол и гранулотол сохраняют способность к детонации в чистой воде достаточно долго. В щелочных водах их химическая стабильность снижается.

Алюмотол и гранулотол экономически выгодно применять только в наполненных водой скважинах. К тому же водонаполнение зарядов приводит к повышению их плотности, что увеличивает давление взрыва, и при отрицательном кислородном балансе ВВ приводит к смещению реакции генераторного газа *2СО↔СО2+С+q* вправо и дополнительному выделению тепла.

Для алюматола и гранулотола характерно вторичное пламя из-за догорания водорода и оксида углерода в воздухе, что отрицательно для таких ВВ. Взрывчатые характеристики алюмотола и гранулотола приведены в таблице 4.3.

# Таблица 4.2

# Физико-химические и взрывчатые свойства граммонитов и граммоналов

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Граммониты | | | | Граммоналы | |
| 79/21 | 30/70 | 50/50-В | 30/70-В | А-8 | А-45 |
| Состав, % по массе |  |  |  |  |  |  |
| Тротил | 21 | 70 | 50 | 70 | 12 | 45 |
| Аммиачная селитра | 79 | 30 | 50 | 30 | 80 | 40 |
| Алюминиевая пудра | - | - | - | - | 8 | 15 |
| Кислородный баланс, % | +0,02 | -45,9 | -27,15 | -45,9 | -0,24 | -38,65 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1030 | 950 | 985 | 950 | 1285 | 1490 |
| Объем газов, л/кг | 895 | 800 | 810 | 800 | 860 | 752 |
| Работоспособность (фугасность) по пробе Трауцля, см3 | 360-370 | 330-340 | 340-350 | 330-340 | 420-440 | 440-460 |
| Бризантность зарядов в стальной оболочке, мм | 20-25 | 24-27 | 23-25 | 24-27 | - | 30-32 |
| Критический диаметр открытого заряда без воды, мм | 50-60 | 40-60 | 40-50 | 40-60 | 30-40 | 60-80 |
| Скорость детонации, км/с  в безводном состоянии  в водонаполненном состоянии | 3,0-3,6  - | -  - | 3,6-4,2  5,2-5,6 | 3,8-4,5  5,5-6,0 | 3,8-4,0  - | 5,8-6,3  - |
| Плотность насыпная, г/см3 | 0,80-0,85 | - | 0,85-0,90 | 0,85-0,90 | 0,85-0,90 | 0,90-0,95 |
| Чувствительность к удару измельченного сухого ВВ, % | 12-24 | 12-24 | 12-24 | 12-16 | 24-36 | 24-36 |

# Таблица 4.3

# Взрывчатые свойства гранулотола и алюмотола

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Гранулотол | | Алюмотол | |
| сухой | водонаполненный | сухой | водонаполненный |
| Теплота взрыва, ккал/кг  \*- экспериментальные результаты без учета испарения воды | 825-870 | 1000\* | 1130-1260 | 1340\* |
| Объем газов, л/кг | 745 | 895 | 635 | 815 |
| Работоспособность (фугасность) по пробе Трауцля, см3 | 285-295 | 320 | 420-440 | - |
| *Продолжение таблицы 4.3* | | | | |
| Бризантность зарядов в стальной оболочке, мм | 24-26 | 32-34 | 28-30 | - |
| Критический диаметр открытого заряда без воды, мм | 60-80 | - | 70-80 | - |
| Скорость детонации, км/с | 4,5-5,0 | 5,5-6,7 | 4,3-4,8 | 5,5-6,0 |
| Плотность насыпная, г/см3 | 0,95-1,0 | - | 0,95-1,0 | - |
| Плотность гранул, г/см3 | 1,48-1,54 | - | 1,52-1,68 | - |

**4.2 Суспензионные взрывчатые вещества и их характеристики**

Существуют следующие разновидности *суспензионных ВВ*, которые представляют собой твердые частицы содержащие сплошные жидкости в виде:

1. незагущенного раствора окислителя (вода + окислитель);
2. загущенного раствора окислителя (вода + окислитель + загуститель);
3. загущенного и структурированного раствора окислителя (вода + окислитель + загуститель + структурообразователь).

В первом случае раствор окислителя представляет собой кристаллический раствор содержащий твердые частицы, во втором случае - коллоидный раствор, в третьем случае – гелеобразный раствор, где содержатся две сплошные фазы – кристаллический раствор и «гуща» коллоидных частиц, соединенных друг с другом (поперечно сшитых) водородными связями и твердые взвешенные частицы. Сочетание объемной жесткости структуры твердых частиц с заполняющими ее двумя указанными взаимопроникающими фазами придает таким ВВ их гелеобразный характер. В качестве гелеобразующих агентов чаще применяют гуаргам и полиакриламид , для которого необходим сшивающий агент в виде других солей или буры. Соли карбоксиметилцеллюлозы (натриевая, аммониевая) образуют менее стабильные гели, меньшей водозащитной способности. Но они способны быстро растворяться в холодной воде, благодаря чему их применяют для изготовления сухих полуфабрикатов, подлежащих водонаполнению в смесительно-зарядных машинах.

Содержание загустителя в суспензионных взрывчатых веществах обычно составляет от 0,7 до 1,5 % по массе, воды - 5-15 % по массе.

Для алюмосодержащих водонаполненных взрывчатых веществ необходимо обеспечивать их физическую стабильность помимо химической стойкости, учитывая способность алюминия взаимодействовать с водой, особенно в присутствии щелочей.

Были найдены два эффективных способа внутренней стабилизации алюмосодержащих водонаполненных ВВ – пассивация частиц алюминия и гидроизоляция. Внешняя стабилизация достигается применением полимерной оболочки (патроны).

**4.3 Эмульсионные взрывчатые вещества и их характеристики**

*Эмульсионные ВВ* – новый этап в развитии промышленных ВВ. Эмульсионные ВВ состоят из двух нерастворяющихся друг в друге жидкостей, одна из которых (дисперсная фаза) распределена в другой (дисперсионная среда) и относятся к дисперсным системам. Применительно к эмульсионным ВВ дисперсионной средой является – смесь минерального масла (иногда дизельного топлива) и воска (обратные эмульсии – вода/масло) и дисперсной фазой являются мельчайшие капельки водного раствора нитрата аммония. В большом увеличении под микроскопом структура эмульсионного ВВ напоминает пчелиные соты. Толщина мембран из масла и воска, разделяющих капельки водного раствора селитры – менее одной десятитысячной миллиметра.

Это создает колоссальную площадь соприкосновения между окислителем (нитратами аммония, натрия, кальция) и горючим (маслом, воском, дизтопливом и др.). В итоге достигается очень полное и быстрое взрывное сгорание. Мембраны из масла и воска делают эмульсионное ВВ очень водостойким и защищают каждую капельку водного нитрата.



а б

Рисунок 4.1 - Структура под сканирующим электронным микроскопом: а- эмульсионная матрица, б - эмульсионное взрывчатое вещество

Степень чувствительности эмульсионных ВВ варьируется добавлением сенсибилизирующих добавок, представляющих собой газогенерирующие добавки (химические вещества, которые генерируют газ при их попадании в эмульсию) либо микрошарики (полые шарики из стекла). Воздушные включения или микрошарики разрушаются под действием ударной волны от действия капсюля-детонатора. Таким образом начинается быстрое взрывное горение эмульсии и разрушение усиливает ударную волну.

Эмульсионные ВВ приобретают взрывчатые свойства лишь на конечной стадии производства, когда вводится сенсибилизирующая добавка и не содержат исходных материалов, классифицируемых как ВВ. Эмульсионные ВВ не чувствительны к удару,трению и огню.

**4.4 Состав и свойства суспензионных ВВ**

*Карботолы* – механическая смесь сплава карбамида, аммиачной селитры и с тротилом и алюминием, сохраняющая текучесть до температуры 65 оС и образующая высокоплотные отливки при отверждении в скважине. Оптимальное содержание Na-КМЦ –2,0 %, гуаргама – 0,8 %, ПАА-1 % со структурообразователем – для Na-КМЦ и ПАА: хромовокалиевые квасцы, сернокислый хром, для гуаргама – бихромат калия. Компонентный состав: соотношение воды: карбамида и тротила – 4,10,15 % по массе, составы содержат алюминиевую пудру от 15 до 35 % по массе. Плотность зарядов – от 1,55 до 1,63 г/см3, скорость детонации – 4,5-5,3 км/с, теплота взрыва –820-1360 ккал/кг, критический диаметр детонации –230-260 мм.

В состав суспензионных ВВ могут входить перхлораты, аммиачная селитра и другие нитраты. Для перхлоратов характерна их меньшая, чем у нитратов, растворимость в воде. В то же время положительным для перхлоратов является факт меньшей зависимости растворимости от температуры. Перхлораты более энергоемки, чем нитраты, благодаря чему энергетические характеристики самого ВВ выше по сравнению с аналогами, содержащими аммиачную селитру. Гелексы, содержат в своем составе перхлорат аммония как спутник утилизируемого твердого ракетного топлива.

Кальциевая селитра и мочевина используются в суспензионных (эмульсионных) ВВ в качестве добавки, снижающей температуру кристаллизации аммиачной селитры из раствора. Водонаполненные ВВ, которые, кроме аммиачной селитры, содержат натриевую селитру, имеют более высокие скорость детонации и плотность. Оптимальным между натриевой и аммиачной селитрами является соотношение 0,185:0,815.

*Технология производства акватолов* М-15 и 65/35 состоит из следующих операций:

1. В заводских условиях изготавливают сухой полуфабрикат смешением чешуированного тротила, гранулированной селитры, натриевой соли алюминиевого порошка и карбоксиметилцеллюлозы (если это необходимо по рецептуре).

2. В карьерах и на рудниках непосредственно перед заполнением скважин проводят водонаполнение на стационарных установках или полуфабриката заводского изготовления в самоходных смесительно-зарядных машинах типа «Аквал». Водонаполнение проводят горячей водой подогретой до 85 – 95 оС для того, чтобы температура готового ВВ была не ниже 30оС, при которой сохраняется текучесть, позволяющая вытекать массе из машины под действием сжатого воздуха.

И на местах взрывания могут проводиться все операции технологического процесса:

1. Приготовление горячего (75оС) насыщенного раствора аммиачной селитры, концентрацией 30,8 % по массе.
2. Смешение раствора тротила и селитры в обогреваемых стационарных смесительных установках. Вместе с тротилом добавляются и другие компоненты (дополнительное количество твердой селитры, алюминиевый порошок и др.).
3. Введение загустителя в состав приготавливаемого ВВ в процессе смешения с тротилом или в процессе приготовления насыщенного раствора селитры.
4. Доставка ВВ на место заряжания и взрывания скважин. При остывании ВВ в скважине часть селитры из раствора выкристаллизовывается и масса приобретает твердообразную консистенцию.

По такому способу (непосредственно на местах взрывания) изготавливаются так называемые горячельющиеся: ифзаниты и акватолы. В последних содержание аммиачной селитры 66-74 % по массе, тротила-20 % по массе, воды – 6-14 % по массе. Высокая текучесть ифзанитов и акватолов в момент заряжания водонаполненных скважин обусловливает физическую стабильность и пониженную водоустойчивость. Этих недостатков лишен гелеобразный (пластичный) водонаполненный акватолы АВ и МГ, выпускаемые заводами в патронах требуемого диаметра в полиэтиленовых оболочках. В качестве загустителей в них применяют гуаргам со сшивающей добавкой и полиакриламид. Благодаря антифризам гелеобразные акватолы в зимний период сохраняют пластичность до температуры минус 18-20 оС. Гелеобразные акватолы не теряют взрывчатые свойства в течение нескольких суток после пребывания под водой.

Для подземных работ используются следующие суспензионные ВВ, изготавливаемые на заводах в виде патронов различного диаметра (акванал №1 и акваниты №2,3,16). Акванит 3Л, обладающий высокой текучестью, предназначен для заряжания наклонных и горизонтальных шпуров и скважин с помощью нагнетательных насосов.

* 1. Нитроглицериновые и перхлоратные промышленные ВВ

**4.5.1. Нитроглицериновые промышленные ВВ**

Нитроглицериновые это промышленные взрывчатые вещества, которые в своем составе содержат нитроглицерин независимо от природы и содержания других компонентов. Их классифицируют по консистенции ВВ, по содержанию нитроглицерина (или других близких к нему нитроэфиров) и прочим признакам.

По первому признаку взрывчатые вещества данного вида по содержанию нитроэфиров подразделяют:

* на низкопроцентные (15 % по массе);
* на среднепроцентные (60 % по массе);
* на высокопроцентное (более 60 % по массе).

По второму признаку ВВ данного вида подразделяют:

* на пластичные.
* на порошкообразные;
* на полупластичные;

Пластичные и полупластичные именуются *динамитами.* К порошкообразным относят составы, содержащие не более 15 % по массе нитроэфиров.

Из-за того, что нитроглицерин имеет высокую температуру кристаллизации (+10–+13оС), то составы на его основе переходят в твердое состояние (теряется пластичность) при температурах ниже указанных. Составы в таком состоянии становятся очень чувствительными к различным механическим импульсам, теряют сыпучесть. На практике для предотвращения такого поведения нитроглицерина обычно используется смесь нитроглицерина с другими нитроэфирами – диэтиленгликоля и этиленгликолем. Смесь нитродигликоля и нитроглицерина в соотношении 1:1 переходит в твердое состояние при температуре –19,5 оС.

Для предотвращения вытекания нитроэфиров и нитроглицерина из состава ВВ их обычно загущают растворением пироксилина, содержащего 12,0-12,5 % по массе азота. Незагущенные нитроэфиры применяют в том случае, если их содержание в ВВ не превышает 5-6 % по массе.

В настоящее время применяют только нитроглицериновые порошкообразные ВВ:

* непредохранительные детониты;
* предохранительные аммониты серный и нефтяной, углениты, победиты, и др.

Детониты по химическому составу близки к аммоналам, но содержат дополнительно от 6 % до 15 % по массе смеси нитрогликоля с нитроглицерином. По своим массовым энергетическим характеристикам они относятся к мощным промышленным ВВ.

Детониты более чувствительны к механическим воздействиям, чем аммониты, поэтому применение их россыпью не разрешается. При температурах ниже –20 оС они сыпучесть не теряют, хотя твердеют, особенно детонит 15А, который содержит 15 % по массе нитроэфиров. С уменьшением температуры чувствительность к инициирующему импульсу несколько падает, что проявляется в снижении расстояния передачи детонации между патронами, однако остается на достаточно высоком уровне для обеспечения надежной детонации шпуровых зарядов.

Порошкообразные детониты обладают высокой детонационной способностью (малый *dкр*). Поэтому выпускаются детониты в патронах уменьшенного диаметра – 24-28 мм и обычного диаметра –32-36 мм.

Для обеспечения надежной водоустойчивости в состав детонитов дополнительно вводят 0,7 % по массе стеарата кальция или стеарата цинка. Свойства детонитов представлены в таблице 4.4

Параметры детонации позволяют использовать детониты в качестве патронов боевиков для инициирования малочувствительных гранулитов, игданитов и акванитов 3Л.

К недостаткам детонитов можно отнести их высокую токсичность, свойственную всем порохам и нитроглицериновым ВВ.

# Таблица 4.4

# Физико-химические и взрывчатые свойства детонитов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Детониты | | | |
| 6А | 10А | 15А | М |
| Состав, % по массе:  Нитроэфиры (труднозамерзающие) | 6 | 10 | 14,7 | 10 |
| Аммиачная селитра ЖВ | 77 | 76 | 74 | 78 |
| Тротил | 11 | 8 | - | - |
| Алюминиевая пудра | 5,3 | 5,2 | 10 | 10,7 |
| Стеарат кальция (цинка) | 0,7 | 0,7 | 1,0 | 1,0 |
| Пироксилин | - | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| Сода (сверх 100% по массе) | 0,2-0,3 | 0,2-0,3 | 0,2-0,3 | 0,2-0,3 |
| Масло машинное | - | - | - | 0,2 |
| Кислородный баланс, % | -1,00 | +0,51 | -0,75 | +0,18 |
| Теплота взрыва, ккал/кг | 1218 | 1200 | 1407 | 1382 |
| Объем газов, л/кг | 837 | 828 | 778 | 832 |
| Работоспособность по Трауцлю, см3 | 425-440 | 430-450 | 470-520 | 460-500 |
| Бризантность, мм | 17-18,5 | 17-20 | 18-23 | 18-22 |
| Критический диаметр открытого заряда, мм | 8-10 | 6-8 | 4-9 | 8-10 |
| Скорость детонации в патронах диаметром 24 мм, км/с | 4,0-4,3 | 4,2-4,5 | 4,3-5,0 | 3,9-4,3 |
| Передача детонации на расстояние (см) между патронами диаметром 24 мм | 5-8 | 6-10 | 10-15 | 6-12 |
| Плотность ВВ в патронах, г/см3 | 1,1-1,2 | 1,15-1,25 | 1,2-1,3 | 1,1-1,3 |
| Чувствительность к удару, % | 32-56 | 40-78 | 48-88 | 40-60 |

Из детонитов, наиболее совершенным по взрывчатым и физико-химическим свойствам, является детонит М.

Его производство обладает хорошей рентабельностью.

* + 1. **Перхлоратные промышленные взрывчатые вещества**

Перхлоратные взрывчатые вещества – смеси, в которых в качестве окислителя используются соли хлорной кислоты – перхлораты натрия, калия и аммония.

Перхлорат аммония разлагается по следующему уравнению

*2NH4 ClО4 → Cl2 + 4 H2O +2 NO + O2 + q.*

Теплота образования  перхлората аммония = +70,69 ккал/моль.

Перхлорат калия разлагается по следующему уравнению

*КClО4 → К Cl +2О2 ± q.*

Тепловой эффект (*q*) данной реакции колеблется от –38,9 до +9,6 кДж/моль.

По аналогичному уравнению разлагается и перхлорат натрия

*NaClО4 → Na Cl +2О2 + q.*

Теплота образования  перхлората натрия принимается как = -92,2 ккал/моль.

Перхлораты как окислители дают большой энергетический выигрыш по сравнению с аммиачной селитрой.

Так, стехиометрические смеси селитры с тротилом имеют теплоту взрыва около 1000 ккал/кг, с алюминием – 1600 ккал/кг, с парафинами – около 900 ккал/кг , те же смеси с перхлоратом аммония дают следующие теплоты взрыва – соответственно 1326, 1250 и 2150 ккал/кг.

Перхлоратные смеси очень чувствительны к трению и удару, поэтому применение таких смесей проблематично. Перспективным направлением следует считать применение водонаполненных перхлоратных взрывчатых веществ.

Перхлорат калия в качестве пламегасителя входит в состав некоторых предохранительных ВВ.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Изготовление и основное назначение порошкообразных аммонитов
2. Перечислите основные характеристики суспензионных взрывчатых веществ
3. Технология производства акватолов М-15 и 65/35
4. Классификация нитроглицериновых промышленных веществ
5. Основные характеристики перхлоратных взрывчатых веществ

**5. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ПРИ ВЗРЫВЕ И ФОРМЫ ПРЕВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

Различают основные четыре характерные формы химического превращения ВВ:

*термический распад* - происходит при нагреве взрывчатого вещества ниже температуры вспышки. Важное значение при этом имеет баланс отводимого и подводимого тепла (может произойти взрыв);

*горение -* возникает при сильных нагревах отдельных очагов, что приводит к перемещению данной зоны за счет выделяемого тепла по всему ВВ. Скорость реакции распространения до нескольких метров в минуту;

*детонация -* взрывчатое превращение мало зависящее от внешнего давления и температуры и поддерживаемое за счет резкого скачка температуры и давления в зоне химических реакций;

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

Важной характеристикой промышленных ВВ является *кислородный* *баланс*, показывающий на недостаток или избыток кислорода к количеству, необходимому для окисления горючих элементов до высших оксидов. Практически любое взрывчатое вещество состоит из четырех основных элементов, общую химическую формулу которого можно представить в виде СaНвNсOd. Тогда кислородный баланс можно вычислить по формуле (в процентах)

 (5.1)

где М - молекулярная масса взрывчатого вещества, 16 - атомарная масса кислорода.

Различают положительный, отрицательный и нулевой кислородные балансы. При Кб =0 кислорода достаточно для окисления Н и С до высших оксидов; при Кб <0 выделяется СО и кислорода недостаточно; при Кб > 0 избыток кислорода идет на образование ядовитых газов NO2 и NO.

Количество выделяемой теплоты снижается при недостатке кислорода, т.к. реакция образования СО идет с меньшим выделением тепла, чем реакция образования СО2. При взрыве ВВ с Кб = 0 выделяется минимальный объем ядовитых газов и максимально возможное количество энергии. При подземных взрывах допускается использование ВВ только с Кб близким к нулевому, на карьерах и с отрицательным.

Кислородный баланс некоторых промышленных ВВ:

Граммонит 79/21 ≈0 Игданит + 1,4%

Гранулотол - 74% Гранулит АС-4 + 0,4%

Граммонит 30/70 - 45,9% Гранулит АС-8 + 0,3%

Граммонит 50/50 - 27,5% Гранулит М + 0,1%

Важное значение для расчета теплоты взрыва, объема газов взрыва, полной идеальной работы взрыва (расчетные характеристики ВВ) имеет состав продуктов взрыва, которые выделяются в результате составления химических реакций взрывчатого превращения ВВ.

Все взрывчатые вещества условно делятся на 3 группы:

1. ВВ (Кб≥0) с кислородом, достаточным для окисления горючих элементов до высших оксидов. При составлении реакции азот выделяется в виде молекулярного газа (реакция нитроглицерина) в первую очередь сначала окисляется водород, затем углерод.

4С3Н5(ОNО2)3 → 10Н2О + 12СО2 + О2 + 6N2 + Q

2. Взрывчатые вещества с кислородом, достаточным для полного газообразования. При составлении реакции сначала водород окисляется в воду, в окись углерода окисляется углерод. Оставшийся кислород с частью оксида углерода образует углекислый газ (реакция ТЭНа и гексогена)

С5Н8N4О12 → 4Н2О + 3СО2 + 2СО + 2N2 + Q

C3Н6N6О6 → 3Н2О + 3СО + 3N2 + Q

3. Взрывчатые вещества с количеством кислорода, недостаточным для образования газообразных продуктов. Для составления реакций этого типа сначала окисляют в воду водород. Оставшимся кислородом до оксида углерода окисляется углерод и выделяется свободный углерод (реакция тротила)

2С7Н5N3O6 = 5H2O + 7CO + 7C + 3N2 + Q

Данные реакции дают приближенную характеристику ВВ и возможны только при идеальных условиях . В реальных условиях состав продуктов зависит от конкретных условий применения ВВ и более разнообразен.

**5.1 Образование ядовитых газов при взрыве**

На карьерах взрывные работы сопровождаются выделением большого количества газообразных продуктов, часть которых ядовиты. В составе продуктов взрыва можно выделить оксиды азота NO, NO2, N2O4; оксид углерода СО; сероводород Н2S; сернистый ангидрид SO2; а также соединения свинца и пары ртути, образующиеся при электрическом и огневом способах взрывания.

Оксид углерода СО - практически без запаха, бесцветный газ. Хорошо растворяется в воде, плотность равна плотности воздуха. В небольших количествах вызывает головокружение, сильные головные боли , тошноту. При больших концентрациях наступает судороги и отравление с потерей сознания. При отравлении пострадавшего необходимо сразу же вынести на свежий воздух и по возможности дать кислород. Предельно допустимая концентрация при длительном пребывании людей не должна превышать 0,02 мг/л (0,0016 % объема воздуха).

Оксиды азота - более опасны, чем оксид углерода. Имеют резкий запах, желто-бурый цвет. При взрывах обычно образуется оксид азота NО, которая в воздухе переходит в NO2 или N2O4. Соединяясь с парами воды в воздухе оксиды азота образуют азотную или азотистую кислоты, которые при вдыхании воздуха осаждаются на слизистых оболочках и в легких, вызывая отек. Предельно допустимая концентрация оксидов азота 0,005 мг/л (0,0001 %), концентрация 0,02 % смертельна даже при непродолжительном вдыхании.

Сернистый ангидрид - бесцветный газ с сильным раздражающим запахом и кислым вкусом. В воздухе с парами воды образуется сернистая кислота. Предельно допустимая концентрация 0,0007 % объема.

Сероводород - с запахом тухлых яиц бесцветный газ. В смеси с воздухом взрывоопасен. Предельно допустимая концентрация 0,00066 %.

Пары ртути - не имеют цвета, запаха и вкуса. Поражают почки и центральную нервную систему. Предельно допустимая концентрация в атмосфере 0,00001 мг/л.

Для расчета общего количества выделяющихся ядовитых газов пользуются формулой, в которой объем газов пересчитывается на объем СО:

V = VCO + 6,5(VNO  +  (5.2)

**5.2 Теплота и температура взрыва. Объем и давление газообразных продуктов взрыва**

Объем газообразных продуктов взрыва можно определить экспериментально (бомба Долгова) или рассчитывать аналитически. На основе закона Авогадро производится аналитическое определение объема продуктов взрыва, в соответствии с которым объем, занимаемый грамм-молекулой газа при температуре 0оС и давлении 9,8.104 Па равен 22,4 л.

Объем газа, образующийся при взрыве 1 кг взрывчатого вещества рассчитывается по формуле

 (5.3)

где n1,n2,n3,…,nn - количество грамм-молекул газообразных продуктов взрыва;

М1,М2,М3,…,Мn - молекулярная масса составных частей смесевого взрывчатого вещества;

m1,m2,m3,…,mn - количество грамм-молекул составных частей смесевого взрывчатого вещества.

В качестве примера рассмотрим расчет объема газообразных продуктов при взрыве гексогена

С3Н6N6O6 → 3H2O + 3CO + 3N2



Для определения объема газообразных продуктов взрыва в бомбе Долгова (стальной сосуд емкостью до 50 л с массивной крышкой и вентилями для откачки воздуха и замера давления газов взрыва) взрывают до 100 г взрывчатого вещества. После взрыва в течение 30 мин бомба выдерживается на воздухе для выравнивания температуры снаружи и внутри и измеряется давление внутри бомбы. Объем газов, приведенный к нормальным условиям, вычисляется по формуле

 (5.4)

где Vб - объем бомбы, л;

Р - давление в бомбе после взрыва;

Тб - температура бомбы в момент измерения давления, оС;

q - масса взрываемого ВВ, г.

Т=273оК

Удельная энергия или теплота взрыва – это количество тепла, которое выделяется при взрыве 1 кг ВВ - выражается кДж/кг. Теплота взрыва - одна из наиболее важных характеристик ВВ. Если теплоту взрыва умножить на плотность взрывчатого вещества в заряде, то получим объемную концентрацию энергии (кДж/м3).

Теплота взрыва рассчитывается на основе закона Гесса, в соответствии с которым тепловой эффект химического превращения системы зависит только от конечного и начального состояний и не зависит от промежуточных. Теплоту взрыва можно рассчитывать при постоянном давлении или при постоянном объеме

Q1 + Q2 = Q3  (5.5)

где Q1 - теплота образования компонентов смесевого ВВ, кДж/кг;

Q2  - теплота взрыва, кДж/кг;

Q3 - теплота образования продуктов взрыва, кДж/кг.

Таким образом, теплота взрыва определяется из уравнения

Q2 = Q3 - Q1  (5.6)

Теплота образования компонентов и продуктов взрыва, входящих в состав ВВ определяется по справочной литературе (справочники по термодинамике).

Экспериментальное определение теплоты взрыва производится в калориметрических установках с бомбами емкостью 5-50 л, в которых взрывают навески ВВ массой до 100 г.

Температура взрыва – это та максимальная температура, до которой нагреваются продукты взрыва. Температуру взрыва обычно определяют на основе рассчитанной теплоты взрыва и теплоемкости всех продуктов взрыва расчетным путем по формуле

 , (5.7)

где Q2 - теплота взрыва, Дж/моль;

СV - средняя теплоемкость всех продуктов взрыва при постоянном объеме в интервале температур от 0 до Т оС, Дж/(моль.оС).

Значение теплоемкости в зависимости от температуры определяется из выражения

СV = а + bt (5.8)

где а и b - температурные коэффициенты.

Решив совместно уравнения (5.6) и (5.7) получим

.

При определении теплоемкости смеси газов необходимо учесть долевое участие каждого из них. Расчетная формула принимает вид:

 (5.9)

Давление газов, образующихся при взрыве ВВ определяется по закону Бойля-Мариотта и Гей-Люссака:

 (5.10)

где Ро - атмосферное давление газов при температуре 0оС, равное 1,01.105 Па;

Vо - объем газов взрыва при нулевой температуре и давлении Ро, м3;

Т - температура взрыва, К;

V - объем зарядной камеры, м3.

При фактических плотностях заряжания большую роль играет собственный объем молекул продуктов взрыва (коволюм), который принимается равным α=0,001Vо (для ρ=0,5-1 т/м3) и α=0,0006Vо (при ρ>1 т/м3). С учетом коволюма давление рассчитывается по формуле:

 (5.11)

* 1. **Детонация и ее условия для взрывчатых веществ**

В соответствии с гидродинамической теорией, детонация ВВ представляет собой перемещение по ВВ ударной волны, вызывающей в некотором слое скачкообразное изменение всех термодинамических параметров: температуры, давления, плотности. За фронтом волны происходит резкий разогрев газов и частиц ВВ и между ними. В результате начинается интенсивная химическая реакция с выделением тепла, энергия которой поддерживает дальнейшее распространение ударной волны. Отличительными особенностями ударной волны являются:

а) среда движется вслед за фронтом ударной волны;

б) скорость распространения выше скорости звука в данной среде;

в) на фронте волны происходит скачкообразное увеличение давления, температуры и плотности;

г) скорость ударной волны зависит от величины давления (амплитуды) на фронте волны.

Детонационной волной называется ударная волна, проходящая по ВВ и вызывающая его детонацию. Детонация является стационарным процессом, т.е. распространяется с постоянной амплитудой давления и скоростью (рис. 5.1 а, б).







Рисунок 5.1. - Процесс детонации ВВ

1 - продукты взрыва; 2 - фронт детонационной волны;

3 - фронт расширения продуктов взрыва;

4 - не расширившиеся газы (ρ1, T1, Р1);

5 - фронт волны разрежения; 6 - ударная волна.

Теория детонации разработана для газовых смесей. Для твердых конденсированных ВВ она разработана еще недостаточно полно. Установлено, что скорость движения газов за фронтом детонационной волны (vw), давление на фронте детонационной волны (Р) и скорость детонации (vд) связаны между собой следующими соотношениями:

 (5.12)

 (5.13)

vд = vw + c (5.14)

где c - скорость звука в продуктах детонации, км/с.

Скорость детонации можно определить и по следующей формуле:

 (5.15)

где k - коэффициент, значение которого принимается в зависимости от теплоты взрыва при постоянном объеме (Qv) и плотности ВВ (ρ).

В теории принято, что фронт детонационной волны вызывает химические реакции и сжимает впереди лежащие слои ВВ. Данный механизм возможен только при взрыве однокомпонентных мощных ВВ (тетрил, гексоген, ТЭН) и считается однородным. Промышленные ВВ являются многокомпонентными смесями, т.е. физически и химически неоднородны. Для таких ВВ взрывчатое превращение является многостадиальным (первичные и вторичные химические реакции). Сначала происходит разрыв связей в молекулах ВВ или их газификация, затем взаимодействие с веществами не претерпевшими изменений на первой стадии (окисление алюминия) или между собой. Существенное влияние на процесс детонации промышленных ВВ оказывает равномерность распределения компонентов в смеси и гранулометрический состав. Химические реакции сначала протекают в отдельных гранулах и лишь только потом продукты разложения взаимодействуют между собой.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите формы химического превращения взрывчатых веществ
2. Классификация ВВ по кислородному балансу
3. Ядовитые газы при взрывчатых превращениях
4. Теоретическое определение объема и давления газообразных продуктов взрыва
5. Детонационная волна и ее основные стадии
6. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

**6.1. Шахтная атмосфера подземных горных выработок, подземные газовые и пылевые взрывы**

Для атмосферы угольных шахт наиболее характерно присутствие угольной пыли и метана. Наряду с метаном в атмосфере шахт в небольших количествах содержатся другие непредельные и предельные углеводороды (этан, пропан, этилен), углекислый газ, азот, оксид углерода, сероводород, сернистый газ, водород. В среднем природный газ, выделяющийся в угольных шахтах, содержит 1-4 % тяжелых углеводородов, 80-83 % метана, около 10 % азота, 5 % углекислого газа и менее 1 % других газов.

Различают *связанное* *и свободное* состояние газов в горной породе. Связанный газ – это газ, адсорбированный породой. Свободный газ скапливается в трещинах, пустотах и порах породы. Соотношение свободного газа к связанному составляет приблизительно 1:3.

Выделение газа из массива в атмосферу шахт бывает трех видов: *обыкновенное –* из трещин и пор, не видимых глазом, *суфлярное* – видимых глазом из трещин, *внезапное*, когда происходит выброс газа из толщи массива, с одновременным выбросом угля, обычно в течение короткого времени. Давление газа в угольных пластах достигает 60 кг с/см2, в зависимости от глубины залегания.

Ископаемые угли характеризуются по газоносности, которая определяется содержанием газа (м3) на 1 т (или м3) угля. Наиболее газоносны коксующиеся угли и антрациты, наименее газоносны бурые угли, содержащие большое количество летучих веществ.

Угольные шахты по количеству выделяющегося газа в атмосферу в единицу времени (*газообильность*) делятся на четыре категории: 1 категория –газообильность не более 5 м3/т, 2 категория – от 5 до 10 м3/т, 3 категория – от 10 до 15 м3/т, сверхкатегорные – более 15 м3/т.

Пыль в шахтах образуется особенно интенсивно при работе механизмов и машин, при транспортировании отбитого угля, при взрывных работах. Взвешенная пыль скапливается на поверхности и оседает в значительных количествах. При взрывных работах осевшая пыль поднимается в атмосферу ударной волной, в результате чего образуется взрывоопасное пылевое облако. Взрывоопасность угольной пыли обычно оценивают по содержанию в угле продуктов газификации– летучих веществ, образуемых нагревом угля без доступа кислорода при температуре 850 оС. Содержание летучих веществ в угле за вычетом содержания золы выражают в % по массе, отнесенных к безводному углю. Угольные шахты относятся к опасным по пыли, если содержание летучих веществ в угле по массе превышает 10 %.

К опасным по газу относят: калийные рудники, в их шахтной атмосфере содержатся метан и водород; озокеритовые и нефтяные шахты, в их шахтной атмосфере содержатся метан и другие непредельные и предельные углеводороды (особую опасность представляют пары бензинов).

Серные шахты относят к опасным по пыли, в атмосфере которых находится высоковзрывоопасные аэрозоли серы. Взрывоопасность аэрозоли серы повышается присутствием в атмосфере метана и легковоспламеняющихся сероводорода. Рудники, разрабатывающие другие сульфидные руды и колчедан, менее опасны по подземным пылевым взрывам, чем серные шахты.

Наличие в атмосфере подземных горных выработок пыли и горючих газов создает опасность пылевых и газовых взрывов. Взрыв может произойти под воздействием искры, луча огня и других источников тепла. При взрывных работах на взрывоопасную шахтную среду могут воздействовать нагретые до высокой температуры твердые и газообразные продукты взрыва, раскаленные металлические шлаки электродетонаторов и осколки, ударные воздушные волны. Анализ причин аварий при взрывных работах на шахтах Донбасса за период 1957-1967 гг. показывает, что около 50 % аварий связано с применением взрывчатых веществ недостаточной детонационной способности и антигризутности (выгорание зарядов).

* 1. **Механизм взрыва газовых и пылевых взрывов** **рудничных газов**

Основой пылевых и газовых взрывов являются самоускоряющиеся экзотермические реакции окисления распыленных твердых (жидких) веществ или горючих газов.

Окисление кислородом воздуха метана описывается брутто-реакцией:

*СН4 + 2О2 → СО2 + 2Н2О*

с выделением большого количества тепла [2·57,49 + 94,51–17,7 = 191,79 (ккал/моль)] и может проходить в виде взрыва при определенных условиях (достаточном начальном импульсе и диаметре сосуда). В то же время молекулы углеводородов с большим трудом взаимодействуют с кислородом, это объясняется тем, что в исходных реагирующих веществах энергии для перестановки атомов необходим разрыв первичных связей с затратой 50-100 ккал/моль.

В природе существуют и менее устойчивые системы, в которых содержатся атомы (свободные радикалы) или валентно-ненасыщенные соединения. Свободная валентность облегчает взаимодействие реагентов, в этом случае энергия активации снижается до 0-20 ккал/моль. Важной особенностью радикальных реакций является то, что в некоторых случаях образуется более одного радикала, и по меньшей мере, один из ее продуктов также валентно ненасыщен.

В общем, окисление углеводородов представляет собой радикальную цепную реакцию с вырожденным разветвлением цепи и включает следующие основные стадии:

а*) зарождение цепи*, которое протекает в виде моно, би и тримолекулярной реакции:





;

б) *продолжение (развитие) цепи:*



;

в) *разветвление цепи* в результате мономолекулярного распада гидроперекиси, реакции двух гидроперекисных групп между собой или гидроперекиси с углеводородом:





.

Предполагается, что радикалы *•ОН* и *СН3О•* быстро реагируют с окружающим веществом *(СН4)*, переходя в метильные радикалы :



;

г) *обрыв цепи* происходит в результате диспропорционирования или рекомбинации двух любых свободных радикалов, участвующих в реакции окисления:





.

Из законов химической кинетики следует положение, что окисление углеводородов проходит через цепочку вышеописанных элементарных актов с участием радикалов, идущих с меньшими энергетическими затратами по сравнению с прямой реакцией взаимодействия молекул окислителя и горючего.

Самоускорение цепных реакций, приводящих к тепловому взрыву, происходит при условии перехода к нестационарному самоускоряющему режиму при преобладании или равенстве разветвления над обрывом цепи, при достаточно большом выделении тепла (цепно-тепловой взрыв) и достаточно большом количестве начальных центров радикалообразования.

Многие вещества влияют на кинетику цепных реакций, замедляя или ускоряя их. Положительные катализаторы способствуют разветвлению и зарождению цепей. Ингибиторы - катализаторы (связывают или разрушают активные центры, чем способствуют обрыву цепей. В практике помимо гомогенного катализа, проходящего целиком в газовой фазе, часто широко используют гетерогенный катализ, осуществляемый на границе раздела фаз.

Гидроксильные радикалы разрушаются на солях щелочных металлов. Так как радикал *он•* при окислении метана является одним из ведущих активных центров, то рекомбинация его на поверхности щелочных металлов приводит к изменению кинетики реакции, при прочих равных условиях это выражается увеличением *Твсп*. Вдуванием порошков ингибиторов в нагретый с газом сосуд показано, что пламегасящая способность ряда солей по отношению к метано-воздушной смеси укладывается в ряд по убыванию эффективности: *KF, KI, NaAlF4, KCl, NaSiF4, NaCl*. Эффективность солей повышается увеличением дисперсности и с понижением температуры их плавления.

* 1. **Взрывчатость и воспламеняемость угольной пыли**

Воспламеняемость взвешенных частиц угольной пыли предполагает, что воспламенению предшествует газификация – под действием источника тепла выделение горючих газообразных продуктов. Угли всех сортов выделяют горючие газы при нагревании на несколько сотен градусов, которые смешиваются с воздухом и образуют двухфазную (пыль+газы) взрывчатую пылегазовоздушную смесь. Индукционный период вспышки пылевоздушной смеси складывается из индукционного периода вспышки образованной пылегазовоздушной смеси и времени газификации.

Исходя из данного механизма, воспламеняемость взвешенной угольной пыли в сильной степени зависит от химического состава и размеров частиц пыли и от содержания летучих веществ в угле. Обычно продуктами газификации являются: оксид углерода, водород, метан и др.

Взрывчатая смесь может образовываться из лежащего на стенках и почве выработки слоя пыли под действием первичной ударной волны, вызванной в массиве взрывом заряда ВВ.

Температура воспламенения угольной пыли колеблется в пределах 750 - 1105 оС., содержащийся в шахтной атмосфере, метан повышает опасность взрыва угольной пыли: 0,3-0,5 % метана делает взрывчатыми смеси, не способные взрываться в чистом виде и облегчает воспламенение пыли.

С увеличением зольности угольной пыли ее взрывчатость падает. Влага, покрывающая частицы, делает неспособной ее к взрыву.

Наилучший пламегасящий эффект оказывает пыль мела, карбонатов, известняка, доломита.

Наиболее взрывоопасной является серная пыль, температура вспышки аэровзвеси серной пыли составляет 260-290 оС. Воспламенению серной пыли предшествует выраженный период индукции, на первой стадии которого происходит испарение серы, на второй – ее окисление в парах. Окисление серы носит цепной характер по механизму

; ;

;  *и т.д.*

Эффективными пламегасителями взвеси серной пыли являются материалы, способные охлаждать продукты взрыва за счет поглощения тепла на испарении, разложение, дегидратацию: вода, сульфат натрия (кристаллогидрат), углекислый аммоний, хлористый аммоний.

Сульфидная пыль по воспламеняемости занимает среднее положение между угольной и серной пылью. Механизм окисления сульфидной пыли предполагает, что реакция имеет цепной механизм и протекает по следующей схеме:

; ;

; ;

; .

Активными центрами в этих реакциях являются атомарный кислород (*O•* ) и радикал *SO•*.

Наиболее характерная температура вспышки аэровзвесей сульфидов 400-500 оС. Для сульфидной пыли не обнаружены пламегасители, обладающие ингибиторными свойствами.

6.4. Воспламенение взрывным импульсом горючих шахтных сред

Механизм возбуждения пылевых и газовых взрывов при детонации зарядов взрывчатых веществ имеет сложный характер.

При взрыве воспламенение шахтной среды определяется формой и количеством энергии, сообщаемой среде при взрыве, условиями и природой взаимодействия переносчиков энергии с самой средой. Эта энергия должна быть достаточна начала самоускоряющейся реакции окисления и для преодоления термодинамического барьера в некотором объеме среды, заканчивающейся взрывом. Первоначальный очаг, в котором возникает вспышка, должен быть достаточным для распространения пламени по среде. Так как взрывное окисление развивается во времени и имеет цепно-тепловую природу, на его ход влияют каталитические свойства газообразных и твердых продуктов детонации, кинетические характеристики самой смеси, смешивающихся со средой, характер и условия смешения газов, условия отражения ударных волн, режим горения частиц.

Минимальное количество энергии, выделяемое при взрыве взрывчатого материала, т.е. критическая величина взрывного импульса, достаточное для воспламенения горючей среды, может быть рассчитана только в связи с конкретными условиями взаимодействия взрыва со средой в конкретном пространстве. Любой из перечисленных поджигающих агентов (раскаленные твердые частицы, газообразные продукты взрыва, ударные волны и др.) может воспламенить горячую среду.

О механизме воспламенения горючих шахтных сред под воздействием взрыва взрывчатых материалов (Е.Одибер, К.Бейлинг и др.) были высказаны гипотезы главным образом качественного характера.

У. Шефферд предположил, что возгорание метановоздушной смеси возникает при столкновения ударных волн, отраженных от стенок штрека. В последующем другие исследователи (К.Бейлинг и др.) отводили ударной волне роль косвенного фактора, способствующего воспламенению. Е.Одибер сделал продолжение, а К.Бейлинг подтвердил, что воспламенение метано-воздушной смеси вызывается твердыми нагретыми частицами, при этом основная роль отводится дефлагрирующим частицам.

Эти горящие частицы имеют высокую температуру, при которой задержка вспышки настолько мала, что она успевает произойти при даже большой скорости полета частиц.

Е. Одиберу принадлежит механизм процесса воспламенения метана при взрыве заряда взрывчатого материала: «механизм воспламенения путем смешения». При взрыве заряда ВВ метано- воздушная смесь смешивается с продуктами взрыва. Если в процессе разбавления продуктов взрыва метано-воздушной смесью будет достигнута температура вспышки, то произойдет воспламенение метано-воздушной смеси. Невозможность получения воспламенения по Е. Одиберу при взрывании в угле определяется следующим неравенством:

*q<21,5-0,94n,* (6.1)

где *q –* удельная энергия, приходящаяся на единицу объема продуктов взрыва (ккал/моль), *n –* содержание кислорода в продуктах взрыва в % масс.

Опыты Е. Одибера показали, что взрывчатые вещества с отрицательным и положительным кислородным балансом являются опасными в отношении воспламенения метана. Наименьшую опасность имеют составы, кислородный баланс которых близок к нулю. Чтобы взрывчатые вещества удовлетворяли критерию Е. Одибера, для снижения удельной теплоты взрыва они должны были содержать в своем составе большое количество инертных добавок.

В 60-70 гг. 20 века исследования процесса воспламенения показали, что воспламенение метано-воздушной смеси вызывается комплексом факторов, т.е. совместным воздействием нескольких воспламеняющих агентов, при этом расчет такого совместного воздействия в конкретных условиях представляет большие трудности. Тем не менее по механизму воспламенения, экспериментальный материал дает возможность предопределять безопасные условия выполнения взрывных работ в шахтах и создавать специальные предохранительные ВВ.

Важнейшими качественными безопасными условиями являются следующее:

1. Воспламеняющее действие взрыва относительно горючих шахтных сред определяется как удельными тепловыми характеристиками ВВ, выраженными, например, температурой продуктов взрыва - *Т1=Q/nc* или теплотой взрывчатого превращения - *Q* (ккал/кг)*,* так и суммарной энергией заряда - *Е=GQ* (ккал, где *G* – масса заряда), при этом каждая из этих характеристик может иметь независимое значение. Это означает, что равенство общей энергии зарядов, состоящих из ВВ с разной температурой или теплотой взрыва, еще не обусловливает их одинаковую воспламеняющую способность.

Как правило, взрывчатые вещества обладают большей воспламеняющей способностью с большей удельной тепловой энергией. И, напротив, при любых удельных характеристиках, может быть найдена такая масса заряда, при которой может воспламениться горючая среда. Это объясняется существованием различных механизмов воспламенения, в которых определяющими факторами являются либо суммарная либо удельная теплота взрыва. Так, при воспламенении газообразными продуктами взрыва в потоке с раскаленными твердыми частицами определяющими является их температура или их теплосодержание в единице объема газов, а при воспламенении отраженными ударными волнами – общая энергия взрыва, с которой связаны параметры волны, падающей на преграду. Суммарная энергия может быть определяющей характеристикой и в случае воспламенения с ограниченным объемом шахтной среды при гомогенном смешивании продуктов взрыва.

Удельные тепловые характеристики служат основой для отбора и классификации ВВ по степени антигризутности и отображают индивидуальные свойства предохранительных ВВ. Общая энергия лежит в основе ограничений зарядов по массе, различных для предохранительных ВВ различной степени антигризутности.

2. Критические значения тепловых характеристик взрыва зависят взаимодействия продуктов взрыва (ударно-воздушных волн) со средой (ВВ, заряда) и от условий взрывания зарядов, вызывающего воспламенение шахтной среды. Вследствие этого целесообразно ограничить предохранительные ВВ степени антигризутности и по мощностным характеристикам.

Чем выше вероятность воспламенения газа или пыли в шахтной выработке и опасны условия взрывания, тем выше должен быть класс ВВ по предохранительности.

3. Критические значения энергетических характеристик предохранительных взрывчатых веществ всех классов, т.е. независимо от механизма воспламенения и от условий взаимодействия продуктов взрыва с горючей средой повышаются, если в среде распределены равномерно ингибиторы. Чем выше концентрация ингибитора в среде и он более каталитически активен р и, тем выше параметры воспламенения горючей среды (индукционный период и температура вспышки) и соответственно выше допустимый уровень энергии ВВ (удельная энергия) или заряда (общая энергия).

Экспериментальные исследования Е.Одибера, К.Бейлинга по влиянию скорости детонации на воспламенение энергетических характеристик ВВ, плотности и бризантности ВВ, массы, диаметра и плотности заряжания, горючей оболочки патронов и состава продуктов взрыва, влажности ВВ показали, что из всех свойств ВВ на воспламенение метано-воздушной смеси при взрыве ВВ наиболее сильно влияют каталитические (ингибиторные) свойства содержащихся в составе ВВ солей - пламегасителей и энергия (теплота взрыва) ВВ. Скорость детонации, состав газообразных продуктов взрыва, плотность, влажность и другие свойства ВВ влияют в меньшей мере или в той мере, в какой они влияют на энергию взрыва.

Бензиновые смеси с воздухом поджигаются взрывчатым веществом с меньшими энергетическими затратами. Бензино-метано-воздушные смеси занимают по воспламеняемости промежуточное положение между бензино-воздушными и метано-воздушными смесями.

Водородно-воздушная смесь значительно более чувствительна к взрывному импульсу, чем метано-воздушная смесь.

Некоторые взрывчатые вещества, содержащие в своем составе щелочно-земельные и щелочные нитраты, будут антигризутными относительно метано-воздушной смеси, в то же время недостаточно предохранительны в отношении угольной пыли. Предполагается, что повышенная воспламеняющая способность взрывчатых веществ, содержащих нитраты металлов, связана с двухстадийным процессом воспламенения взвеси пыли, где первой стадией является газификация частиц угля. Горящие частицы термически стойких нитратов металлов, разлетающихся при взрыве, попадают в газифицированное облако пыли и поджигают его.

Наиболее эффективными пламегасителями относительно угольной пыли оказались *NaF* и *КCl,* менее эффективными *NH4Cl* и *NaCl.*

Вопросы для самоконтроля

1. Классифицируйте шахтную атмосферу подземных горных выработок, подземные газовые и пылевые взрывы
2. Механизм взрыва газовых и пылевых взрывов рудничных газов
3. Что из себя представляет окисление углеводородов в радикально цепной реакции с вырожденным разветвлением цепи
4. Приведите механизм, воспламеняемость взвешенной угольной пыли в зависимости от химического состава и размеров частиц пыли
5. Перечислите энергетические параметры взрыва и воспламенения шахтной среды

**7. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПОВЕРХНОСТИ И В ШАХТАХ**

**7.1 Взрывчатые вещества для взрывных работ только на земной поверхности**

###### Основные характеристики ВВ представлены в таблице 7.1.

###### Таблица 7.1

###### Рецептурный состав и характеристики ВВ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Компоненты и показатели** | **Взрывчатые вещества** | | | | | | | |
| **Грануло- тол\*** | | **Граммониты** | | | | | |
| **30/70** | | **30/70В** | | | **50/50** |
| **Состав, %**  Тротил  АС  Алюминий  Вода  **Характеристики:** Кислородный  баланс, %  Объем газов  взрыва, л/кг  Скорость де-  тонации, км/с  Критический  диаметр, мм | 100  -  -  -  -74  1045  5,5-6,0  5-10 | | 70  30  -  - 45,9  800  5,3-5,8\*\*  10-15\*\* | | 70  30  -  -45,9  800  5,3-5,8\*\*  10-15\*\* | | | 50  50  -  -27,15  810  5,0-5,6  15-20 |
| **Компоненты**  **и показатели** | **Взрывчатые вещества** | | | | | | | |
| **Алюмо тол\*** | **Ифзаниты** | | | | | **Карбатол** **ГЛ-10В** | |
| **Т-20** | | **Т-60** | | **Т-80** |
| **Состав, %**  Тротил  АС  Алюминий  Вода  **Характеристики:** Кислородный  баланс, %  Объем газов  взрыва, л/кг  Скорость де-  тонации, км/с  Критический  диаметр, мм | 85  -  15  -  -76,25  1340  5,5-6,0  5-10 | 20  66  -  14  -1,6  937  4,2-4,5  100-120 | | 20  72  -  8  -0,4  920  4,5-5,0  100-110 | | 20  74  -  6  0  913  4,5-5,0  90-100 | -21,4  8,44  4,5-5,1  35-40\*\* | |

\* - для водонаполненного состояния;

\*\* - для водонаполненного состояния в стальной трубе ø 40 мм.

*Гранулотол* - со средним размером сферических гранул 2-4 мм гранулированный тротил. Гранулы от светло-желтого до коричневого цвета, компактно укладываются и хорошо тонут в воде, обеспечивая плотность заряда 1 г/см3. Гранулотол не пылит, сыпуч, негигроскопичен, не слеживается, практически нерастворим в воде. К средствам взрывания недостаточно чувствителен, особенно в водонаполненном состоянии. Наибольший эффект взрыва для гранулотола наблюдается в водонаполненном состоянии, особенно в насыщенном растворе АС, что позволяет довести плотность заряжания до 1,4 г/см3.

*Алюмотол* - гранулированный сплав алюминиевого порошка (15 %) и тротила (85 %). Гранулы серого цвета. Чувствителен к щелочной воде, т.к. алюминий превращается в гидроокись взаимодействуя со щелочью , что приводит к некоторому снижению мощности ВВ. Предназначен для дробления крепких трудновзрываемых горных пород любой обводненности. Эффективен при использовании в нижней части скважинных зарядов, т.к. достигается хорошая проработка подошвы уступа и качество дробления. Применение алюмотола позволяет сократить на 30-40% объем буровых работ. Все остальные свойства как и у гранулотола.

*Граммонит 30/70В -* гранулированное взрывчатое вещество у которого гранулы селитры (30%) покрыты оболочкой из тротила (70%). Средний размер гранул 2-4 мм. Водоустойчивость и гигроскопичность зависит от равномерности тротилового слоя на поверхности гранул селитры. Сыпуч, не слеживается, практически не пылит. В скважинах с проточной водой может находиться до 15 суток, с непроточной водой до 30 суток. При взрывании наибольшая эффективность достигается для пород средней крепости и крепких. В данных условиях может заменять гранулотол, т.к. граммонит дешевле гранулотола.

*Граммонит 30/70* - механическая смесь гранулированного тротила (70%) и гранулированной селитры (30%). По своим физическим и взрывчатым характеристикам практически не отличается от граммонита 30/70В . Рассчитан на применение в скважинах с водой и в сухих скважинах, которой должно быть столько, чтобы растворилась селитра и раствором заполнились межгранульные промежутки тротила. В сухих скважинах ВВ на 20-30% эффективнее гранулотола, возможно использование в обводненных скважинах с непроточной водой где монолитные породы.

Граммонит 50/50 - механическая смесь гранулотола и гранулированной селитры. Сохраняет все свойства граммонита 30/70 с той же областью применения за исключением обводненных скважин. Ранее выпускался в водоустойчивой форме, но из за растрескивания пленки тротила при заряжании терял водоустойчивость.

**Водонаполненные взрывчатые вещества**

*Ифзаниты -*  представляют собой не расслаивающиеся суспензии из смеси тротила, гранулированной селитры и насыщенного раствора АС, заполняющего межгранульное пространство в заряде ВВ. Возможно дополнительное структурирование сшивками и загустителем. На открытых горных работах к постоянному применению допущены ифзаниты Т-80; Т-60; Т-20. Число в наименовании ВВ указывает температуру насыщенного р-ра АС.

Ифзаниты предназначены для сухих и обводненных скважин по крепким трудновзрываемым породам их относят к мощным ВВ с повышенной объемной концентрацией энергии.

###### Карбатолы (ГЛ-10В, ГЛ-15Т) - взрывчатые вещества горячельющиеся, отвердевающие после охлаждения в скважинах. Изготавливаются на низкоплавкой (почти безводной) смеси селитры и карбамида и смешиваются с гранулотолом при заряжании в скважину. До момента твердения полученная суспензия не расслаивается, т.к. плотность расплава равна плотности гранул тротила. В карбатолы для повышения энергии взрыва дополнительно вводится порошок алюминия. Применение карбатолов для дробления крепких пород на 20-30% эффективнее и экономичнее применения алюмотола или гранулотола.

**7.2. Взрывчатые вещества для взрывных работ в шахтах не опасных по газу и пыли и на земной поверхности**

Наиболее представительный класс взрывчатых веществ, включающий порошкообразные и гранулированные неводоустойчивые и водоустойчивые ВВ, гранулированные бестротиловые ВВ, сенсибилизированные гексогеном и нитроэфирсодержащие. Многие из них выпускаются в патронированном виде.

*Граммонит 79/21Б* - гранулированное ВВ от светло - до темно-желтого цвета хорошо сыпучее, у которого гранулы селитры слегка омаслены и покрыты расплавленным тротилом. Пригоден к механизированному заряжанию и при хранении не слеживается. Выпускается в бумажных мешках. Наиболее эффективен при дроблении пород средней крепости.

*Гранулиты АС-4В, АС-8В* - гранулированные ВВ серо-стального цвета, сыпучие. Физически стабильны, не слеживаются. Гранулы селитры покрыты тонким слоем гидрофобного воскового состава и посыпаны алюминиевой пудрой, которая хорошо удерживается на поверхности. В скважинах с непроточной водой и шпурах могут находиться до 4 часов. АС-8В предназначен для взрывания крепких пород, АС-4В - для взрывания пород средней крепости (приравнивается к граммониту 79/21Б).

*Граммонит 79/21* - механическая смесь гранулированной аммиачной селитры и чешуйчатого или гранулированного порошка. Не слеживается, достаточно сыпуч, неводоустойчивое ВВ, практически не пылит при ручном заряжании. Допущен к механизированному заряжанию с впрыскиванием 3-5 % воды. Эффективен в комбинированных зарядах с гранулотолом и алюмотолом при заряжании частично обводненных скважин и для дробления пород средней крепости.

*Гранулиты АС-4, АС-8* - серебристо-серого цвета гранулированные металлизированные ВВ. Сыпучи, жирноваты на ощупь, не слеживаются, пригодны для механизированного и ручного заряжания, практически не пылят. АС-8 для дробления крепких пород, рекомендован к применению в основном на подземных работах. АС-4 рекомендован в комбинированных скважинных зарядах на карьерах и для дробления пород средней крепости на открытых и подземных работах.

*Гранулит М* - по внешнему виду не отличается от обычной гранулированной селитры и простейшее гранулированное ВВ заводского изготовления. Не слеживается, сыпуч, физически стабилен, практически не пылит. Так как масло равномерно поглощается пористыми гранулами селитры отличная детонационная способность. Может использоваться для дробления крепких пород, хорошо уплотняется в скважинных и шпуровых зарядах при пневмозаряжании . Наиболее эффективен для дробления пород средней крепости.

*Игданит* – разрешенное к изготовлению на предприятиях ведущих взрывные работы безопасное, простейшее ВВ. Представляет собой стехиометрическую смесь дизельного топлива и аммиачной селитры. Хорошо сыпуч, практически не пылит, пневмотранспортабелен, хорошо уплотняется в зарядах. Приготовленный игданит должен использоваться в течение 4 - 6 часов (дизельное топливо стекает в нижнюю часть заряда и флегматизирует его). Область применения - дробление пород средней и слабой крепости в шпуровых и скважинных зарядах.

Расчетно-экспериментальные характеристики рассмотренных ВВ и рецептурный состав представлены в таблице 7.2.

#### Таблица 7.2

## Характеристика гранулированных ВВ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Компоненты и  показатели | Граммониты | | | | | Игданит | |
| 79/21Б | | 79/21 | | |
| Состав %:  Аммиачная селитра  гранулированная  Тротил  Алюминиевая пудра  Масло минеральное  Дизельное топливо  Показатели:  Кислородный баланс, %  Объем газов, л/кг  Теплота взрыва, кДж/кг  Скорость детонации, км/с  Работоспособность, см3  Бризантность, мм  (в стальном кольце) | 79  21  -  -  -  0.02  895  1030  3,8-4,2  360-380  22-26 | | 79  21  -  -  -  0.02  895  1030  3,2-4,0  360-370  20-25 | | | 94.5\*\*  -  -  -  5.5  0.12  980  920  2,2-2,8  320-330  15-20 | |
| Компоненты и показатели | Гранулиты | | | | | | |
| АС-4 | АС-4В | | АС-8 | АС-8В | | М |
| Состав, %:  Аммиачная селитра  гранулированная  Тротил  Алюминиевая пудра  Масло минеральное  Дизельное топливо  Показатели:  Кислородный баланс, %  Объем газов, л/кг  Теплота взрыва,  кДж/кг  Скорость детонации,км/с  Работоспособность,см3  Бризантность, мм  (в стальном кольце) | 92  -  4  4  -  0,41  907  1080  2,6-3,5  390-410  22-26 | 0,35  907  1080  2,8-3,5  390-410  22-24 | | 89  -  8  3  -  0,34  847  1248  3,0-3,6  410-430  22-28 | -3,3  850  1250  3,0-3,6  400-420  22-26 | | 94.5\*  -  -  5.5  -  0,14  980  920  2,5-3,6  320-330  18-22 |

\*- пористая

\*\* - допускается беспористая кристаллическая, водоустойчивая ЖВ.

**7.3 Порошкообразные взрывчатые вещества**

*Аммонит № 6 ЖВ* - простейшая механическая смесь порошкообразного тротила и порошкообразной водоустойчивой АС марки ЖВ. Выпускается патронированном виде (ø 32 мм, m=200 и 250 г) и в мешках. Используется для изготовления патронов, промежуточных детонаторов, взрывных работ (в основном шпуровыми зарядами). Относительно водоустойчив в проточной воде (1 - 2 часа). Разрешен к заряжанию только ручным способом. Предназначен для дробления пород средней крепости.

*Динафталит* - наполовину зернистый мало пылящий светло-желтый порошок. Малочувствителен к механическим воздействиям, не слеживается, разрешен к заряжанию ручным способом. Предназначен для дробления пород средней крепости. Выпускается в патронах ø 32 мм.

*Детонит М* - мало пылящее порошкообразное ВВ серо-стального цвета, мощное промышленное ВВ, жирное на ощупь. Устойчиво детонирует в зарядах малого диаметра и после длительного пребывания в воде. Выпускается только в патронированном виде. Допущен к ручному заряжанию. Чувствителен к резкому перепаду температур (возможна эксудация). Предназначен для дробления крепких пород любой степени обводненности.

*Скальный аммонит № 1* - выпускается в прессованном или порошкообразном виде в патронированном состоянии. В прессованном виде хорошо детонирует в намокшем состоянии, водоустойчив. К механическим воздействиям обладает повышенной чувствительностью. Предназначен для дробления крепких пород любой степени обводненности с ручным заряжанием.

*Аммонал скальный № 3* - порошок серо-стального цвета. Не слеживается, водоустойчив, хорошо детонирует в патронах малого диаметра. Наиболее мощное из порошкообразных ВВ. Предназначен для дробления крепких и очень крепких пород шпуровыми зарядами любой степени обводненности. Разрешен только для ручного заряжания.

Расчетно-экспериментальные характеристики и состав взрывчатых веществ представлены в таблице 7.3.

#### Таблица 7.3

## Характеристики порошкообразных ВВ

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Компоненты и  показатели | Аммо-  нит  №6ЖВ | Динаф  талит | Детонит  М | Скальный аммонит № 1 | | Аммонал  скальный  № 3 |
| прессо-  ванный | порошко-образный |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Состав %:  Селитра аммиачная ЖВ  Селитра аммиачная  кристаллическая  Тротил  Нитроэфиры  Гексоген  Алюминиевая пудра  Стеарат кальция  Коллоидный хлопок  Сода (сверх 100 %)  Масло машинное  (сверх 100 %)  Динитронафталин | 79  -  21  -  -  -  -  -  -  -  -  - | 35  53  -  -  -  -  -  -  -  -  11,6  0,4 | 78  -  -  10  -  10,7  1  0,3  0,2  0,2  -  - | 66  -  5  -  24  5  -  -  -  -  -  - | 66  -  5  -  24  5  -  -  -  -  -  - | 72  -  6  -  1,5  8  -  -  -  -  -  - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Показатели:  Кислородный баланс, %  Объем газов, л/кг  Теплота взрыва,  кДж/кг  Скорость детона-  ции, км/с  Работоспособность  см3  Бризантность, мм | -0,53  895  1030  3,6-4,8  365-  380  14-18 | +0,3  920  975  3,5-4,6  320-350  15-16 | +0,18  780  1382  4,2-5,2  450  18-22 | -0,79  830  1292  4,8-5,3  450-460  22 | -0,79  830  1292  6,0-6,5  450-500  18 | -0,78  810  1360  4,2-4,6  450-470  18-20 |

**7.4 Предохранительные взрывчатые вещества**

*Аммонит АП-5ЖВ* - с невысокими предохранительными свойствами относительно мощное ВВ, представляющее собой с отдельными крупными частицами соли мелкодисперсный порошок светло-желтого цвета. Выпускается только в патронированном виде для дробления пород любой степени обводненности шпуровыми зарядами.

*Аммонит ПЖВ-20, Т-19 -* с отдельными крупными частицами соли мелкодисперсные порошки светло-желтого цвета. Хорошо детонируют в обводненных шпуровых зарядах и при сильном уплотнении (до 1,7 г/см3) ВВ средней мощности и предохранительности имеет более высокие детонационные характеристики, так как технологически лучше обработан и содержит больше сенсибилизатора.

*Угленит Э6 -* в зависимости от условий взрывания селективно детонирующее ВВ. Представляет собой жирноватый порошок белого цвета, практически непылящий. Хорошая детонационная способность обеспечивается за счет введения нитроэфиров. Процессу эксудации в составе Э-6 препятствует древесная мука. Относится к ионообменным ВВ - АС и пламегаситель образуются в результате ионообменной реакции:

NaNO3 + NH4Cl → NH4NO3 + NaCl

#### Таблица7.4

## Характеристики предохранительных ВВ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Компоненты и  показатели | Аммонит  АП-5ЖВ | Аммонит  ПЖВ-20 | Аммонит  Т-19 | Угленит  Э-6 |
| Нитроэфиры  Селитра АС марки ЖВ  "-" натриевая  Хлористый аммоний  Хлористый натрий  Хлористый калий  Тротил  Мука древесная  Стеарат кальция  Коллоидный хлопок  Показатели:  Кислородный баланс,%  Теплота взрыва, кДж/кг  Объем газов, л/кг  Бризантность, мм  Работоспособность, см3  Скорость детонации, км/с | -    70  -  12  -  18  -  -  -  -0,002  907  787  15-17  320-330  3,6-4,6 | -    64  -  20  -  16  -  -  -  +0,32  813  717  14-16  265-280  3,5-4,0 | -    61  -  20  -  19  -  -  -  -2,47  805  724  15-17  270-280  3,6-4,3 | 14,0    -  46,3  -  7,0  -  2,5  1,0  0,2  +0,53  640  560  8-11  130-170  1,9-2,2 |

**7.5 Промышленные ВВ на основе утилизируемых боеприпасов**

На складах Министерства обороны стран СНГ в настоящее время хранится большое количество различных боеприпасов и ВВ, гарантийный срок которых давно истек или сами боеприпасы морально устарели. Утилизация ВВ и боеприпасов охватывает ограниченный перечень изделий, поэтому основная масса подобных изделий уничтожается взрыванием или сжиганием. Выброс в земную атмосферу вредных компонентов при этом достигает огромных величин.

Вместе с тем, ряд ВВ и боеприпасов может использоваться в народном хозяйстве без сложного расснаряжения и переработки. Эти ВМ можно разделить на четыре класса: ракетные твердые топлива, инженерные боеприпасы, пороха, боевые части боеприпасов.

Наиболее широкое распространение на взрывных работах получили ВВ на основе дымных и коллоидных (пироксилиновые, баллиститные, кордитные) порохов. Коллоидные пороха применяются при взрывных работах методами скважинных, котловых, накладных, камерных и удлиненных (траншейных) зарядов. Для отделения блоков штучного камня скальных пород от массива методом шпуровых зарядов используются дымные пороха.

В настоящее время на основе пироксилиновых порохов, флегматизированных нефтепродуктами, выпускаются гранипоры (ПЗФ, ФМ, Б1, Б2, Б3, ВС). Гранипоры - выпускаемые в виде частиц размером от 5 до 20 мм промышленные ВВ I класса, изготовленные на основе устаревших марок баллиститных порохов. Предназначены для взрывных работ только на земной поверхности в обводненных скважинах по породам с коэффициентом крепости до 20. Предназначены только для ручного заряжания.Выпускается в мешках массой 40-42 кг.

Широкое распространение на взрывных работах в последнее время получил утилизируемый из боеприпасов тротил, который выпускается под маркой тротил У и используется для производства промежуточных детонаторов, граммонитов и как самостоятельное ВВ.

Характеристики некоторых ВВ на основе утилизируемых боеприпасов представлены в таблице 7.5

#### Таблица 7.5

## Характеристики промышленных ВВ из утилизируемых боеприпасов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ВВ | Теплота взрыва,кДж/кг | Кислородный  баланс, % | Скорость детонации, км/с | Насыпная плотность, кг/м3 |
| Тротил У  Гранипор ФМ  Гранипор ПЗФ  Гранипор Б1  Гранипор Б3 | 3900  3500  3500  3450  3450 | -74  -(42÷45)  -(42÷45)  -(50÷60)  -(50÷70) | 5,0-5,5  5,5-6,3  5,5-6,3  4,5-5,0  5,0-5,2 | 800  850-900  850-900  750-850  700-800 |

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Физико-химические характеристики взрывчатых веществ для взрывных работ только на земной поверхности
2. Каковы особенности водонаполненных взрывчатых веществ
3. Взрывчатые вещества для взрывных работ в шахтах не опасных по газу и пыли и на земной поверхности
4. Основные виды порошкообразных и предохранительных взрывчатых веществ
5. Промышленные ВВ на основе утилизируемых боеприпасов

**8. ДЕТОНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ, ДЕФЛАГРАЦИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

**8.1 Горючесть и дефлаграция предохранительных ВВ**

Детонация является не единственно возможной формой взрывчатого превращения ВВ. В зависимости от вида и мощности начального импульса, физического состояния ВВ и некоторых других факторов возможны такие формы превращения ВВ, как медленное нормальное горение со скоростями порядка нескольких миллиметров в секунду, также и нестабильное взрывное горение со скоростями в десятки и сотни метров в секунду. В шахтах такое взрывчатое превращение называют выгоранием или дефлаграцией ВВ.

Опасность горение предохранительных ВВ в том, что более медленное по сравнению с детонацией взаимодействие продуктов горения со взрывоопасной средой при достаточно высокой температуре (800-1000оС) облегчает условия воспламенения среды.

Исследования воспламеняемости метано-воздушной среды показали, что чем выше температура пламени и его величина, тем меньше ее задержка воспламенения.

Следуя из этого, первым критерием антигризутности ВВ являлась величина пламени взрыва. Под этот запрет первым попал дымный порох, так как быстрое взрывное горение, которого является преимущественной формой взрывчатого превращения.

Другая опасность выгорания связана с продолжительностью горения подожженного в шпуре угля или продолжительность самого процесса горения ВВ. Процесс в шахтной среде становится неуправляемым из-за нарушения режима взрывания, приводящего к возможному достижению взрывоопасной концентрации (для метано-воздушной смеси - 5%) и увеличению времени.

Возможность устойчивого распространения превращения ВВ зависит от диаметра заряда, ее характер зависит от величины импульса. Каждому режиму превращения соответствует определенный критический диаметр, зависящий от физического состояния ВВ и химической природы, размеров и свойств оболочки заряда и свойств окружающей среды. Кроме того, на горение в большей степени, чем на детонацию, оказывают влияние температура ВВ и давление окружающей среды. С увеличением этих параметров способность к устойчивому горению при заданном диаметре уменьшается и возрастает критический диаметр цилиндрического заряда, способного к горению. Это постулировано из общего: при повышении давления скорость горения ВВ(*Uг*) и порохов увеличивается исходя из выражения

*Uг* = *а Рν* , (8.1)

## где *а* и *ν* - коэффициенты, *Р* – давление.

Повышение количества столкновений реагирующих частиц зависит от повышения температуры и приводит к повышению скорости горения ВВ.

Если пассивный заряд способен и к детонации к и горению, то на каждом фиксированном расстоянии между пассивным и активным зарядами, с некоторой вероятностью возможно одно из трех событий: поджигание или отказ, возбуждение в пассивном заряде детонации. С увеличением расстояния возрастает вероятность горения и отказа, вероятность детонации уменьшается и начиная с некоторого расстояния уменьшается также и вероятность горения.

Нагретыми продуктами взрыва активного заряда ВВ происходит поджигание пассивного заряда ВВ. Нагретыми до высокой температуры продуктами взрыва сдетонировавшей части пассивного заряда возможен механизм поджигания отказавшей части пассивного заряда, если не нарушена целостность зарядной камеры (шпура) и сдетонировавшая часть заряда сравнительно невелика. В этом случае газы контактируют с невзорвавшейся частью заряда при относительно высоком давлении достаточно продолжительно по времени и падение давления нагретых продуктов взрыва медленное.

Поджигание ВВ пассивного заряда вышеописанными двумя механизмами является известными, но не единственно возможными. Ряд авторов рекомендуют о возможности поджигания ВВ ударными волнами. На теоретическую возможность поджигания ВВ ударными волнами указывает сам механизм ударного возбуждения, первой стадией которого является воспламенение некоторого пограничного слоя независимо от последующего развития горения или детонации и адиабатический разогрев. При этом зона воспламенения может быть как дискретной (очаговый разогрев) так и сплошной (гомогенный разогрев). Так как разогрев происходит в результате адиабатического сжатия в ударной волне, то каждому ВВ, исходя из его физического состояния и химической природы, соответствует некоторое критическое давление *Ркр* инициирующей волны, достаточное для разогрева ВВ или отдельных очагов в нем (горячих точек) до температуры вспышки *Твсп.*  При этом абсолютная величина *Твсп* находится в слабой зависимости от давления.

Характер разогрева определяет величина критического давления инициирующей волны. Для сплошного (гомогенного) разогрева свойственного физически однородным веществам до температуры вспышки, например, взрывчатым жидкостям, монокристаллам или близким к ним малопористым системам: типа гелей, эмульсии, высокоплотных запрессовок или отливок, требуются давления порядка многих десятков тысяч атмосфер. Для очагового разогрева свойственного порошкообразным ВВ (при сжатии воздуха между твердыми частицами ВВ до температуры вспышки, при трении между частицами вещества), эмульсионным ВВ (при сжатии воздуха между каплями жидкостей), требуется значительно меньшее давление – тысяч атмосфер.

Если сама по себе температура (равная температуре вспышки) продержится в веществе на время периода индукции вспышка реализуется, отвечающая параметрам состояния сжатого вещества *Твсп и Ркр*, т.е. время сжатия вещества в ударной волне (или пребывание его в фазе сжатия) должно быть больше периода задержки вспышки: *τсж τ* (*Твсп , Ркр*).

Вспышка может не реализоваться, если зона реакции до вспышки будет захвачена волной разгрузки.

Для возбуждения устойчивого горения в заряде ВВ необходимо и второе условие, которое гласит: «возбуждение устойчивого горения в заряде возможно, если первичная зона воспламенения (*а*), создаваемая ударной волной, при стационарном горении не меньше прогретого слоя (*Δ*)»:

*αΔ.*  (8.2)

Описанная модель относится к возбуждению горения динамическим сжатием ВВ в ударной волне, входящей в вещество из плотной малосжимаемой среды. Если же волна набегает на ВВ в воздухе, то в этом случае приоритетное значение приобретает поджигание ВВ воздухом, разогретым в отраженной от поверхности заряда ударной волне. Благодаря тому, что воздух обладает высокой уплотняемостью, даже волны низких параметров вызывают его сильный разогрев. Кроме этого, из-за различия плотностей ВВ и воздуха давление в отраженной волне примерно в 8 раз превышает давление падающей волны, что приводит к увеличению разогрева воздуха.

Развитие детонации в отличие от горения определяется воздействием ударного фронта и зоны интенсивной реакции позади его. Как ранее неоднократно было сказано детонация самораспространяется, если диссипативные потери энергии ударной волны компенсируются энергией, поступающей из зоны химических реакций за волной. В случаях горения, детонаций инициирующая волна должна быть способна воспламенять ВВ, для детонации важнее скорость реакции в зоне, так как необходимо, чтобы тепло, выделяемое при химической реакции, успевало подпитывать ударный фронт, но для возбуждения горения требуется некоторый минимальный слой прогрева.

Поджигание взрывчатого материала взрывной волной возможно:

* в результате контакта с продуктами взрыва пассивного ВВ активного заряда,
* поверхностным поджиганием воздухом разогретым в отраженной ударной волне,
* разогревом и адиабатическим сжатием самого ВВ ударной волной.

Под *горючестью ВВ* понимают их способность к горению. Устойчивое распространение горения по ВВ аналогично распространению детонации возможно, начиная с некоторого диаметра заряда, который называют критическим диаметром горения *dкр.г*.

По физическому смыслу эта величина не полностью совпадает хотя и близка с критическим диаметром детонации *dкр.* Если *dкр* обусловлен внедрением в зону волны разряжения или радиальным разбросом вещества из зоны реакции в детонационной волне, то *dкр.г* связан с отводом тепла из зоны горения в окружающую среду вследствие теплопроводности.

Равномерное распространение пламени по ВВ т.е. устойчивость горения определяется динамическим равновесием теплового потока. Количество тепла, выделяемое из зоны горения впереди лежащим слоям, должно быть достаточным для испарения (газификации) или нагрева этих слоев до температуры воспламенения, так как большинство компонентов промышленных ВВ, такие как аммиачная селитра, нитроглицерин, тротил и др., при нагреве сначала испаряются, а затем реагируют в газовой фазе. Оно может быть подсчитано из общего динамического баланса тепла системы

*qо = q1 + q2 + q3 ,*  (8.3)

или через массовую скорость:

*qо =Uг qг ,*  (8.4)

где *q1*  - скорость теплового потока вглубь вещества,

*q2* – скорость отвода тепла в окружающую среду через боковую поверхность,

*q3* - скорость теплоотвода продуктами горения,

*Uг –* массовая скорость горения (г/см2 ·с),

*qг* - теплота горения (кал/г).

Скорость отвода тепла в окружающую среду через боковую поверхность может быть рассчитана:

*q2* = *a S (Тг - ТВ),*  (8.5)

где *а* – коэффициент теплопередачи в окружающую среду,

*S* – поверхность теплоотдачи,

*Тг* – температура в зоне горения,

*ТВ –* температура на границе с окружающей средой.

Так как значительная доля тепловыделения относится к реакциям испарения или газификации ВВ, то скорость горения становится функцией от давления:

*Uг* = *а +В Рν* , (8.6)

где *А* и *В* – эмпирические коэффициенты, определяемые *Ро.*

Скорость горения зависит также от начальной температуры (*То*) ВВ:

*Uг*  , (8.7)

где *А1* и *В1* – эмпирические коэффициенты.

Между величинами *dкр.г* , *То* и *Ро*можно установить определенную связь. При заданных *Ро*и *То* определится некоторая величина *dкр.г* при прочих постоянных условиях. И при постоянном диаметре заряда может быть найдено такое значение *Р* или *Т*, начиная с которого возможно устойчивое распространение горения. Эти величины принято называть или критической температурой *Ткр* горения или критическим давлением *Ркр,*. Любая из этих величин может быть принята в качестве критерия горючести ВВ. Чем меньше *dкр.г* или *Ркр* или *Ткр* , тем более горюч ВВ. На этом принципе основаны различные методики экспериментальной оценки горючести ВВ.

Большинство промышленных ВВ обладают сравнительно невысокой горючестью. Хлористый калий, натрий и аммоний при содержании их в составе предохранительных ВВ свыше 10 % по массе понижают горючесть ВВ, а при содержании их в составе предохранительных ВВ до 10 % по массе повышают горючесть ВВ.

Резко повышается горючесть ВВ при добавлении нитроглицерина в аммиачно-селитренные ВВ (и нитрогликолей) до 6 % по массе. При введении древесной муки в аммиачно-селитренные ВВ критическое давление поджигания вначале увеличивается (падает горючесть), достигает максимума при массовом содержании древесной муки порядка 1 %, а затем снижается до нуля (при содержании древесной муки около 5 % по массе).

Амины, кристаллогидраты, фтористые соединения, вода подавляют горючесть предохранительных ВВ.

#### 8.2 Детонационная способность предохранительных взрывчатых веществ

Выгорание предохранительных ВВ происходит в том случае, если взрыв происходит неполно и нарушается нормальный режим детонации в шпуровом заряде. Получается, чем надежнее детонация шпуровых зарядов предохранительных ВВ, тем меньше вероятность их «выгорания».

Надежность детонации многопатронного предохранительного ВВ (рисунок 8.1) в основном определяется тремя факторами:

* восприимчивостью патрона-боевика (поз.3) к импульсу капсюля детонатора (поз.2),
* детонационной способностью ВВ в заряде (поз.4),
* способностью передавать детонацию от патрона к патрону.



Рисунок 8.1 - Схема размещения заряда в шпуре:

1. детонационный шнур, 2- капсюль-детонатор, 3- патрон - боевик, 4- основной заряд из 4 патронов, 5- забойка

Мерой оценки этих факторов являются минимальный инициирующий импульс (навеска инициирующего заряда или параметры инициирующей ударной волны), расстояние передачи детонации и критический диаметр детонации. Эти показатели зависят от физического состояния ВВ, закладываемого параметрами технологического процесса получения (плотность, степень измельчения, рецептура). Эти первоначальные физические свойства ВВ могут поменяться в период подготовки, хранения и проведения взрывных работ в шпурах.

Образование перемычек из буровой муки и пыли между патронами при плохой очистке шпуров и намокание ВВ в обводненных шпурах является причиной неполных взрывов многопатронных зарядов ВВ. Образовавшееся высокое давление в шпурах во время взрыва может способствовать образованию больших промежутков между патронами и выталкиванию забойки.

К более сложным причинам выгорания ВВ, связанных с динамикой взрывания, можно отнести: нарушение целостности и формы заряда, что будет сказываться на режиме детонации по длине заряда, уплотнение ВВ.

Ранее было уже отмечено, что режим детонации ВВ определяется природой оболочки, чем она прочнее, тем стабильнее режим детонации. При заряжании шпуров между патронами и стенками шпура всегда имеется некоторый воздушный зазор, который будет влиять на режим детонации в сторону ее затухания и нестабильности, особенно для ВВ невысокой детонационной способности, к которым относятся предохранительные аммиачно-селитренные ВВ. Такое влияние на режим детонации радиального зазора называют канальным эффектом.

Экспериментальные исследования показали, что канальный эффект зависит от свойств ВВ, усиливается с увеличением прочности трубы и массы, длины заряда, наличие перемычек между частями заряда. Он исчезает при очень маленьких (менее 0,12 диаметра заряда) и очень больших зазорах (более 3 диаметров заряда) и достигает максимума при некотором оптимальном зазоре (порядка 0,2 диаметра заряда). Шероховатость поверхности заряда и стенок шпура, так же как и перекрытие зазора картонными или бумажными перегородками, ослабляют канальный эффект. Чем меньше диаметр заряда, тем вероятнее затухание детонации заряда от канального эффекта.

Следует полностью исключить радиальный зазор для предотвращения канального эффекта, чему способствует применение в последние годы эмульсионных ВВ.

Взаимодействие соседних шпуровых зарядов приводящих к уплотнению отдельных зарядов наблюдается при проведении групповых взрывных работ, вследствие применения короткозамедленного взрывания (через 15-25с) или разброса во времени срабатывания электродетонаторов мгновенного действия. Ранее взорвавшиеся заряды продуцируют во взрываемом угольном массиве волны сжатия, которые действуют на соседние невзорвавшиеся шпуровые заряды, проявляющиеся в заполнении свободного пространства шпура угольной пылью отколовшейся от стенок шпура и уплотнении заряда ВВ. Пыль может образовать инертные перемычки между торцами патронов ВВ и попасть между ними, что может привести к неустойчивой детонации таких, попавших под влияние волн сжатия, зарядов.

При групповом неодновременном взрывании сам факт уплотнения ВВявляется отрицательным явлением, так как приводит к изменению режима детонации. Если принять во внимание и то, что уплотнение ВВ в динамических условиях (при взрыве в шахтах) и в статических условиях (на прессе при изготовлении), по сути, разные процессы. По всему объему ВВ уплотнение на прессе приводит к одинаковости плотности. При групповых взрывах уплотнение волнами сжатия приводит к неодинаковости плотности по всему объему ВВ, по заряду ВВ происходит чередование участков менее плотных с более плотными. Это приводит к ухудшению детонационной способности динамически уплотненных предохранительных ВВ и может служить причиной выгорания ВВ.

Рядом исследователей представляется возможной причиной выгорания зарядов предохранительных ВВ как воздействие продуктов взрыва взорвавшегося заряда, распространившихся по трещинам и достигших еще не взорвавшиеся заряды. Продукты взрыва ранее взорвавшегося шпурового заряда, могут достигнуть соседний шпур распространяясь по трещинам, уплотнить заряд, нарушить сплошность, а в отдельных случаях и поджечь его.

* 1. **Классификация предохранительных ВВ и принципы компоновки их составов**

Изложенные ранее основные закономерности воспламенения аэрозолей и горючих газов взрывным импульсом и термодинамики взрыва, смоделированных на условии подземных выработок, указывают на следующие способы предупреждение воспламенения горючей шахтной среды и обеспечения надежности детонации предохранительных ВВ:

1) управление энергией взрыва в зависимости от условий взрывания;

2) введение в состав предохранительных ВВ ингибиторов, благодаря чему при заданном уровне антигризутности допускается повышение уровня энергетических характеристик предохранительных ВВ;

3) Путем уменьшения количества твердой фазы в продуктах взрыва повышение термодинамического к.п.д. взрыва

В настоящее время введение ингибиторов в состав предохранительных ВВ является общепринятым методом создания предохранительных ВВ. Изменяя содержание таких солей можно одновременно регулировать поверхность отрицательного катализа и тепловые параметры взрыва. Предохранительные свойства таких ВВ с увеличением содержания солей усиливаютсяиз-за возрастания ингибирующего эффекта и из-за снижения температуры взрыва.

Ранее, инертные соли вводили в состав ВВ для снижения температуры продуктов взрыва, при первых разработках антигризутных ВВ. Если инертные соли содержали кристаллизационную воду и были еще легкоплавкими, то эффект снижения температуры продуктов взрыва был большим. После опубликования работ, в которых однозначно было выявлено ингибирующее действие многих окислов и солей в реакциях окисления метана и других взвесей горючих и газов, их введение в состав ВВ стало целенаправленным.

Памятуя о том, что каждый ингибитор обладает своей ингибирующей активностью появилась возможность при создании предохранительных ВВ пользоваться эффектом ингибирования. Это дает возможность при постоянстве в ВВ массового содержания путем замены в составе ВВ менее эффективного ингибитора на более эффективный повысить степень антигризутности предохранительного ВВ без изменения энергетических характеристик.

В составах ВВ наиболее эффективными ингибиторами являются фтористые соли, однако они токсичны. Из хлористых солей наиболее приемлемыми являются соли натрия и калия. Хлористый калий более эффективен, однако он гигроскопичен в большей степени и состав на основе КСl менее водоустойчив, чем хлористый натрий.

Увеличивая удельную поверхность ВВ или уменьшая размер частиц можно усилить ингибирующее действие солей, так как скорость гетерогенного катализа прямо пропорциональна поверхности катализатора. Если принять, что коэффициент дробленияпри взрыве постоянен, то в процессе взрыва после дробления ингибитор с большими первоначальными частицами будет иметь больший размер частиц, и в процессе взрыва после дробления ингибитор с меньшими первоначальными частицами будет иметь меньший размер частиц.

Флегматизирующее действие невзрывчатой соли усиливается при чрезвычайно тонком измельчении ингибитора. В состав предохранительных ВВ для нейтрализации флегматизирующего действия тонкоизмельченных ингибиторов часто вводят нитроглицерин или реже гексоген, тэн сенсибилизаторы.

В наибольшей мере реализуется в предохранительных ВВ ультратонкое распыление ингибитора, содержащих ионную пару солей, например натриевая или калиевая селитра и хлористый аммоний. Эти соли при взрыве взаимодействуют по реакции



с образованием нитрата аммония, который далее разлагается на азот, воду и кислород и хлористого натрия или калия, который является ингибитором.

Одной из причин высоких предохранительных свойств ВВ, содержащих ионообменную пару солей (*NaNO3+NH4Cl*) является образование при взрыве ультрадисперсного ингибитора (*NaCl*).

Идея реализована в комбинированном патроне ВВ, аналогичная ионообменной паре, когда соляной водный раствор ингибитора вынесен на периферию основного заряда ВВ в виде оболочки. В патронах ПВП-1, созданных в МакНИИ, основной заряд заполненная солевым раствором помещен в полиэтиленовую оболочку.

Можно повысить эффективность предохранительных ВВ, в зависимости от условий взрывания управляя энергией взрыва. Такая задача решается так называемой селективной детонацией. Режим такой детонации может быть создан с помощью смесевого ВВ, содержащего компоненты различной кинетической способности: детонируют или все компоненты или часть наиболее активных компонентов. Например, смесь, состоящая из хлористого аммония, нитроглицерина и натриевой селитры типа угленитов, взрывается с полным выделением энергии только в замкнутой камере с прочными стенками. При взрывании такой смеси на воздухе малоактивные соли разбрасываются как инертные вещества поскольку не успевают прореагировать в детонационной волне создаваемой нитроглицерином, детонируют только нитроглицерин. Возможен и промежуточный режим. Выраженную селективность детонации также имеют смеси нитроглицерина, тэна и гексогена с аммиачной селитрой, с увеличением размеров частиц селитры степень селективности такой смеси возрастает. Селективностью могут обладать и водонаполненные ВВ, в которых часть – осталась в твердом состоянии, а часть окислителя перешла в водный раствор.

Наиболее опасными по воспламенению газа и пыли являются условия, в которых энергия взрыва в основном сосредоточена в нагретых до высокой температуры продуктах взрыва и механическая работа взрыва минимальная. Этим условиям отвечает взрыв частично или полностью «обнаженного» заряда. В этих условиях выделение тепла минимальное, что неопасно в плане воспламенения горючих газов и пыли и детонация селективных ВВ происходит не полностью.

Одним из эффективных методов повышения работоспособности предохранительных ВВ может стать уменьшение количества твердой фазы в продуктах взрыва, при этом не должны уменьшаться их предохранительные свойства.

Понизить температуру и теплоту продуктов взрыва можно, если использовать компоненты окислитель и горючее с высокой теплотой образования.

Исходя из вышеизложенного необходимо руководствоваться следующим, при составлении композиций современных предохранительных ВВ:

* предохранительные ВВ должны образовывать или содержать при взрыве по возможности наиболее каталитически активные ингибиторы с частицами минимальных размеров,
* опытным или расчетным путем определять предельный для данного класса ВВ уровень энергии предохранительного ВВ, регламентированный условиями испытаний,
* задаваемый уровень энергии с известными термохимическими константами обеспечивать соответствующим подбором активных компонентов ВВ, а при необходимости – также вводить в состав вещества, охлаждающие продукты взрыва,
* учитывать тепло при расчете теплового баланса взрыва, поглощаемое ингибитором,
* минимальное массовое содержание ингибитора, обеспечиваемое большой удельной поверхностью диспергируемого взрывом ингибитора, будет способствовать увеличению термодинамического к.п.д. взрыва,
* предпочтительны такие предохранительные ВВ, которые образовывают продукты взрыва с минимальным количеством твердой фазы при взрыве тонкодисперсной взвеси из высокоактивных ингибиторов, а также ВВ, имеющие способность к селективной детонации, благодаря чему в зависимости от условий взрывания могут обладать свойствами, соответствующими различным по предохранительности классам предохранительных ВВ.

Для предохранительных ВВ при решении вышеизложенных положений нельзя игнорировать и общие требования, предъявляемые к промышленным ВВ:

* морозоустойчивость,
* физическая и химическая стабильность,
* технологичность и безопасность производства,
* чувствительность к инициирующим импульсам,
* экологическая безопасность.

При классификации предохранительных ВВ по составу и свойствам по области применения необходимо учитывать, что они тесно связаны между собой, так как условия и область применения определяют свойства и состав ВВ.

По области применения предохранительные ВВ подразделяются на следующие группы:

* ВВ для серных и колчеданных шахт и других горных разработок, опасных по сернистым соединениям и серной пыли,
* ВВ для угольных шахт и других горных разработок, опасных по угольной пыли или метану,
* ВВ для нефтяных, озокеритовых шахт и других горных разработок, опасных по тяжелым углеводородам и парам бензина.

В каждой группе предохранительные ВВ различают по опасности горных выработок по газу и пыли и условиям применения.

В соответствии с принятой классификацией предохранительные ВВ подразделяют на классы.

Предохранительные ВВ для породных забоев опасных по метану, и специального назначения – ВВ III класса. ВВ этого класса не должны воспламенять метано-воздушную смесь при прямом инициировании и при взрывании в канале мортиры.

Типичными представителями ВВ этого класса являются победит ВП-4 и аммонит АП-5ЖВ.

К ВВ III класса относятся также ВВ, предназначенные для колчеданных, серных, нефтяных и озокеритовых шахт, а также других горных разработок, опасных по тяжелым углеводородам и парам бензина.

В настоящее время ВВ III класса в угольных шахтах имеют ограниченное применение.

ВВ IV класса – предохранительные ВВ для смешанных забоев шахт, опасных по газу или пыли и угольных. Эти ВВ применяют для забоев выработок, проводимых по углю и по породе на негазовых пластах, опасных по взрыву пыли, а также на пластах с небольшим газовыделением, когда в процессе взрывных работ исключена возможность образования в забое взрывоопасной метано-воздушной смеси.

Типичным представителем ВВ этого класса является аммонит ПЖВ-20.

При испытаниях в опытном штреке ВВ IV класса не должны воспламенять:

* пылевоздушную при прямом инициировании смеси при взрывании в канале мортиры без забойки заряда массой 0,7 кг.
* метано-воздушную смесь при взрывании в канале мортиры с забойкой (10 см) заряда массой 0,6 кг при прямом инициировании,

В угольных шахтах в настоящее время ВВ IV класса находят широкое применение.

ВВ V класса – ВВ повышенной предохранительности для смешанных и угольных забоев и специальных работ в шахтах всех категорий. Эти ВВ применяют для забоев выработок, проводимых по углю и породе или по углю при одной поверхности обнажения, в которых в процессе взрывных работ возможно образование взрывоопасной метано-воздушной смеси.

Представителями этого класса ВВ являются угленит №5, угленит Э-6 и патроны ПВП-1-У и ПВП-1-А.

При испытании в опытном штреке ВВ этого класса не должны воспламенять пылевоздушную и метано-воздушную смеси при взрывании в канале мортиры без забойки заряда массой 0,6 кг при обратном инициировании и заряда массой 1,0 кг при прямом инициировании.

В угольных шахтах ВВ этого класса находят широкое применение.

ВВ VI класса – высокопредохранительные ВВ для специальных работ в шахтах, особо опасных по газу и отбойки угля. ВВ этого класса применяют для забоев выработок, проводимых по углю или по углю и породе с двумя или более поверхностями обнажения, где в процессе взрывных работ возможно образование взрывоопасной метано-воздушной смеси, а заряды ВВ могут быть обнажены с боковой поверхности через трещины или непосредственно.

При испытании в опытном штреке ВВ этого класса не должны воспламенять:

* пылевоздушную и метано-воздушную смеси при взрывании в уголковой мортире (с отраженной стенкой на расстоянии 0,6 м ) заряда массой 1,4 кг.
* пылевоздушную и метано-воздушную смеси при взрывании в канале мортиры без забойки заряда массой 1 кг при прямом и обратном инициировании,

Таким условиям удовлетворяют патроны в растворонаполненных полиэтиленовых оболочках – патроны СП-1.

Появление новых знаний в области изучения причин аварий в шахтах при взрывании приводило и к практическим результатам: разработке новых рецептур с использованием компонентов, которые повышали предохранительные свойства применяемых ВВ. Хронологично появились следующие взрывчатые смеси:

* взрывчатые смеси на основе аммиачной селитры, имеющие большой отрицательный кислородный баланс (вследствие низкой температуры продуктов взрыва) или большой положительный,
* взрывчатые смеси, содержащие инертные в отношении взрывчатого превращения добавки, на эндотермическое разложение или нагрев которых расходуется часть тепловой энергии, выделяемой при взрыве,
* взрывчатые смеси в предохранительных оболочках из инертных веществ, в которых одновременно обеспечивается высокая антигризутность и высокая детонационная способность,
* ингибитор непосредственно вводился в состав ВВ, взрывчатые смеси с каталитически активными веществами ингибиторы, пламегасителями – эквивалентные предохранительные ВВ.
* взрывчатые смеси, обладающие в зависимости от условий взрывания селективной детонацией селективные предохранительные ВВ,
* взрывчатые смеси, содержащие обменную пару (*NaNO3 + NH4Cl*), получившие название ионообменных ВВ.

Взрывчатые и физико-химические свойства современных предохранительных ВВ представлены в таблице 8.1. Все они выпускаются на водоустойчивой аммиачной селитре ЖВ, обладают сравнительно высокой водоустойчивостью, стабильны при хранении и могут применяться во всех климатических зонах.

Таблица 8.1

Физико-химические свойства предохранительных ВВ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс | ВВ | Состав , % по массе | | | | | | | |
| Аммиачная селитра ЖВ | Тротил  тротил | Древесная мука | Нитроэфиры | Хлористый натрий (калий) | Натриевая селитра | Хлористый аммоний | Стеараты |
| III | Аммонит АП-4ЖВ | 68 | 17 | - | - | (15) | - | - | - |
| Аммонит АП-5ЖВ | 70 | 18 | - | - | 12 | - | - | - |
| Победит ВП-4 | 65,5 | 12 | 1,5 | 9 | 12 | - | - | - |
| IV | Аммонит ПЖВ-20 | 64 | 16 | - | - | 20 | - | - | - |
| Аммонит  Т-19 | 61 | 19 | - | - | 20 | - | - | - |
| V | Угленит  Э-6 | - | - | 2,5 | 14,2 | (7) | 46,3 | 29 | 1 |
| Селектит (гранулированный) | 66,5 | - | 8,5 | 10 | 15 | - | - | - |
| Угленит  №5 | 14 | - | 1 | 10 | 75 | - | - | - |
| VI | Угленит  № 7 | - | - | 2 | 10 | - | (57) | 30 | 1\* |
| Патроны СП-1 | Ядро –угленит Э-6. Оболочка- водный раствор нитрата аммония | | | | | | | |
| V | Патроны ПВП-1-У | Ядро – аммонит ПЖВ-20  Оболочка –водный раствор нитрата аммония | | | | | | | |
| ПВВ спец. назначения | Серный аммонит №1 ЖВ | 52 | 11,5 | 1,5 | 5 | - | - | 30 | - |
|  | Нефтяной аммонит №3 | 52,2 | 7 | - | 9 | (30) | - | - | 1,5 |

\* - диатомит может быть заменен поливинилхлоридом

В технологическом процессе изготовления предохранительных ВВ для увеличения их детонационной способности введена фаза интенсивного измельчения активных компонентов (тротил, селитра). Многие предохранительные ВВ содержат в своем составе нитроглицерины, нитрогликоль и жидкие нитроэфиры.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Горючесть и дефлаграция предохранительных промышленных ВВ
2. Мера оценки детонационной способности предохранительных взрывчатых веществ
3. Ингибиторы и принципы компоновки их составов
4. Перечислите предохранительные ВВ для породных забоев опасных по метану, и специального назначения
5. Особенности и физико-химические свойства современных предохранительных ВВ

**9. ПPОМЫШЛЕННЫЕ ВЗPЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕCТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

Промышленными называются взрывчатые вещества, предназначенные для взрывных работ в народном хозяйстве. Выпускаются в патронах, пакетах, мешках и ящиках, каждый из которых отличается цветом оболочек патронов и диагональ­ных полос на ящиках и мешках. В последнее время ВВ посту­пают также в специальных контейнерах.

Патроны ВВ имеют обычно цилиндрическую форму. В ка­честве оболочки применяется пропитанная парафином бумага. Диаметр и масса патронов принимается в зависимости от диаметра шпуров или скважин. Для удобства транспортировки и хранения патроны упаковывают в пачки, а затем укладывают в деревянные ящики.

Для льющихся ВВ в качестве оболочки могут быть исполь­зованы полиэтиленовые ампулы.

Допускаются к применению в геологоразведочных работах и при разработке месторождений лишь те промышленные ВВ, на которые имеются ГОСТы или утвержденные в установлен­ном порядке технические условия, а также журнальные поста­новления Госгортехнадзора.

Промышленные ВВ должны обладать пониженной чувстви­тельностью к внешним воздействиям, быть безопасными в об­ращении, транспортировании и хранении, иметь относительно невысокую стоимость, не должны оказывать вредного влияния на организм человека. Вместе с тем промышленные ВВ долж­ны обладать достаточной мощностью, безотказно детонировать от современных средств инициирования, обеспечивать устойчи­вую детонацию по всей массе ВВ, сохранять свои свойства в течение гарантийного срока хранения, а также длительного нахождения в зарядных емкостях.

Промышленные ВВ должны быть пригодными к механизи­рованному заряжанию и обладать достаточно высокой водо­устойчивостью на случай их применения в обводненных сква­жинах.

Промышленные ВВ, применяемые в подземных условиях, не должны образовывать много ядовитых газов, а в шахтах, опасных по взрыву газа или пыли, дополнительно еще иметь пониженную температуру взрыва.

Многообразие условий применения и большие технические требования к промышленным ВВ вызвали необходимость иметь широкий их ассортимент, насчитывающий десятки наимено­ваний.

Оcобые cвойcтва ПВВ пpидают такие компоненты как окиcлители, флегматизатоpы, cенcибилизатоpы, cтpyктypообpазyющие, гоpючие и гидpофобные добавки и дp.

Окиcлители – вещеcтва, cодеpжащие избыточный киcлоpод, pаcходyемый пpи взpыве на окиcление гоpючих элементов (аммиачная cелитpа – АC, калиевая cелитpа – КаC, натpиевая cелитpа – НаC и т.д). Гоpючие добавки – твеpдые или жидкие вещеcтва, как пpавило, невзpывчатые – тонкоизмельченный yголь, дpевеcная мyка, cоляpовое маcло. Гоpючие добавки вводят в cоcтав ВВ для yвеличения количеcтва энеpгии, выделяемой пpи взpыве. Pоль гоpючих добавок выполняют также ВВ (тpотил, гекcоген и дpyгие), имеющие в cвоем cоcтаве недоcтаточное количеcтво киcлоpода для полного окиcления cодеpжащихcя в них гоpючих элементов.

Пламегаcители вводят в cоcтав только пpедохpанительных ВВ для cнижения темпеpатypы взpыва и yменьшения веpоятноcти воcпламенения метановоздyшных и пылевоздyшных cмеcей в шахтах. В качеcтве пламегаcителей чаще вcего вводят NaCl и KCl. Пламегаcители не yчаcтвyют в pеакции пpи взpыве, только нагpеваютcя и иcпаpяютcя, cнижая тем cамым темпеpатypy газов взpыва.

Cенcибилизатоpы – вещеcтва, вводимые в cоcтав ВВ для повышения его чyвcтвительноcти к воcпpиятию и пеpедаче детонации. Это, как пpавило, мощные ВВ (тpотил, гекcоген, нитpоэфиpы), чyвcтвительные к иницииpyющемy импyльcy, котоpые в cмеcи малочyвcтвительных взpывчатых вещеcтв (АC и т.п.) c невзpывчатыми (дpевеcная или хлопковая мyка) обеcпечивают ноpмальнyю чyвcтвительноcть такого cмеcевого ВВ к иницииpованию. Pоль cенcибилизатоpа могyт выполнять и невзpывчатые вещеcтва (гоpючие добавки): cоляpовое маcло, дpевеcная мyка или yголь. Пpи этом обpазyютcя пpоcтейшие cмеcевые ВВ: динамоны, игданиты, гpанyлиты.

**9.1 Основные компоненты промышленных взрывчатых веществ**

Cтабилизатоpы (дpевеcная, тоpфяная мyка и дp.) вводят для повышения химичеcкой и физичеcкой cтойкоcти ВВ.

Флегматизатоpы легкоплавкие вещеcтва, маcла, имеющие выcокyю теплоемкоcть и выcокyю темпеpатypy вcпышки, обволакивающие чаcтицы ВВ и не вcтyпающие c ним в pеакцию. Введение флегматизатоpов cнижает чyвcтвительноcть ВВ к механичеcким воздейcтвиям и обеcпечивает более безопаcные ycловия его пpименения. Чаcто иcпользyют вазелин, паpафин и pазличные маcла.

Для шахт и каpьеpов – поpошкообpазные ВВ на оcнове cyхих поpошкообpазных компонентов, а также c добавками жидких вещеcтв. Из многокомпонентных cмеcей наибольшее пpименение имеют cледyющие оcновные гpyппы ВВ: а) аммониты – cмеcь аммиачной cелитpы, тpотила и невзpывчатых гоpючих добавок. В cоcтав cкального аммонита входит добавка гекcогена; аммониты пpедохpанительные для шахт и pyдников выпycкают c добавкой пламегаcителей - аммонит №6ЖВ (ожелезненная cелитpа маpки ЖВ), аммонит АП-5ЖВ, аммонит ПЖВ-20, аммонит Т-19 и дp. б) Аммоналы - аммониты c добавкой алюминиевой пyдpы. в) Детониты - cмеcь аммиачной cелитpы, нитpоэфиpов и алюминиевой пyдpы. г) Динамоны - cмеcь аммиачной cелитpы и невзpывчатых гоpючих добавок. д) Гpанyлиpованные ВВ – cмеcи на оcнове cyхих гpанyлиpованных, чешyйчатых компонентов или гpанyлиpованных cплавов компонентов. е)Гpаммониты – cмеcь гpанyлиpованной аммиачной cелитpы c гpанyлиpованным тpотилом или c чешyйчатым тpотилом. ж) Гpанyлиты – cмеcи гpанyлиpованной аммиачной cелитpы c жидкими и поpошкообpазными невзpывчатыми гоpючими добавками. з) Игданиты – cмеcь гpанyлиpованной аммиачной cелитpы c жидкой гоpючей добавкой. и) Гpанyлотол – гpанyлиpованный тpотил. к) Алюмотол – гpанyлиpованный cплав тpотила c алюминиевой пyдpой.

Водоcодеpжащие ВВ – на оcнове cyхих гpанyлиpованных или чешyйчатых компонентов или гpанyлиpованных cплавов компонентов c добавками холодного или гоpячего pаcтвоpа аммиачной cелитpы, NaCl или КCl, загyщающих pаcтвоp и cтабилизиpyющих заpяд добавок. м) Акватолы – cмеcь гpанyлиpованной аммиачной cелитpы и гpанyлиpованного тpотила c pаcтвоpом cелитp, загyщающих и cтабилизиpyющих добавок. н) Эмyльcионные ВВ – cмеcи холодного или гоpячего наcыщенного pаcтвоpа cелитp c жидкой невзpывчатой гоpючей добавкой и эмyльгатоpом, котоpая пpи обpаботке ее в диcпеpгатоpе пpевpащаетcя в водоycтойчивое подвижное ВВ.

Пpи оcтывании гоpячее эмyльcионное ВВ твеpдеет. Наиболее важными cвойcтвами пpомышленных ВВ (кpоме взpывчатых хаpактеpиcтик, экcплyатационных качеcтв ВВ, cтабильноcти) отноcят гигpоcкопичноcть, cлеживаемоcть, химичеcкая cтойкоcть, водоycтойчивоcть, плаcтичноcть, текyчеcть, yплотняемоcть, cыпyчеcть, cтаpение, летyчеcть, экcyдацию и дp.

Гигpоcкопичноcть - это cпоcобноcть пpомышленных ВВ поглощать влагy из окpyжающей атмоcфеpы. Cпоcобноcть к yвлажнению аммиачно-cелитpенных ВВ обycловлена выcокой гигpоcкопичноcтью оcновного компонента - аммиачной cелитpы, – что пpиводит к оcлаблению и полной потеpе взpывчатых cоcтавов. Накопившаяcя влага флегматизиpyет ВВ.

Cлеживаемоcть - это cпоcобноcть некотоpых поpошкообpазных вещеcтв теpять пpи хpанении cыпyчеcть и пpевpащатьcя в пpочнyю cплошнyю маccy. Cлежавшиеcя патpоны ВВ имеют повышеннyю опаcноcть. В такие патpоны затpyднено введение детонатоpа. Cлежавшиеcя аммониты (оcобенно в патpонах малого диаметpа) мало воcпpиимчива к пеpвичным cpедcтвам иницииpования, отличаютcя пониженной детонационной cпоcобноcтью.

Химичеcкая cтойкоcть (cтабильноcть) хаpактеpизyет cкоpоcть pазложения ВВ пpи хpанении. Еcли ВВ обладает низкой cтабильноcтью, то в pезyльтате хpанения больших его количеcтв может пpоизойти cамоycкоpяющееcя pазложение и взpыв. В этом cлyчае пpодyкты пеpвичного pаcпада катализиpyют дальнейшyю pеакцию, ycкоpяет, таким обpазом пpоцеcc pазложения.

Водоycтойчивоcть – это cпоcобноcть ВВ cохpанять взpывчатые cвойcтва пpи погpyжении в водy. Для повышения водоycтойчивоcти ВВ pазpаботано много cпоcобов, один из котоpых хаpактеpизyетcя введением cтеаpата кальция или цинка в поpошкообpазные нитpоглицеpиновые ВВ – детониты, yглениты и дp. Для cнижения cмачивающей cпоcобноcти жидких нитpоэфиpов в этих ВВ их cлабо желатиниpyют коллоидным хлопком.

Плаcтичные ВВ - это ВВ выcоковязкой cтpyктypы, cпоcобное легко дефоpмиpоватьcя пpи незначительных нагpyзках и полноcтью заполнять заpядные полоcти. К таким ВВ отноcятcя динамиты и акваниты.  
Текyчие (льющиеcя) ВВ – низковязкие акватолы, ифзаниты и некотоpые акваниты, cодеpжащие до 30% водной желатины. Такие ВВ можно тpанcпоpтиpовать по шлангам.

Уплотняемоcть - это качеcтво ВВ, опpеделяющее плотноcть заpяжания заpядной емкоcти. Yплотняемоcть возpаcтает пpи наличии жидкой фазы в ВВ.

Cыпyчеcть - это cпоcобноcть ВВ легко тpанcпоpтиpоватьcя по тpyбам и шлангам к меcтy заpяжания, cвободно выcыпатьcя, хоpошо заполнять пpоcтpанcтво cкважин. Cыпyчеcть иногда хаpактеpизyют yглом еcтеcтвенного откоcа. Гpанyлиты, зеpногpанyлиты, гpанyлотол - это пpомышленные ВВ, хаpактеpизyющиеcя хоpошей cыпyчеcтью.

Cтаpение - это необpатимое yхyдшение взpывчатых cвойcтв ВВ пpи хpанении, вызванные физико-химичеcкими изменениями в вещеcтве в pезyльтате внyтpенних пpоцеccов или взаимодейcтвия c внешней cpедой. В cвязи c пpоцеccами cтаpения для вcех ПВВ ycтанавливаетcя гаpантийный cpок хpанения, в течение котоpого гаpантиpовано cохpанение оcновных показателей техничеcких ycловий не ниже pегламентиpованных ноpм.

Летyчеcть - это cпоcобноcть некотоpых жидких компонентов ПВВ иcпаpятьcя. К таким компонентам отноcят нитpоглицеpин, динитpоэтиленгликоль, нитpогликоль. Потеpя веcа таких ВВ пpиводит к веcьма заметномy изменению их взpывчатых cвойcтв.

Экcyдация - это пpоцеcc выделения жидкой фазы из твеpдой многокомпонентной cиcтемы. Это явление наблюдаетcя пpи cтаpении динамитов, в pезyльтате котоpого на повеpхноcти заpядов появляютcя капельки чиcтого нитpоглицеpина, пpи этом изменяютcя взpывчатые хаpактеpиcтики, возpаcтает опаcноcть в обpащении c такими ВВ. К наpyшению физичеcкой cтойкоcти ВВ могyт пpиводить pаccлаиваемоcть компонентов cиcтем, pекpиcталлизация компонентов и дp.

Для откpытых pабот допycкаютcя ВВ, y котоpых не pегламентиpyетcя cоcтав пpодyктов взpыва. К ним не пpедъявляют cтpогих тpебований по детонационной cпоcобноcти. К ВВ, пpедназначенным для ведения взpывных pабот пpи подземной добыче полезных иcкопаемых, кpоме шахт, опаcных по пыли и газy, пpедъявляютcя тpебования по минимальномy обpазованию ядовитых газов (CO, CO2, NO, NO2 , SO2) пpи взpыве. Cлежавшиеcя и не поддающиеcя pазмятию pyками поpошкообpазные ВВ, не cодеpжащие гекcогена или жидких нитpоэфиpов, должны измельчатьcя в cоответcтвие c тpебованиями "Единых пpавил безопаcноcти пpи взpывных pаботах", поcле чего могyт иcпользоватьcя только в шахтах (pyдниках), не опаcных по газy или pазpабатывающих плаcты (pyдные тела), не опаcные по взpывам пыли, а также пpи pаботах на земной повеpхноcти. Cлежавшиеcя поpошкообpазные ВВ, cодеpжащие гекcоген или жидкие нитpоэфиpы, должны иcпользоватьcя без pазминания или измельчения только пpи взpывных pаботах на земной повеpхноcти. В yгольных и cланцевых шахтах, опаcных по газy или пыли, пpи заpяжании запpещаетcя pазpезать оболочкy патpонов.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Промышленные взрывчатые вещества в народном хозяйстве
2. Физико-химические характеристики порошковых ВВ

**10. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА**

Предохранительные ВВ предназначены для ведения взрыв­ных работ в шахтах, опасных по газу и пыли. Основными пред­ставителями рассматриваемых ВВ являются, например, предо­хранительные аммониты, которые относятся к взрывчатым ве­ществам III и IV классов.

Предохранительные свойства этих ВВ достигаются благо­даря введению в состав взрывчатых смесей пламегасителей (обычно это хлориды натрия или калия). При введении в со­став ВВ пламегасителей содержание активных компонентов в единице массы ВВ снижается, что уменьшает удельную тепло­ту взрыва.

При взрыве пламегасители с высокой теплоемкостью погло­щают тепло от продуктов взрыва. В результате уменьшения удельной теплоты взрыва и поглощения тепла на нагревание пламегасителей температура взрыва значительно снижается. Это существенно уменьшает опасность воспламенения метано- или пылевоздушной смесей.

Кроме того, пламегасители по отношению к взрывоопасной шахтной атмосфере являются антикатализаторами (ингибито­рами). Они существенно понижают нижний предел температу­ры вспышки и удлиняют задержку вспышки. Содержание пла­мегасителей в предохранительных аммонитах составляет 12 – 20%.

Увеличение содержания пламегасителя в составе предохра­нительных ВВ способствует повышению их предохранительных свойств, однако при этом снижается детонационная способ­ность. Поэтому при большом содержании пламегасителя воз­можны неполные взрывы, выгорание ВВ, что не только резко снижает эффективность взрывов, но и может привести к вос­пламенению метановоздушной смеси.

Улучшение детонационной способности ВВ достигается вве­дением в их состав добавок жидких нитроэфиров, а также при­менением специальных конструкций патронов предохранитель­ных ВВ – патронов с предохранительными оболочками. Серд­цевина этих патронов представляет собой предохранительное ВВ с небольшим содержанием пламегасителя. Основная часть пламегасителя размещается в оболочке. В этом случае обеспе­чиваются высокие предохранительные свойства ВВ и хорошая его детонационная способность.

В классификации промышленных ВВ предо­хранительные ВВ отнесены к III – IV классам. В основе такой классификации лежит опасность подземных взрывов газа или пыли при взрывных работах. Химический состав шахтной ат­мосферы, газоносность пластов, возможность внезапных выбро­сов газа, характер взрывных работ, горно-гёологические осо­бенности выработок и т. п. способствуют возникновению взры­воопасных ситуаций.

Приведем в качестве примеров некоторые предохранитель­ные ВВ III—VII классов.

*Предохранительные ВВ класса III.* Этот класс представлен ам­монитом АП-5ЖВ, который содержит водоустойчивую аммиачную селитру, тротил и хлористый натрий. Мощное предохранитель­ное ВВ ограниченного применения используется в чистопородных забоях угольных шахт, опасных по газу или пыли, при соблюде­нии следующих условий: выполнение мероприятий, исключающих попадание в забой угольной пыли из других выработок или вскры­тых пластов, применение водо-распылительных завес при содержа­нии метана в забое до 1 %. При большем содержании метана ис­пользование аммонита не разрешается, не допускается также применять его в породных забоях на расстоянии до 5 м от уголь­ных пластов.

*Предохранительные ВВ класса IV.* В настоящее время этот класс представлен аммонитом Т-19, который содержит также трой­ную смесь: водоустойчивая аммиачная селитра — тротил — хлори­стый натрий, но в ином соотношении, чем у аммонита АП-5ЖВ, в частности, содержит больше пламегасителя. ВВ средней мощ­ности и предохранительности, обладают высокой детонационной способностью и детонируют при значительном уплотнении (1,65— 1,7 г/см3). Благодаря этому снижается вероятность частичных отказов и выгорания зарядов при короткозамедленном взрывании.

*Предохранительные ВВ класса V.* Этот класс представлен угеленитом Э-6. Это ионообменное ВВ, сенсибилизированное жидкими  
нитроэфирами. В результате обменной реакции между хлористым аммонием и натриевой селитрой при взрыве угленита Э-6 образуется хлористый натрий в ультрадисперсном состоянии. Кроме ионообменной пары угленит Э-6 cодержит в составе небольшое количество хлористого калия в качестве дополнительного пламе­гасителя. Угленит Э-6 характеризуется достаточно высокой детонационной способностью, которая обеспечивается значительным содержа­нием нитроэфиров. Водоустойчивость достигается опудриванием компонентов состава гидрофобной добавкой типа стеаратов и сла­бой желатинизацией нитроэфиров коллоидным хлопком. По водо­устойчивости угленит Э-6 уступает аммониту Т-19, время вы­держки патронов в воде перед испытанием на передачу детонации 30 мин.

Предохранительные ВВ класса V рекомендуются для взрыва­ния угля любой крепости и пород слабых и средней крепости только при наличии двух открытых поверхностей в забое; в мяг­ких и средней крепости углях при одной открытой поверхности.

*К предохранительным ВВ класса VI* относится угленит 12ЦБ, селективно-детонирующее ВВ, сенсибилизированное нитроэфирами. В углените 12ЦБ содержится смесь карбамида и натриевой се­литры, которая при взрыве в замкнутой камере реагирует с обра­зованием углекислого газа, воды и азота. Для усиления предохра­нительных свойств в состав угленита дополнительно вводится небольшое количество хлористого натрия. В качестве желатинизатора применяется натрийкарбоксиметилцеллюлоза.

Предохранительные ВВ класса VI предназначены для взрыв­ных работ в особо опасных условиях угольных шахт. Угленит 12ЦБ применяется для взрывной отбойки угля и породы шпуровым ме­тодом в забоях выработок шахт, опасных по газу всех категорий и опасных по пыли, кроме особо опасных восстающих забоев по углю и особо опасных комбайновых ниш с одной плоскостью об­нажения.

*Предохранительное ВВ класса VII* — ионит, представляет собой типичное ионообменное ВВ, состоящее из смеси: натриевая се­литра, хлористый аммоний и сенсибилизатор. Как и при взрыве угленита Э-6, в результате ионообменной реакции образуется тонкодисперсный хлористый натрий. В качестве желатинизатора при­меняется коллодионный хлопок.

Ионит допущен к взрыванию в виде накладных зарядов: при пропуске угля (породы), застрявших в углеспускных выработках и дроблении негабаритных кусков породы (и горючего сланца), массой не более 600 г; при разрушении деревянных стоек, а также для взрывного способа распыления воды, находящейся в полиэти­леновых сосудах,— массой 150 г (для сосудов вместимостью 20 л) и 300 г (для сосудов вместимостью 40 л).

Предохранительные ВВ классов VI—VII характеризуются до­статочно высокой детонационной способностью, которая обеспе­чивается наличием в составе жидких нитроэфиров. Водоустойчи­вость достигается опудриванием компонентов стеаратами, а также слабой желатинизацией нитроэфиров.

Таблица 10.1

Свойства предохранительных ВВ.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Аммонит АП-5ЖВ | Аммонит T-I9 | Углениты | | Ионит |
| Э-6 | 12ЦБ |
| Кислородный баланс, *%*  Теплота взрыва, кДж/кг  Полная идеальная работа взрыва, кДж/кг  Температура взрыва, °С  Объем газов взрыва, л/кг  Плотность патронов,г/см3  Работоспособность в свинцовой бомбе, см3  Работоспособность на баллистическом маятнике  Бризантность, мм  Скорость детонации, км/с  Критический диаметр, мм  Передача детонации, см:  между патронами  после выдержки в воде, см  Чувствительность:  к удару, %  к трению без песка, МПа  к трению с примесью 5 *%* песка, Мпа | -0,02  3500  3000  2520  787  1-1,15  320-330  0,74  14-17  3,6-4,6  10-12  5-10  2-7  12-32  -  190 | -2,47  3410  2600  2230  724  1,05-1,2  265-280  0,7  15-17  3,6-4,3  10-12  7-12  4-8  12-24  -  190 | +0,5  2680  1950  1790  560  1,1-1,25  130-170  0,58  7-11  1,9-2,2  7-9  5-12  3-10  40-70  230  - | 0  2300  -  -  520  1,1-1,3  95-120  0,8  -  1,9-2,0  -  4-5  2-3  50-60  -  - | +6,47  1930  1440  -  580  1-1,2  95-125  -  5-6  1,6-1,8  -  -  -  24-32  300  - |

Предохранительные ВВ VI—VII классов как нитроэфирсодержащие ВВ характеризуются повышенной чувствительностью к механическим воздействиям, обладают более высокой токсичностью, поэтому требуют более осторожного обращения, чем аммониты. Пригодны для применения в различных климатических районах страны. Хранящиеся в поверхностном складе при температурах ниже минус 20 °С патроны перед применением следует отогре­вать в подземном расходном складе.

Предохранительные ВВ типа аммонитов изготавливают в ша­ровых мельницах с предварительной шаровой обработкой аммонитной массы и последующим смешиванием с пламегасителем (хлористым натрием) определенной дисперсности, обеспечиваю­щим необходимые антигризутные свойства составу

Гранулит НМ применяется для рудных шахт Кривбасса.

На угольных разрезах Республики Казахстан и России широко применяются ВВ обладающие предохранительными свойствами гранулит АС-С и эмульсолит П. Гранулит АС-С содержит АС – 84%, жидкий нефтепродукт – 3%, поваренную соль – 10% и угольный порошок – 3%. Эмульсолит П по внешнему виду пластичное вещество от светло-желтого до темно-коричневого цвета, содержащий 99% эмульсии и 1% газогенерирующей добавки раствора нитрата натрия.

Таблица 10.2.

Свойства ВВ применяемых на пожароопасных участках угольных разрезов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатели | Эмульсолит П | Гранулит АС-С |
| Плотность состава, г/см3 не более | 1,3 | 1,0 |
| Полнота детонации от 6 витков детонирующего шнура ДША, ДШЭ-12 | полная | – |
| Удельная теплота взрыва, кДж | 2710 | 3340 |
| Удельный объем газов, л | 910 | 940 |
| Кислородный баланс, % | -7,1 | 0 |
| Скорость детонации заряда диаметром 120 мм в полиэтиленовой оболочке, км/с | 3,6 – 4,0 | 3,1 – 3,5 |
| Чувствительность к удару, % | 0 | 0 |
| Чувствительность к трению, Мпа не менее | 294 | – |
| Начальная температура терморазложения методом ДТА, ˚С более | 170 – 190 | 170 – 190 |

Нитроэфирсодержащие предохранительные ВВ (углениты Э-6, 12ЦБ, ионит) изготавливают в две фазы. В первой фазе осу­ществляют смешивание сыпучих компонентов (ионообменной пары) и гидрофобизацию их стеаратами. Окончательное смешивание сы­пучих компонентов со слабо желатинированными нитроэфирами осуществляют в механических лопастных смесителях типа Вернер-Пфляйдерер. В табл. 10.1 представлены свойства предохранительных ВВ.

По предохранительным свойствам аммонит АП-5ЖВ не дол­жен воспламенять метано-воздушную смесь в опытном штреке при взрыве в цилиндрической мортире зарядом массой 600 г.

Аммонит Т-19 кроме этого испытания не должен воспламенять угольную пыль при взрыве заряда массой 700 г.

Угленит Э-6 выдерживает испытания при взрыве открытого свободно подвешенного заряда массой 200 г в камере опытного штрека в атмосфере метано**-**воздушнойсмеси и угольной пыли.

Угленит ЦБ не должен воспламенять метан и угольную пыль при взрыве заряда массой 1000 г в цилиндрической мортире без забойки. Кроме того, угленит ЦБ не должен воспламенять метано-воздушную и пылевоздушную смесь при взрыве заряда массой 800 г в уголковой мортире.

Ионит выдерживает испытания при взрыве заряда массой 600 г в уголковой мортире опытного штрека с отражательной стенкой, расположенной на расстоянии 200 м от мортиры.

# 10.1 Применение взрывчатых веществ в шахтах опасных по газу и пыли

*Угольные шахты.* Для атмосферы угольных шахт наиболее характерно присутствие метана и угольной пыли. Природный газ, выделяющийся в угольных шахтах, содержит 80—83 % метана, 1—4 % его более тяжелых гомологов, около 10 % азота, 5 % угле­кислого газа и менее I % других газов.

Различают свободное и связанное состояния газов в горной породе. Связанный газ — это газ, адсорбированный породой. Сво­бодный газ скапливается в пустотах, трещинах и порах породы. Из-за высокой сорбционной способности угольных пластов, обус­ловленнойвысокоразвитой поверхностью, доходящей до 200 м2 на 1 г, около 3/4 газа находится в связанном состоянии, 1 т иско­паемых углей может поглотить до 100 м3 метана.

Метан выделяется в атмосферу угольных шахт из массива, а также из разрыхленного взрывом или механическим способом угля*.* Различают три вида выделения газа из массива: обыкно­венное — из пор и трещин, не видимых глазом, суфлярное — из трещин, видимых глазом, внезапное, когда происходит выброс газа из толщи массива, обычно в течение короткого времени, с одновременным выбросом породы (угля). Давление газа в угольных пластах достигает 5,9 МПа и зависит от глубины за­легания.

Опыты по воспламеняемости метано-воздушных смесей при разном содержании метана в смеси и различной температуре нагрева сосуда приведены в таблице 10.3.

Таким образом, горячие поверхности легче всего вызывают воспламенение метано-воздушных смесей, содержащих 6 – 7% метана. При температуре 1770ºС 9,1%-ная метано-воздушная смесь имеет самую короткую задержку воспламенения (1,9 мс). При нормальных условиях давления и температуры взрывчатыми являются метано-воздушные смеси, содержащие 5 – 14% метана. Подогрев или предварительное сжатие расширяют указанные пределы взрывоопасности метано-воздушной смеси. При наличии в воздухе взвешенной взрывоопасной угольной пыли опасность воспламенения метано-воздушных смесей увеличивается. Теоретически наиболее взрывчатой является смесь, содержащая 9,46% метана и 90,54% воздуха, при которой метан полностью окисляется

Таблица 10.3

Воспламеняемость метано-воздушных смесей при разном содержании метана в смеси с различной температуре нагрева*.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Содержание метана в смеси, % | Задержка воспламенения (с) в зависимости от температуры сосуда, ºС | | | | | | |
| 775 | 825 | 875 | 925 | 975 | 1075 | 1175 |
| 6 | 1,08 | 0,58 | 0,35 | 0,2 | 0,122 | 0,039 | − |
| 7 | 1,15 | 0,6 | 0,36 | 0,21 | 0,13 | 0,041 | 0,01 |
| 8 | 1,23 | 0,62 | 0,37 | 0,22 | 0,138 | 0,042 | 0,012 |
| 9 | 1,3 | 0,65 | 0,39 | 0,23 | 0,141 | 0,044 | 0,015 |
| 10 | 1,4 | 0,68 | 0,41 | 0,24 | 0,148 | 0,049 | 0,018 |
| 12 | 1,64 | 0,74 | 0,44 | 0,25 | 0,16 | 0,055 | 0,02 |

Горение метано-воздушных смесей происходит с выделением тепла за счет реакции окисления метана кислородом воздуха.

В окончательном виде эту реакцию можно выразить следующим уравнением:

СН4 + 2О2 + 8N2 = СО2 + 2Н2О + 8N2 + 198,4 ккал/моль.

Ископаемые угли подразделяют по газоносности, которую оп­ределяет содержание газа (м3) на 1 т или 1 м3 угля. Наиболее газоносны антрациты и коксующиеся угли, наименее газоносны угли с высоким, содержанием летучих.

Газообильность зависит от количества газа, выделяющегося в атмосферу в единицу времени. Обычно газообильность выра­жают в относительных единицах—количеством выделяемого в сутки газа, отнесенного к 1 т суточной добычи угля. По газообильности угольные шахты классифицируют на следующие кате­гории: I категория — относительная газообильность не более 5 м3/т; II категория — от 5 до 10 м3/т; III категория — от 10 до 15 м3/т; сверхкатегорные шахты, относительная газообильность которых более 15 м3/т, а также шахты, разрабатывающие пласты, опасные по выбросам угля и газа и по суфлярным выделениям.

Угольная пыль особенно интенсивно образуется при работе машин и механизмов в процессе обуривания забоев н механизи­рованной отбойке угля, при взрывных работах, при транспорти­ровании отбитого угля. Пыль оседает и скапливается в больших количествах на стенках и почве выработок.

Исследованиями установлено, что каменноугольная пыль прак­тически невзрывчата при содержании летучих веществ в угле менее 10%, взрывается слабо при содержании летучих от 10 до 15%, при содержании летучих более 15% взрывчатость каменноугольной пы­ли быстро растет. Во взрыве принимают участие пылинки разме­рами от 0,1 до 1 мм. Однако наиболее взрывчатыми считаются фракции пыли размером 75—100 мкм (пыль, проходящая через сито № 80).

Угольная пыль может взрываться только в том случае, когда ее концентрация в воздухе находится в определенных пределах. Нижний предел взрывчатости взвешенной в воздухе угольной пыли пластов, содержащих более 30% летучих, находится в пределах 12—20 г/м3 в зависимости от зольности угля, а при наличии в воз­духе 0,5—1,5% метана этот предел снижается в 2—3 раза. Наи­более разрушающим действием обладает взрыв пылевоздушной смеси, содержащей 300—600 г пыли в 1 м3 воздуха. Температура вспышки пылевоздушной смеси находится в преде­лах 750—900 °С. Воспламенению пылевоздушных смесей, так же как и воспламенению метано-воздушных смесей, предшествует за­держка воспламенения. Продолжительность этой задержки несколько меньше, чем у метано-воздушной смеси, так как при нагревании угольной пыли выделяются летучие, легковоспламеняю­щиеся газы. Воспламенение и взрыв взвешенной в воздухе уголь­ной пыли происходит по механизму, аналогичному взрыву газовоз­душной смеси. Так, если смесь угольной пыли с воздухом воспламе­нилась в результате взрыва ВВ или метано-воздушной смеси, то из части угольной пыли, охваченной пламенем, выделяются горючие газы (водород, метан) и небольшие количества других горючих га­зов, которые, смешиваясь с кислородом воздуха, образуют взрывча­тую газо-пылевоздушную смесь. Эта смесь взрывается и своим пламенем охватывает соседние частицы угольной пыли, из которых снова выделяются горючие газы, и т. д. При этом тонкая угольная пыль более взрывоопасна, чем крупная, так как она легче перехо­дит во взвешенное состояние. Кроме того, ее удельная поверхность гораздо больше, следовательно, все реакции при взрыве тонкой пыли протекают быстрее и полнее.

Взрывчатость угольной пыли зависит от содержания в ней золы. Зола, т. е. инертная пыль, при взрыве поглощает значительное ко­личество тепла и тем самым снижает температуру пламени взры­ва. Влажность пыли также оказывает влияние на ее взрывчатость, так как она затрудняет образование пылевого облака и поглоща­ет значительную часть тепла.

*Калийные рудники.* В их шахтной атмосфере содержатся во-дород и метан, являющиеся составной частью природного газа. Соотношение между водородом и метаном в природном газе колеблется от 3:1 до 8:1. Например, газ, выделяющийся из карналлитовых пластов Соликамского месторождения, содержит

20-45 % водорода, 15 % метана н 40—65 % азота. Предпола­гают, что метан образовался в результате разложения расти­тельных и животных остатков, занесенных в высыхавший водоем при образовании солей. Образование водорода связывают с про­цессами разложения воды под воздействием радиоактивных солей, кристаллизовавшихся одновременно с соляными минералами. Наиболее интенсивно газовыделение, при взрывных работах. Объем горючих газов достигает 70 м3 (в пересчете на метан), а относи-тельная газообильность — 2 м3 на 1 м3 горной массы, отбитой за одно взрывание.

*Серные и колчеданные рудники.* Серные шахты относятся к наиболее опасным по возникновению взрывов пыли, загоранию серы в пласте и подземным пожарам. Это объясняется особенно высокой взрывоопасностью серных аэрозолей, усугубляемой со­держащимися в атмосфере рудников горючими и легко воспла­меняемыми сероводородом, метаном, этаном, мышьяковистым во­дородом, органическими соединениями селена, фосфора, мышьяка, окиси углерода и др.

Рудники, разрабатывающие колчеданы и другие сульфидные руды, менее опасны но подземным взрывам пыли и пожарам, чем серные шахты, ввиду меньшей взрывчатости сульфидных аэро­золей. Их газовая атмосфера в качественном отношении близка к атмосфере серных шахт.

*Нефтяные* и *озокеритовые шахты.* Во многих странах нефть добывают шахтным способом. Атмосфера нефтяных, а также озо-керитовых шахт содержит метан и другие предельные и непре­дельные углеводороды в виде газов и паров. В меньших количе­ствах встречаются водород, сероводород, углекислый газ. Горю­чие газы и пары выделяются как из пород, так и при испарении легких фракций нефти (бензинов и др.), стекающих на Почву выработок с вышележащих горизонтов. Особую опасность пред­ставляют пары бензина.

Концентрационные пределы взрывчатости некоторых горючих газов и жидкостей (паров) приведены в таблице 10.4.

Таблица 10.4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Газ, пары жидкого горючего | Концентрационные пределы взрывчатости в смеси с воздухом, % | | Газ, пары жидкого горючего | Концентрационные пределы взрывчатости в смеси с воздухом, % | |
| Нижний предел | Верхний предел | Нижний предел | Верхний предел |
| Метан | 5 | 15 | Бензол | 1,41 | 6,75 |
| Этан | 3,22 | 12,45 | Толуол | 1,27 | 6,75 |
| Пропан | 2,37 | 7,35 | Этиловый спирт | 3,28 | 18,95 |
| Бутан | 1,86 | 8,41 | Ацетилен | 2,5 | 80 |
| Пентан | 1,4 | 6 | Водород | 4 | 74,2 |
| Гексан | 1,25 | 6,9 | Аммиак | 15,5 | 27 |
| Гептан | 1 | 6 | Сероводород | 4,3 | 45,5 |
| Бензины | 0,3-1,3 | 7 | Окись углерода | 15,5 | 74,2 |

**10.2 Пламегасители в составе предохранительных взрывчатых веществ**

В состав предохранительных ВВ входят минеральные добавки, обычно это соли щелочных металлов, которые, с одной стороны, играют роль инертной примеси, снижающей температуру пламени при взрыве, а с другой – роль ингибиторов реакций воспламенения метано-воздушной смеси.

Выбор пламегасителя определяется его ингибирующей способ­ностью, совместимостью с другими компонентами ВВ, влиянием на взрывчатые и физико-химические свойства ВВ, токсичностью са­мого пламегасителя или продуктов его разложения, а также до­ступностью и товарной стоимостью. Так, например, фтористые соли, хотя и характеризуются высокой ингибирующей способностью, из-за токсичности применяют в предохранительных ВВ с большой осторожностью. Высокоактивные соли лития не применяют из-за высокой стоимости. Наиболее широкое применение получили хло­риды натрия и калия благодаря их дешевизне, доступности и в то же время достаточно высокой ингибирующей способности.

Ингибирующее действие солей-пламегасителей в значительной степени зависит от удельной поверхности частиц, образующих взвесь в продуктах детонации, и, следовательно, от их размеров. Суммарная поверхность частиц приближенно рассчитывается по формуле

,

где n— число частиц соли, диспергированных в среде; *s'* — по­верхность частицы; G — масса соли в заряде ВВ; *d* — усреднен­ный диаметр частицы; р0 — плотность соли; *k* — коэффициент дроб­ления соли при взрыве.

По экспериментальным данным, при взрыве предохранительных ВВ происходит дробление пламегасителя. Степень дробления за­висит от дефектов поверхности исходных кристаллов и не требует больших -нагрузок. При начальном размере частиц соли 0,1—*2* мм наибольшее число частиц после взрыва имело средний размер около 8 мкм. Вместе с тем введение в состав предохранительных ВВ тонкодисперсного пламегасителя имеет отрицательные сто­роны: усиливается слеживаемость аммонитной массы, сни­жается детонационная способность ВВ. Поэтому в составы, содержащие тонкодисперсный пламегаситель, обычно вводят сен­сибилизаторы в количестве 5 — 15%, чаше всего нитроглицерин или смеси его с нитрогликолями, реже — твердые сенсибилизаторы типа гексогена или тэна (рис. 10.1).



Рисунок 10.1.-Зависимостькритического диа­метра заряда предохранительных ВВ (dкр) с 20 % пламегасителя при плотности 1,6— 1,7 г/см3 от количества сенсибилизатора *(n):*

*1 —* тротил; *2 —* смесь нитроэфиров 60/40; *3* — гексоген; *4 —* нитроглицерин

На рис. 10.2 показана зависи­мость предохранительных свойств аммиачно-селитренной смеси (79% аммиачной селитры и 21 % тротила) от дисперсности пламегасителя, а на рис. 10.3 — зависимость работоспособности от дисперсности соли.

С уменьшением размеров частиц пламегасителя хлористого натрия несколько снижается работоспособность ВВ. При умень­шении размеров частиц па порядок работоспособность снижается на 13 % (см. рис. 10.2).



Рисунок 10.2-Зависимость вероятности воспла­менения метано-воздушнойсмеси ("омега") от размера частиц пламегасителя (s) при его содержании 35 (кривая 1) и 40 % (кри­вая *2)*



Рисунок 10.3 -Зависимость работоспособности предохранительных ВВ (Ф) от размера ча­стиц пламегасителя (s) при его содержа­нии 35 (кривая 1) и 40 % (кривая *2)*

Многие исследователи пытались получать взвесь ультра дисперсного пламегасителя введением в состав ВВ органических или минеральных соединений металлов, которые бы разлагались при взрыве с образованием солей или окислов металлов. В качестве таковых были предложены пикрат калия (ВВ), перхлорат калия или натрия (окислитель) и т. п. Однако опробованные соли не были применены, так как помимо ингибирования пламегаситель должен снижать температуру продуктов детонации. Ультратонкое распыление пламегасителя достигается при взрыве селективно-де­тонирующих ВВ, содержащих так называемую ионообменную или обратную пару солеи (хлористый аммоний и натриевую или калиевую селитру). Продуктом их взаимодействия при взрыве является ультра дисперсный хлористый натрий или калий.

## **10.3 Детонация предохранительных взрывчатых веществ**

Сильное влияние на свойства селективно-детонирующих пре­дохранительных ВВ оказывает гранулометрический состав. Для составов, содержащих одно и то же количество сенсибилизатора и ионообменную пару солей (53 % нитрата натрия и 35 % хлори­стого аммония), но отличающихся по размеру частиц компонен­тов, была определена величина отклонения баллистического ма­ятника, характеризующая работоспособность ВВ.

Величина заряда во всех случаях составила 100 г, диаметр 36 мм, расстояние до носка маятника 40 мм, масса маятника 160 кг.

Все композиции, в которых применялись не слишком тонкие порошки ионообменной пары, дали отклонения маятника, в 2 − 3 раза превышающее отклонение при взрыве состава с хлори­стым натрием, принятого за эталонное ВВ. Это свидетельствует о различной степени полноты реакции ионообменной пары или, что то же самое, о селективности. Реакция замедляется лишь при очень тонкой дисперсности порошков (менее 100 мкм).

Высокая и стабильная детонационная способность является важнейшим требованием к предохранительным ВВ, особенно в связи с широким применением короткозамедленного взрывания и возросшей в этой связи опасностью выгорания предохранитель­ных ВВ из-за не одновременности взрыва зарядов и их уплотнения в шпурах волнами сжатия.

Наиболее эффективным способом повышения детонационной способности предохранительных ВВ является введение в состав сенсибилизаторов. В течение почти всей истории существования предохранительных ВВ в большинстве случаев в качестве сенси­билизатора использовали нитроглицерин, нитрогликоли или их смеси. Последние содержатся в отечественных предохранительных ВВ типа угленитов.

Известно, что нитроэфирсодержащие ВВ и в уплотненном со­стоянии характеризуются высокой детонационной способностью. Критический диаметр этих ВВ составляет 5 − 10 мм, в уплотнен­ном состоянии (давление 50 МПа) − 15 − 17 мм. Уплотняемость нитроэфирсодержащих ВВ ниже, чем аммонитов. Плотность этих ВВ быстро достигает максимального значения, но в дальнейшем с повышением давления мало увеличивается.

Относительная плотность при этом не превышает 0,94, в то время как аммонит уплотняется до относительной плотности 0,965.

Стабилизирующее действие на нитроэфирсодержащие ВВ оказывают разрыхлители (древесная мука и др.). Оптимальным можно считать содержание разрыхлителя 4 %.

Для повышения детонационной способности предохранитель­ных аммонитов, не содержащих нитроглицерина, применяется бо­лее интенсивное измельчение аммонитной массы, увеличение содержания тротила (аммонит Т - 19). По детонационной способно­сти, определяемой испытаниями ВВ в углецементных блоках, наи­меньшее приведенное расстояние, при котором сохраняется устой­чивая детонация ВВ в уплотненном состоянии, у аммонита Т - 19 с 19% тротила R < 7,5, а у аммонита Т = 19 с 16% тротила R = 9,0. Чем меньше величина R, тем выше устойчивость детонации.

Радикальным решением проблемы ликвидации выгорания пре­дохранительных ВВ является применение устойчиво детонирую­щих ВВ в виде сплошных зарядов (монозарядов). Применение монозарядов исключает возможность образования разрывов и пе­ремычек между патронами, благодаря чему снижается вероятность прерывания детонации.

Одним из способов повышения детонационной способности пре­дохранительных ВВ является увеличение диаметра патронов, на­пример с 32 до 36 мм.

Для повышения эффективности взрывных работ при исполь­зовании маломощных высокопредохранительных ВВ необходимо увеличивать диаметр шпуровых зарядов. Опытные взрывания в угольных шахтах показали, что при использовании предохра­нительных ВВ VI класса в патронах диаметром 43 мм удалось получить такую же эффективность взрывных работ, как при взры­вании более мощного ВВ V класса — угленита Э-6. Еще большая эффективность обеспечивается при механизированном заряжании шпуров на полное сечение. При правильно выбранной технике и хорошей организации работ достигаются рекордные темпы прове­дения подготовительных выработок (более 1000 м/мес) по поро­дам, разрушение которых комбайнами пока невозможно.

## **10.4 Предохранительные взрывчатые вещества и их горючесть**

Общеизвестно что переход детонации предохранительных ВВ в горение весьма нежелательное явление, т.к. может повлечь за собой воспламенение или даже взрыв метано-воздушной смеси. Одной из причин, приводящих к выгоранию предохранительных ВВ, может быть уплотнение ВВ в шпуре как в ходе подготовительных работ, так и в момент прохождения детонации в следствии канального эффекта. Механизм сжатия порошкообразного ВВ в этом случае подробно описан К.К. Андреевым. Распространение детонации с малыми скоростями приводит к переходу ее в горение.

Для предотвращения выгорания предохранительных ВВ необ­ходимо, чтобы наряду с высокой детонационной способностью при возможных уплотнениях предохранительное ВВ характеризова­лось также пониженной горючестью.

Большинство аммиачно-селитренных взрывчатых смесей харак­теризуется сравнительно невысокой горючестью. Хлористый нат­рий, калий и аммоний при содержании их в составе предохрани­тельного ВВ до 10% повышают горючесть ВВ (рис. 10.4). Вве­дение в эти смеси нитроглицерина также повышает горючесть ВВ (рис. 10.5). При добавлении древесной муки критическое давле­ние поджигания вначале увеличивается, горючесть падает, дости­гает максимума при содержании древесной муки около 1 %, а за­тем снижается до атмосферного давления при содержании древес­ной муки около 5 %.

Существенно, в 2—2,5 раза, снижают горючесть предохрани­тельных ВВ добавки небольших количеств фторида аммония или натрия (около 3 %). Горючесть аммонитов также снижается в при­сутствии диаммонийфосфата в сочетании с фторидами. Для сни­жения горючести были исследованы и другие соли фосфорнойкислоты, а также оксалат аммония, гидрат окиси кальция, формиаты кальция и калия и т. п.



Рисунок 10.4.-Зависимость критического давления (ркр) поджигания аммонита 6ЖВ от содержания пламегасителя (П):

1 — хлористого натрия; 2 — хлористого калия; *3 —* хлористого аммония



Рисунок 10.5 -Зависимость критиче­ского давления поджигания *(р„Р)* для аммонита от содержания в нем нитроглицерина *(n)*

В табл. 10.5 приведены данные о влия­нии различных антипиренов на горючесть аммиачно-селитренных взрывчатых смесей. Лучшие результаты получены на образцах с добавкой формиатов. Низкой-горючестью характеризуются пре­дохранительные ВВ, в которых содержатся кальциевая селитра, а также образцы водосодержащих ВВ.

Другие эксплуатационные качества, такие как стабильность физико-химических свойств, водоустойчивость и другие, обеспечи­ваются известными, общими для промышленных ВВ, методами. Для обеспечения водоустойчивости предохранительных ВВ, со­держащих жидкие нитроэфиры, кроме гидрофобизациисостава необходима также слабая желатинизация нитроэфиров коллодионным хлопком (0,2%) для снижения подвижности (повышение вязкости) жидкого компонента.

Таблица 10.5.

Влия­ние различных антипиренов на горючесть аммиачно-селитренных взрывчатых смесей.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование антипирена | Содержание антипирена в аммоните, % | ркр, МПа | |
| Аммонит 6ЖВ | Аммонит 6ЖВ с18 % NaCl |
| Оксалат аммония  То же  »  Гидрат окиси кальция  То же  Формиат кальция  То же  »  »  Фосфорнокислый калий  Фосфорнокислый аммоний  Фосфорнокислый кальций  Асбест  То же | -  5  10  40  4  6  4  5  6  10  10  10  10  2  6 | 1,8  3,2  4,6  10  2  3,9  2,6  -  1,8  -  1,5  1,8  1,5  1,4  0,4 | 1,3  -  1,7  -  -  2,0  -  3,0  2,7  3,4  1,8  1,8  1,3  -  - |

Еще более высокую водоустойчи­вость предохранительных ВВ с жидкими нитроэфирами можно получить, если наряду с гидрофобизацией состава вводить в ВВ набухающие в воде добавки. В этом случае при контакте с во­дой на периферии патрона образуется гелеобразный слой, кото­рый препятствует прониканию воды в глубь патрона.

**10.5 Физико-химические изменения свойств взрывчатых веществ со временем**

Физическую стабильность ВВ определяют следующие ха­рактеристики: увлажняемость, слеживаемость, уплотняемость, рас­слаивание, летучесть.

*Увлажняемость* – способность гидрофильных материалов по­глощать влагу из окружающей атмосферы (гигроскопичность). Гигроскопичность определяется величиной гигроскопической точки, т. е. отношением упругости водяных паров над насыщенным рас­твором данного вещества к упругости водяных паров, насыщаю­щих воздух при той же температуре. Гигроскопическая точка вы­ражается в процентах относительной влажности и характеризует такое состояние вещества, при котором оно не подсыхает и не увлажняется. Чем выше гигроскопическая точка вещества, тем оно менее гигроскопично. Из солей, применяемых в производстве промышленных ВВ, к сильно гигроскопичным относятся кальцие­вая селитра (гигроскопическая точка при 25 °С 44%) и аммиач­ная селитра (62,7%); к умеренно гигроскопичным – натриевая селитра (74,5%), хлористый натрий (75,5%), хлористый аммо­ний (78,5%), к малогигроскопичным — калиевая селитра (92%). хлористый калий (83,4%). Они обусловливают в основном гигро­скопичность самого смесевого ВВ. Гигроскопическая точка боль­шинства ВВ на основе аммиачной селитры при температуре 15 – 20 °С составляет 60 – 68%. Поэтому в большинстве климатических районов СНГ они способны при отсутствии влагоза­щитной упаковки увлажняться. Увлажнение нарушает физиче­скую стабильность ВВ: способствует слеживанию, снижает сыпучесть, водоустойчивость и ухудшает детонационную способность. Различные способы покрытия кристаллов аммиачной селитры влагонепроницаемой пленкой пли изменения кристаллической ре­шетки не дали положительных результатов в отношении снижения увлажняемости. Поэтому основной мерой предотвращения увлажнения ВВ па основе аммиачной селитры является внеш­няя защита зарядов различными влагонепроницаемыми ма­териалами.

*Слеживаемость* – способность некоторых порошкообразных ве­ществ терять при хранении сыпучесть и превращаться в плотную сплошную массу. Иногда это явление называют также «спека­нием». Однако большей частью под спеканием понимают потерю сыпучести, вызванную нагревом.

Слежавшиеся ВВ неудобны в обращении: невозможно раздав­ливание патронов в шпурах, повышается опасность и затрудня­ется введение детонатора в патрон-боевик, перед заряжанием скважин россыпью приходится дробить слежавшиеся аммониты, затрудняется механизация заряжания и т. и. Кроме того, сле­жавшиеся аммониты характеризуются пониженной детонацион­ной способностью.

Одной из причин слеживаемости является рекристаллизация водорастворимых компонентов. При увлажнении ВВ некоторая часть солей (нитраты аммония, хлористого натрия или др.) пе­реходит в раствор. Затем при подсыхании или понижении тем­пературы из насыщенного раствора выделяются новые кристаллы, которые цементируют массу в прочный конгломерат. Этому про­цессу способствуют капиллярные силы, которые сближают ув­лажненные частицы. Поэтому при слеживаемости, помимо потери сыпучести, часто порошок самоуплотняется, т. е. происходит объ­емная усадка. Описанный процесс имеет место при умеренном увлажнении гидрофильных материалов. При большом содержа­нии влаги уменьшение растворимости при понижении температуры может оказаться недостаточным для цементации массы образо­ванием новых кристаллов из раствора.

Слеживаемость по описанному механизму усиливается при внешнем давлении, например, при штабелировании материала, упакованного в мягкую тару (бумажные, пластикатные мешки), или при внутренних напряжениях, вызванных в результате поли­морфных превращений аммиачной селитры с увеличением объема ВВ. В этом отношении особенно опасен нагрев аммиачной се­литры выше температуры +32 °С, при которой она из β-формы переходит в γ-форму с увеличением объема на 2,5%. Некоторые исследователи обнаруживали слеживаемость в результате поли­морфных превращений при температуре +32 °С только влажной селитры; при отсутствии влаги слеживаемости при нагреве не происходило.

При прочих равных условиях слежнваемость аммиачно-селитренных смесей возрастает с увеличением степени измельчения.

Обволакивающие, нерастворимые в воде масла, парафин, ке­росин и другие примеси снижают слеживаемость гигроскопичного ВВ, покрывая его частицы негигроскопичной пленкой. Вследст­вие этого понижается скорость поглощения влаги этим ВВ. Кроме этого, пленка гидрофобного вещества изолирует частицы веще­ства друг от друга и образующиеся новые кристаллы менее прочно связывают массу вещества.

В теории кристаллизации известен принцип изменения ак­тивными примесями размеров и формы кристаллов, например, добавками поверхностно-активных веществ (0,01 – 0,1%), в том числе красителей. Соответственно эти добавки могут влиять и на процесс слеживаемости.

Экспериментально доказано, что краситель действует, изменяя форму кристаллов, в результате чего они становятся механически непрочными и слеживаемость снижается. Общим для структурной характеристики красителей, эффективно изменяющих раз­меры кристаллов, является присутствие в них сульфогрупп и катионной группы вида NH2 или ОН. Наиболее эффективно сни­жают слеживаемость аммиачной селитры фуксин кислотный из класса трифенилметановых красителей и кислотный красный ама­рант из класса азокрасителей.

Наибольшую слеживаемость имеют вещества со средними зна­чениями гигроскопической точки 50 – 70%, способные периоди­чески увлажняться и подсыхать с изменением влажности воздуха. Именно такими являются основной компонент промышленных ВВ – аммиачная селитра, а также входящие в состав предохра­нительных ВВ хлориды натрия пли калия.

При укупорке гигроскопичного вещества в негерметичную тару благодаря чередующемуся увлажнению и подсыханию вещества, а также циклическим нагревам и охлаждению при хранении возможно переменное слеживание и разрыхление веще­ства. Однако слеживание может быть и необратимым, если процесс прошел слишком глубоко и возникли очень сильные связи между частицами. Часто необратимое слеживание наблюдается при упаковке недостаточно высушенного и охлажденного аммо­нита. По этой причине в технологических процессах производства строго регламентируются влажность и температура аммонитов и Других ВВ на основе аммиачной селитры. При хранении этих ВВ следует избегать условий, когда возможен сильный нагрев веще­ства, например, под воздействием солнечных лучей.

На слеживаемость могут влиять размеры и форма частиц ВВ. С увеличением размеров уменьшается удельная поверхность порошка, а следовательно, и число возможных узлов сцепления. По этой же причине порошок, состоящий из частиц сферической формы, меньше слеживается, чем порошки, содержащие частицы с плоскими поверхностями. На слеживаемость влияет также ха­рактер поверхности частиц. Гладкая поверхность создает меньше возможности для слеживаемости, чем шероховатая. Способы ус­транения или ослабления слеживаемости промышленных ВВ сво­дятся к следующему:

1) минимальное содержание влаги и охлаждение аммонитной массы перед патронированием и укупоркой (до температуры ниже 32 °С), надежная влагоизоляция готовой продукции герметичной пластикатной пленкой (пакетами, мешками), влагонепроницае­мыми мастиками и др.;

2) хранение в условиях, исключающих внешние сдавливающие нагрузки и резкие колебания температуры с переходом через тем­пературу + 32 °С, отвечающую полиморфизму превращения ам­миачной селитры;

3) введение в селитру или в состав ВВ добавок, снижающих слеживаемость: пористых веществ, характеризующихся хорошей сорбционной влагоемкостью, например, силикагеля, древесной, торфяной муки и др.; гидрофобных веществ, изолирующих час­тицы гидрофильных веществ в составе; добавок, уменьшающих толщину и механическую прочность межкристаллических связую­щих мостиков, например фуксина, амаранта и других красите­лей; поверхностно активных добавок (0,03 – 0,05 %);

4) укрупнение частиц ВВ пли отдельных его компонентов зер­нением, гранулированием или другими технологическими спосо­бами.

Практикуют и такие способы снижения слеживаемости, как смещение полиформных превращений аммиачной селитры в область более высоких температур. Это достигается, в частности, введением в кристаллы аммиачной селитры хлористого калия и. калиевой селитры.

Слеживаемость определяется по сопротивлению раздавливанию шашек на лабораторном прессе. Наиболее точной считается ме­тодика определения степени слеживаемости в шаровой мельнице. Ее определяют по количеству остатка на соответствующем сите после дробления слежавшегося вещества в мельнице при задан­ном режиме ее работы.

О сравнительной эффективности рекомендованных средств про­тив слеживаемости можно судить по приведенным ниже показа­телям испытаний ряда аммонитов, содержащих различные до­бавки, по методу Пестова. В качестве эталона принята простей­шая бинарная смесь селитры с тротилом с нулевым кислородным балансом. Аммонит 6ЖВ содержит добавку солей жирных кис­лот. Как видно из приведенных данных, в наибольшей мере сле­живаемости препятствуют разрыхляющие добавки (табл. 10.6).

*Уплотняемость* — важное эксплуатационное качество сыпучих ВВ. Способность промышленных ВВ уплотняться при внешних нагрузках может иметь двоякое практическое значение – как по­ложительное, так и отрицательное. Для гранулированных ВВ, за­ряжаемых с помощью пневмозарядчиков, это свойство способст­вует повышению плотности заряжания.

Уплотняемость возрастает при наличии жидкой фазы в ВВ. Так, гранулиты и игданит насыпной плотности 0,85 – 0,9 г/см3, содержащие жидкие нефтяные масла, при пневмозаряжании в шпу­рах и скважинах уплотняются до 1,2 г/см3. Аналогичное дейст­вие оказывает увлажнение перед пневмозаряжанием граммонита 79/21, не содержащего жидких нефтепродуктов.

##### Таблица 10.6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Аммонит | Без добавок | С амарантом | С жирными кислотами | С фуксином | С древесной мукой (3 %) |
| Давление раздавли­вания (МПа) при влажности, %:  0,1  0,1—0,5 | 0,23  0,37 | 0,08  0,23 | 0,06  0,14 | 0,04  0,12 | 0,03  0,08 |
| Аммонит | С древесной мукой и жирными кислотами | С древесной мукой (8 %) | С асфальтитом и парафином (1,5 %) | С алюминием (пуд рой) | П.ЖВ-20 |
| Давление раздавливания (МПа) при влажности, %:  0,1  0,1—0,5 | 0,02  0,065 | (не слеживается)  0,045 | 0,18  0,38 | 0,04  0,16 | 0,009  0,13 |

Для патронированных порошкообразных ВВ, особенно предо­хранительных, уплотнение может привести к потере или сниже­нию детонационной способности и, как следствие, к выгоранию зарядов. Причем само уплотнение может быть вызвано воздействием ударных воздушных волн при неодновре­менном групповом взрывании. По этой причине стремятся сни­зить уплотняемость предохранительных ВВ.

Результаты прессования увлажненных образцов при удель­ном давлении 3 МПа приведены в табл. 10.7.

###### Таблица 10.7.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Продолжительность увлажнения, ч | Аммиачная селитра кристалличе-ская | | Аммиачная селитра кристаллическая марки ЖВК | | Аммонит ПЖВ – 20 | | Аммонит с добавкой древесной муки (4%) | | Аммонит с мипорой (2%) | |
| ω, % | ρ, г/мл | ω, % | ρ, г/мл | ω, % | ρ, г/мл | ω, % | ρ, г/мл | ω, % | ρ, г/мл |
| 0 | 0,04 | 1,44 | 0,038 | 1,47 | 0,5 | 1,5 | 0,15 | Не уплотняется | 0,11 | Не уплотняется |
| 6 | 0,15 | 1,5 | 0,09 | 1,42 | 0,25 | 1,45 | 0,27 | 1,0 | 0,34 | То же |
| 24 | 0,45 | 1,52 | 0,53 | 1,41 | 1,08 | 1,73 | 0,54 | 1,25 | 1,23 | » |
| 48 | 0,64 | 1,49 | 0,94 | 1,42 | 1,18 | 1,59 | 0,6 | 1,0 | 1,45 | » |
| 72 | 0,97 | 1,65 | 1,44 | 1,43 | 1,9 | 1,65 | 0,92 | 1,31 | 2,10 | » |

Примечание. ω – влажность, ρ - плотность

Из сравниваемых образцов селитр несколько меньшей уплотняемостью характеризуется водоустойчивая аммиачная селитра марки ЖВК. Аммонит, содержащий упругую волокнистую добавку — древесную муку, в меньшей степени уплотняется сравнительно с аммонитом ПЖВ-20, в состав которого входят две гигроскопичные соли (аммиачная селитра и хлористый натрий).

Практически не уплотняются в условиях опыта аммиачно-селитренные ВВ, содержащие упругую высокопористую добавку — мипору.

*Расслаивание* — самопроизвольное или под влиянием внешних сил разделение ВВ на составные части пли отдельные компо­ненты. Расслаивание характерно для смесевых сыпучих ВВ, ком­поненты которых существенно различаются по плотности, форме и размерам частиц, агрегатному состоянию. Так, у игданита на­блюдается стекание в нижние слои ВВ дизельного топлива. У водосодержащих ВВ при большом содержании жидкой фазы и не­достаточном ее загущении происходит постоянное оседание и скап­ливание в нижних слоях твердых компонентов.

Промышленные ВВ, изготовленные в заводских условиях, при соблюдении Нормальных условий транспортирования и приме­нения расслаиваются незначительно.

Введение в гранулированную селитру некоторых поверхностно-активных веществ способствует снижению или предотвращению расслаивания компонентов; при этом увеличивается впитывающая способность жидкого компонента (дизельного топлива, масла и т. п.) селитрой. Повышенной впитывающей способностью по от­ношению к дизельному топливу характеризуется водоустойчивая селитра марки ЖВК, содержащая соли жирных кислот.

Впитывающая (удерживающая) способность гранул селитры зависит от их пористости и влажности. Ниже приведены данные о впитывающей способности гранулированной селитры марки Б (числитель дроби) и гранулированной пористой селитры марки П с пористостью 0,45 см2/г (знаменатель дроби) относительно со­лярового масла.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Влажность селитры, % | 0,3/0,13 | 0,73/0,4 | 1,08/1,0 | 1,66/1,4 |
| Поглощение масла селитрой, % | 8,21/15,8 | 9,55/15,46 | 7,18/14,1 | 4,68/12.08 |

В смесях игданитов, изготовленных на малопористой селитре с гладкой поверхностью гранул и на низковязком горючем, например дизельном топливе, наблюдается стекание горючего в нижние слои заряда.

Расслаивание водосодержащих ВВ находится в обратной за­висимости от их вязкости. Для предотвращения расслаивания вод­ный компонент загущают так называемыми гелеобразующими агентами, набухающими в воде (полиакриламид, натрийкарбоксиметилцеллюлоза, некоторые полисахариды растительного происхождения, например, гуаргам и др.). Кроме того, в водосодержащих ВВ применяют структурирующие или так называемые «сшивающие» агенты, в числе которых наиболее распространены бура, бихроматы и др.

Одной из форм расслаивания является экссудация жидкой фазы вследствие миграции ее к поверхности заряда за счет ка­пиллярных сил. Экссудация обычно наблюдается у патрониро­ванных ВВ, содержащих свободные или загущенные полимерами жидкие компоненты. Деструкция гелей (водных для водосодер­жащих ВВ и нитроглицериновых для нитроэфирсодержащих ВВ) приводит к появлению жидкой фазы, которая может мигрировать к поверхности патронов. Особенно опасна экссудация для пла­стичных динамитов, так как появление жидких нитроэфира или нитрогликоля на бумажной обертке патронов повышает опасность в обращении. Поэтому при разработке составов необходимо пре­дусматривать предотвращение экссудации жидких нитроэфиров.

Для предотвращения экссудации жидкие нитроэфиры желатинируют нитроцеллюлозой или вводят специальные добавки-поглотители.

Экссудацию определяют визуально по жирной полосе выпотевшего нитроэфира при разворачивании патронной бумаги, а также ее можно определить количественно. Обычно ее выражают относительно содержания нитроэфиров в составе ВВ.

*Летучесть* — способность некоторых компонентов ВВ частично или полностью улетучиваться (испаряться, сублимировать) в процессе хранения или применения. Чем выше упругость паров и температура испаряемого компонента, тем выше летучесть ВВ. Частично улетучиваются нитроэфиры из нитроэфирсодержащих промышленных ВВ, с чем связано их токсичное действие, а также вода из водосодержащих ВВ и дизельное топливо из игданита.

При +40 °С нитроглицерин заметно испаряется. Упругость пара нитроглицерина, по данным Г. Каста, возрастает при повышенной температуре с 0,027 Па при 20 °С до 0,32 Па при 40 °С и 2,67 Па при 60 °С. Летучесть нитрогликоля при температуре +35 ÷ +38 °С в 13 раз выше, чем нитроглицерина. Из порошкообразного ВВ с содержанием 5 % жидкого нитрогликоля в парафинированных патронах при комнатной температуре испаряется за 12 дней 2%, за 2 мес. 12%, за 6 мес. 50% нитрогликоля. Такая потеря массы нитроэфиров при хранении может отразиться на взрывчатых свойствах ВВ.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Взрыв­ные работы в шахтах, опасных по газу и пыли
2. Классы и свойства предохранительных ВВ
3. Свойства пламегасителей в составе предохранительных взрывчатых веществ
4. Детонация предохранительных взрывчатых веществ
5. Условия горючести предохранительных ВВ
6. Физическую стабильность и изменение свойств ВВ со временем

**11. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

**11.1. Влияние взрывчатых веществ на окружающую среду при их применении**

Действие взрыва, как правило, связанное с детонацией ВВ, распространяется далеко за пределы зоны, в которой выполняется полезная работа. Сейсмические волны от взрывов сохраняют значительную, иногда разрушительную силу. Под сейсмическими волнами понимают распространяющиеся от взрыва колебания массива и грунта горных пород.

Воздействию сейсмических волн подвергаются массив породы вблизи предельных контуров карьеров, откосы уступов карьеров, сооружения и здания промплощадок предприятий с открытым и подземным способами разработки, горные выработки, жилые, промышленные и общественные здания и сооружения в поселках и городах.

М.А.Садовский сделал фундаментальный вывод: скорость колебаний грунта превосходит некоторую характерную для данного сооружения критическую величину при повреждении однотипных сооружений сейсмическими волнами от взрывов. Экспериментальные исследования подтвердили правильность этого вывода. При скорости колебаний грунтов более 10 см/с в зданиях возможны нарушения.

Мощность взрывов на горных предприятиях страны проводимых в последние годы возросла. По ощущениям жителей городов и результатам инструментальных наблюдений в ряде карьеров взрывы по своему эффекту сравнимы с землетрясением. Последствия таких взрывов проявляются в падении дымовых труб, балок перекрытий сооружений и зданий, отслоениях штукатурки, появлении новых и раскрытии существующих трещин, расслоениях фундаментов.

В подземных условиях при взрывах вредному действию сейсмических волн подвергаются, в первую очередь, подземные горные выработки, попадающие в зону сейсмического очага взрыва. Здесь возникают остаточные деформации. Недостаточное внимание мерам обеспечения устойчивости выработок, отсутствие должного контроля и неэффективность таких мер приводит к отслоениям заколов и обрушениям выработок.

Кроме того, подземные массовые взрывы могут оказывать сейсмическое воздействие на расположенные на поверхности здания промышленного и культурно-бытового назначения и находящиеся за пределами сейсмических очагов подземные выработки длительным сроком эксплуатации.

При массовых взрывах на подземных рудниках неоднократно случались отравления работников. При совмещенной отработке месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способами *ядовитые газы* при взрывах в карьерах могут попадать в подземные выработки, что может привести к тяжелым последствиям.

Рудничная пыль сорбирует окиси углерода и окислы азота и удерживает их в течение месяца и более. Пыль, адсорбировавшая ядовитые газы, усиливает развитие силикоза в 2- 3 раза.

При взрывах на земной поверхности со скоростью 150 м/с и болееразлет кусков горной массы периодически приводит к несчастным случаям, в том числе групповым.

При взрывных работах на акваториях нередко происходит разрушение подводных сооружений, массовая гибель морских животных и рыб. Такие случаи являются результатом опасных проявлений образующихся при взрывах *гидроударных волн*. В прилегающем к заряду слое воды при взрыве заряда тротила давление на фронте гидроударной волны превышает 100 кПа и плотность воды резко возрастает. В случае взрывов в скважинах и на скальном основании, находящихся в воде, часть энергии отражается, усиливая интенсивность волны.

В современных условиях з*вуковой эффект* взрыва помимо дискомфортного действия на людей отрицательно действует и на среду обитания животных, что особенно недопустимо вблизи природоохранительных комплексов.

В практике взрывного дела требуется определять безопасную массу зарядов и безопасные расстояния. Согласно выражению

,

где *u*- скорость колебаний грунта, - приведенная масса заряда равная  *, Кu* – коэффициент пропорциональности, равный *6,5* / и *2,0 /*  соответственно в указанных ниже диапазонах приведенных расстояний; *nВ* – отношение радиуса воронки выброса к глубине заложения заряда или показатель действия взрыва, *n*- показатель эффективного затухания колебаний с расстоянием, равный 2 и 1,5 в диапазоне приведенных расстояний , где *r* – расстояние до места взрыва, *Q* – масса взрывчатого заряда), соответственно до 12 и свыше 12 м/кг1/3.

В конкретных условиях весьма существенно когда масса заряда изменяется пропорционально третьей степени. Современные инженерные приемы управления взрывом позволяют в несколько раз увеличивать или уменьшать его сейсмическое действие. Масса заряда изменится в 8-27 раз при изменении скорости колебания грунтов в 2-3 раза.

Сейсмическое действие взрыва зависит от деформационных свойств разрушаемых пород при различных режимах их нагружения и не только от массы заряда. Деформационные свойства пород определяются их способностью изменять форму и размеры под действием механических нагрузок, а затем частично или полностью восстанавливать размеры и первоначальную форму после снятия нагрузок.

Энергия, накопленная средой в результате распространения волн сжатия-растяжения, преобразуется в кинетическую энергию элементов среды и энергию образования трещин. Эта кинетическая энергия приводит к *разлету отдельных кусков породы*, поскольку с некоторой задержкой во времени проявляется поршневое действие газов, сохранившихся в расширившихся трещинах. Неуправляемый разлет отдельных кусков породы приобретенной средой действием кинетической энергии взрывов является опасным явлением. Причем если поршневое действие продуктов детонации заряда ВВ регулируется и сравнительно просто прогнозируется, то степень передачи кинетической энергии волнами напряжения труднопредсказуемо и тем труднее поддается регулированию.

Прогноз дальности разлета кусков породы может быть осуществлен по законам атмосферной баллистики. Однако в этом случае необходимо знать сопротивление воздуха их разлету, формы разлетающихся кусков, характер движения кусков — поступательный с вращением или поступательный и т. п. Такой расчет можно выполнить только при постановке исследований для свойств взрываемых пород и конкретных технологии взрыва.

В этом случае с незначительным завышением радиус наибольшей дальности разлета кусков можно вычислить без учета сопротивления воздуха по формуле

, (11.1)

где *uк* – скорость вылета кусков породы, м/с; *а*- угол вылета их, градус; *g*- ускорение свободного падения, м/с2.

Максимальная дальность разлета, очевидно, будет, когда кусок вылетает под углом 45о к горизонту:

. (11.2)

Максимально возможную скорость вылета Г.И. Покровский и И.С. Федоров рекомендуют определять с учетом величины удельного расхода ВВ (*q*)и плотности пород (*ρ*) по формуле

*uк=72000 q /ρ.*  (11.3)

Вырываясь из скважин и расширяясь, масса взрывных газов вытесняет окружающий ее воздух и образует вокруг себя зону разогретого и уплотненного воздуха. Эта зона действует на окружающий, еще не возмущенный воздух и сжимает его. Сжатие передается все дальше и дальше.

Ударные воздушные волны от промышленных взрывов могут иметь разную амплитуду и частоту. Источником ударных воздушных волн могут быть взрывные газы, вырывающиеся при взрыве из скважин, трещин или шпуров, используемый для передачи детонации детонирующий шнур , разлетающаяся при взрыве горная масса. По характеру распространяющееся от взрывов в воздухе возмущение относят к слабым ударным воздушным волнам.

По частоте колебаний воздуха ударные воздушные волны могут быть инфразвуковыми и звуковыми. Они представляют опасность для остекления зданий, могут создавать дискомфортные условия для человека или окружающих природных комплексов и превосходить допустимые пределы колебаний в звуковом диапазоне, а в некоторых случаях могут явиться источником недопустимых колебаний элементов инженерных сооружений или других зданий.

Время его действия и избыточное давление– важнейшие характеристики ударных воздушных волн, определяющие их воздействие.

Образующиеся при взрывах промышленных ВВ *гидроударные волны*, характеризуются сравнительно малой продолжительностью периода сжатия и большими величинами давления. Этим и определяется опасность взрывов для живых организмов. Вместе с тем, гидроударные волны не представляют существенной опасности для людей и животных, находящихся на берегу, вблизи воды при достаточно глубоком размещении зарядов.

Исследованиями Б.В. Выскребенцева, Л.Н.Солодилова и других выявлены зависимости размеров радиусов безопасного и смертельного действия *rлет* и *rбез* и определены коэффициенты и безопасные расстояния в зависимости от типов и конструкции зарядов ВВ, массы зарядов, характера воздействия нагрузок. Опыты показали, что эта зависимость может быть выражена в виде

; .

В соответствии с экспериментальными данными *Клет=8 –27 и Кбез=12–45.*

Как видно из формул, в них не учитываются параметры взрывов, которые до последнего времени во многих случаях определяются по Р.Коулу. Если пользоваться предложенной Р.Коулом зависимостью, то давление на фронте гидроударной волны (МПа)

.

Среди основных ядовитых соединений и окислов, образующихся при взрывах, наиболее токсичны: окись и двуокись азота, окись углерода. При наличии в разрушаемых породах серы или сернистых соединений при взрывах образуются сероводород и сернистый ангидрид.

Объемные проценты (мг/л) для окиси углерода (СО), окислов азота (ΝΟ+ΝΟ2), сернистого ангидрида (SO2) и сероводорода (Н2S) предельно допустимая концентрация (ПДК) имеют следующие значения: 0,0016(0,02); 0,0001(0,005); 0,00035(0,01) и 0,00066(0,01).

Подсчет ядовитых газов в связи с различной степенью токсичности их в атмосфере производят отнесением к условной окиси углерода с введением соответствующих коэффициентов. Общее количество условной окиси углерода (л/кг) определяют по формуле

*V=NCO +6,5 NNO + NO +2,5N (SO +HS),*  (11.4)

где *N* – количество соответствующих газов.

Образующиеся при взрывах ВВ ядовитые продукты поглощаются отбитой горной массой, смешиваются с воздухом, сорбируются пылью, заполняют поры и трещины горных пород, ниши и пустоты выработок.

Основной мерой защиты животных и людей при взрывных работах от отравлений ядовитыми газами является удаление их за пределы зон, опасных по газовому фактору. Для уменьшения концентраций выделяющихся в атмосферу газов, кроме подбора соответствующих ВВ, практикуют связывания газов водой и специальными составами и интенсивную вентиляцию мест взрывов. Воду можно применять при орошении мест взрывов так и в виде забойки.

Большой вред окружающей среде, здоровью людей наносит распространяющаяся на большие расстояния пыль, образующаяся при взрывных работах.

Вредное влияние на здоровье животных и людей оказывает также пыль других горных пород. Для борьбы с пылью на предприятиях, ведущих взрывные работы, осуществляется система мероприятий, в основном тех же, что и при борьбе с ядовитыми газами.

**11.2. Способы утилизации взрывчатых веществ**

Подлежат уничтожению все взрывчатые материалы (ВМ), пришедшие по тем или другим причинам в негодность для взрывных работ. Единые правила безопасности допускают уничтожение *взрыванием, растворением* или *сжиганием и потоплением* в воде. Применимость этих способов зависит от способностей и свойств ВМ. Нельзя взрывать ВВ, не способные к детонации или утратившие ее, нельзя потоплять нерастворимые в воде ВВ, не следует сжигать ВВ, способные при горении детонировать.

Взрывание считается наиболее простым способом уничтожения ВВ. Способные к взрыву ВВ следует уничтожить таким способом. Переувлажненным и плохо детонирующим ВВ рекомендуется подмешивать другие, чувствительные к детонации в открытых зарядах ВВ. Только взрыванием уничтожают электродетонаторы, капсюли-детонаторы, детонирующие шашки и шнуры - детонаторы.

Заряды уничтожаемых ВВ инициируют электрическими и только доброкачественными средствами воспламенения или в крайнем случае огневым способом. На заряды, плохо детонируемых ВВ, боевики рекомендуется помещать сверху. Не поддающиеся взрыванию средства воспламенения и ВВ разрешается уничтожить только сжиганием. Уничтожение детонаторов таким образом запрещается. Детонирующие шнуры не способные к детонации сжигают отдельно от ВВ. Сжиганием при уничтожении применяют меры против возможного перехода горения в детонацию. Для этого ограничивают количество одновременно сжигаемого ВВ, производят рассредоточение и раскупорку его по поверхности грунта, не допускают присутствия в нем КД, ЭД, ДШ, шашек-детонаторов и других высокочувствительных ВВ, способных при горении вызвать детонацию. При сжигании патроны ВВ должны быть распатронированы, а ВВ растарены. Рекомендуется ВВ сжигать в отдельные дорожки шириной 0,5-0,6 м, рассыпанным слоем. Толщина дорожки выбирается от способности ВВ к горению и склонности к переходу горения в детонацию и не должна превышать 20 см. Можно одновременно сжигать по несколько дорожек, отстоящих одна от другой на расстоянии, безопасном по передаче детонации. Для поджигания ВВ в дорожках можно использовать отходы тары или подливать нефтяное масло или небольшие количества дизельного топлива.

Каждое средство воспламенения или взрывчатое вещество уничтожают на отдельной площадке. Тару из под ВВ также сжигают отдельно.

Наиболее безопасным методом уничтожения ВВ является потопление их в воде или растворение. Однако из-за внесения токсичных веществ он приводит к загрязнению водоемов и делает их непригодным для других целей. Правила допускают уничтожать растворением только растворяющиеся в воде ВВ.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Влияние взрывчатых веществ на окружающую среду при их применении
2. Воздействие сейсмических волн при взрывах
3. Перечислите условия образования гидроударных волн
4. Перечислите способы утилизации взрывчатых веществ

**12. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ К КУРСУ «ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА»**

**Работа 1. Определение чувствительности взрывчатых веществ к тепловому импульсу**

**Цель работы** - изучение периода задержки и температуры вспышки ВВ вспышки при различных режимах нагрева­ния ВВ.

Общие сведения

Изучение чувствительности взрывчатых веществ к тепловому импульсу имеет большое практическое значение, так как в процессе применения и производ­ства ВВ подвергаются воздействию повышенных тем­ператур. В большинстве случаев необходимо, чтобы ВВ были до­статочно устойчивы к тепловому импульсу, и лишь для иницииру­ющих ВВ и порохов желательна высокая восприимчивость к тепловому воздействию.

Тепловые воздействия подразделяют на гомогенный нагрев, равномерный до некоторой критической температуры для всей массы ВВ (с незначительным изменением температурного поля от центра массы ВВ к периферии), при котором процесс разложения ВВ развивается по законам теплового взрыва, и локальный нагрев - поджигание со значительным градиентом темпера­тур. В связи с этим определяют чувствительность ВВ к прогре­ву и к поджиганию т.е. воспламеняемости.

В твердых и жидких взрывчатых веществах при их нагревании возможно развитие взрыва по тепловому или цепному механизму. Наиболее важное значение имеет тепловой механизм.

Особенность теплового взрыва заключается в том, что ускорение реакции разложения ВВ возможно, если теплоприход за счет реакции превосходит теплоотвод в очаге реакции. Химическая реак­ция начинается при нагревании ВВ, скорость которой зависит от температуры. Когда температура ВВ выше температуры стенок сосуда с которым ВВ находится в контакте скорость химической реакции резко увеличивается.

Величина предвзрывного разогрева определяется по фор­муле

ΔТ=Ткр – Т0 = RT0 2/E<<Т0, (12.1)

где Ткр - критическая температура вещества в момент уста­новления равенства теплоприхода (за cчет экзотермической реакции) и теплоотвода в окружапщую среду; Т0 - температура стенок сосуда; R- универсальная газовая постоянная; Е - энергия активации ВВ.

Температура вспышки характеризует чувствительность взрывчатого вещества, под которой понимают температуру сте­нок гильзы или иного сосуда, в контакте с которым находится ВВ, вспыхивающее через определенное время после начала на­грева. Для практических целей устанавливают температуры вспышки, соответствующие задержке в 5 и 300 с.

Связь между температурой вспышки и периодом задержки во многих случаях удовлетворительно аппроксимируется зависи­мостью

𝜏 = с еЕ/RT0, (12.2)

где *𝜏* - период задержки, c;

*c* - эмпирическая константа, зависящая от характеристик взрывчатого вещества и условий опыта, с = 10-8÷ 10-13 с;

Е- энергия активации ВВ, соот­ветствующая реакции взрыва, Дж/моль;

R - газовая постоян­ная, R- 8,3144 Дк/(моль·К).

При фиксированной температу­ре *Т0* время задержки до вспышки для данного ВВ меняется в зависимости от формы заряда, массы взрывчатого вещества, его плотности и других условий. Поэтому для получения сопоставимых результа­тов необходимо испытания различных ВВ проводить в одинаковых условиях.

Для определения температуры вспышки используют цилиндрический реактор в печи c электрическим подогревом (риcунок 12.1). Температуру в печи регистрируют термопарой с выводом на самописец. Навеску вещества массой 0,05 г помещают с помощью специального приспособления, имеющего ковшик и электромагнит, в гильзу, погруженную в реактор. Гильзу сверху плотно закрывают ковшиком в момент за­грузки навески. При вспышке ковшик отбрасывается. Время задержки вспышки измеряют на самописце подсоединенного с термопарой. Он запускается при контакте ковшика с гильзой и останавливается при его от­бросе.

Изменяя на 5-10 °С температуру нагрева реатора опреде­ляют для каждого ВВ время задержки вспышки. Таким образом исследуют всю область температур, при которых вспышки проис­ходят с задержкой от 1-2 до 20-30 с или в зависимости от за­дания до 5 мин.



Рисунок 12.1 - Прибор для определения температуры вспышки

На основании результатов опытов строят график 𝜏=f(Т) и по уравнению

ln𝜏 *= * + lnc (12.2)

полученному из формулы (10.1), график ln𝜏 = f (1/Т).

Тангенс угла наклона прямой, полученной в последнем графике, есть не что иное, как отношение Е/R , из которого легко вычис­лить E - энергию активации распада ВВ.

**Порядок выполнения работы**

1. Подготовить для испытания алюминиевые или медные гильзы (от капсюля-детонатора), надев на гильзы металлические кольца, с помощью которых регулируется глубина погру­жения гильзы в реактор.

2. Подготовить четыре навески испытуемого ВВ массой

0,06 г каждая. Навески разместить на отдельных листах кальки размером 5x5 см.

3. Включить прибор в сеть, ввести через одно из имеющихся в крышке прибора отверстий термометр (внутрь прибора), а через второе отверстие в крышке прибора опустить гильзу в реактор.

4. Нагреть прибор до температуры, близкой к температуре вспышки испытуемого ВВ (по заданию преподавателя), и всыпать навеску испытуемого ВВ в гильзу.

5. Зафиксировать по электросекундомеру период задержки вспышки и заполнить следующую таблицу:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ВВ | Т0, 0С | 𝜏, с | Е, Дж/ моль |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

6. Повторить измерения с четырьмя образцами при той же температуре, записывая результаты в таблицу.

7. В зависимости от задания провести испытания при дру­гих температурах.

8. По измеренным значениям 𝜏 и Т построить график 𝜏 = f(T), по формулам (10.1) и (10.2) - график ln𝜏 = f(1/Т) и определить Е,

Содержание отчета

1. Таблица результатов измерений.

2.Графики зависимости ln𝜏*=*+lnc и𝜏=f(Т)

**Работа 2. Определение чувствительности взрывчатого вещества к удару**

**Цель работы** - получить сравнительную оценку чувствительности ВВ к удару и выявить степень опасности при обращении о ними, а также определить возможность применения их при механизированных способах заряжания.

Согласно тепловой теории разогрев взрывчатого вещества при ударе по заряду приводит к быстрой экзотермической реакции. В большинстве случаев тепло, выделяющееся при ударе, недостаточно для разогрева взрывчатого вещества до температуры вспышки. Но энергией удара мож­но нагреть отдельные локальные участки в массе ВВ до темпе­ратуры его воспламенения.

Тепловая теория, описывающая воз­никновение взрыва за счет разогрева локальных очагов, полу­чила название теории горячих точек. При ди­намическом воздействии или ударе в взрывчатом веществе возникают напряжения. Так как в твердом взрывчатом веществе всегда имеются неоднородности, в малых его объемах могут возникнуть пики напряжений. В этих объемах и появляются горячие точки, являющиеся наиболее вероятными очагами возникновения взрыва.

Причинами возникновения горячих точек являются адиаба­тическое сжатие небольших газовых включений, трение твердых частиц - высокоплавких примесей и вязкий разогрев. Последняя причина является основной при возбуждении взрыва в результате механического воздействия.

Чувствительность взрывчатого вещества к удару в лабораторных условиях определяют на копрах (рисунок 12.2). Характеристикой чувствительности ВВ к удару обычно служит энергия удара, необходимая для возбуж­дения взрыва.

В связи с тем, что возникновение взрыва при ударе имеет вероятностный характер, опыты при одной и той же энергии удара производят многократно.

В качестве характеристики чувствительности взрывчатых веществ обычно применяют следующие параметры:

1) частость возникновения взрывов при постоянном весе груза и высоте падения;

2) минимальную высоту падения груза, при которой происходит взрыв;

3) минимальную высоту падения груза, при которой взрывы возникают во всех опытах.

Установка (копер) состоит из массивной наковальни, укрепленной на фундаменте, на которую устанавливают ро­ликовый приборчик с навеской испытуе­мого ВВ (рисунок 12.2). Падающий груз копра при помощи специального держателя мо­жет быть закреплен на необходимой вы­соте, измеренной специальной линейкой. Спуск затвора держателя производится дистанционно. В установке предусмотре­но также приспособление, позволяющее улавливать груз при отскоке.

Для испытаний используют штем­пельные приборчики, отвечающие ГОСТ 2065-43. Приборчик со­стоит из направляющей муфты с полиро­ванными внутренними стенками, поддона и двух роликов со снятыми фасками, отличающимися высокой степенью постоян­ства своих механических свойств и точ­ностью размеров. Ролики должны иметь строго параллельные торцевые поверхности. Диаметр ролика 10 мм, радиус кромки роликов 0,1 мм. Ролики свободно скользят внутри муфты и выполняют роль бойка наковальни. Между роликами помещается на­веска ВВ. В лабораторных усло­виях испытания на чувствитель­ность производят навесками ВВ массой 0,05 г. Груз массой 10 кг сбрасывается с высоты 25 см.



Рисунок 12.2 - Вертикальный копер для определения чувствительности ВВ

**Порядок выполнения работы**

1. Подобрать необходимое число приборчиков, тщательно проверяя состояние их рабочих поверхностей. Ролики и муфты очистить от следов смазки или остатков ВВ ацетоном или спир­том и вытереть насухо.

2. На аналитических весах взвесить необходимое число на­весок ВВ по 0,05-0,005 г. Навеску равномерно распределить между роликами штемпельного приборчика и поставить приборчик в поддон на наковальню копра.

3. Груз массой 10 кг установить на высоте 25 см, нажав спусковой механизм затвора, опустить груз на верхний ролик приборчика. Повторить опыт 5 раз, фиксируя высоту отскока груза в таблице:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  опыта | Тип ВВ | Н1, см | Н2, см | Взрыв или отказ | х, % | А |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

4. Рассчитать частость взрывов

х = а·100/5, . где а - количество взрывов из 5 параллельных испытаний.

О взрыве навески ВВ судят пo звуковому эффекту, вспышке и дымообразованию. Если удар не сопровождается перечисленными признаками, то считают, что произошел отказ.

1. Определить энергию, поглощаемую ВВ при ударе:

А=(1-Н2/Н1)РН ,

где Н - высота падения груза на приборчик, см; Н1 и Н2— высота отскока груза, падавшего с высоты Н на приборчик без взрывчатого вещества и с ним (в случаях отказа), см; Р - вес груза.

При выполнении работы необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

1. Количество испытуемого ВВ в одной пробе не должно пре­вышать 0,05 г.

2. В случае отказов с роликов и муфты тщательно очищают ВВ в бумажную коробочку и после окончания испытаний передают лаборанту для уничтожения.

3. Работу проводят в защитных очках.

4. Перед каждым сбрасыванием груза следует предупреждать работающих в комнате о предстоящем взрыве командой: «Внимание, пуск!».

**Содержание отчета**

1. Краткое изложение методики испытаний чувствительности ВВ к удару.
2. Таблица результатов испытаний.

**Работа 3. Определение чувствительности взрывчатых веществ к трению**

**Цель работы** - количественная оценка чувстви­тельности ВВ к трению на маятниковом копре. Необходи­мость определения чувствительности ВВ к трению обусловлена требованиями техники безопасности при производстве и приме­нении ВВ.

В условиях производства и применения взрывчатых веществ механическое воздействие на них чаще всего оказывается в виде трения, по­скольку ВВ чаще подвергается не нормальному удару, а сколь­зящему, вызывающему трение между частицами ВВ или между ними и поверхностями соударяющихся тел.

Количественная оценка чувствительности ВВ к трение на копре осуществляется боковым ударом маятника по одно­му из двух роликов, между которыми зажата навеска ВВ.

В ос­новном узле копра (рис.12.3) навеска ВВ имеется между двумя стальными роликами. Пуансон, связанный с поршнем гидравличе­ского пресса, передает давление через нижний ролик на слой ВВ. При ударе падающего груза-маятника по ударнику верхний (под­вижный) ролик перемещается в направлении, показанном стрел­кой, подвергая навеску ВВ воз­действие быстрого сдвига.

Сила трения растет с уве­личением нормального давления на навеску ВВ, создаваемого поршнем. При этом увеличивается вероят­ность возникновения эффективных очагов разогрева, возможность распространения горения и, в конечном счете, вероятность воз­никновения взрыва.

Как и при действии нор­мального удара, возникновение взрыва от скользящего удара имеет вероятностный характер. Ввели давление прижатия меньше некоторой характерной для дан­ного ВВ величины, частость возбуждения взрыва х = 0. При увеличении давления прижатия частость возникновения взрывов в серии параллельных опытов растет и при некотором значении давления становится равной 100 %. Испытания проводят с по­стоянным грузом. Энергию удара можно менять, изменяя высоту падения (угол отклонения) маятника.

Чувствительность испытуемого ВВ лучше всего характери­зовать, построив полную кривую в координатах: частость взры­вов х - давление прижатия р (5-6 точек по 10 опытов для каждой при постоянной высоте падения маятника). В качестве меры чувствительности можно принять критическое давление, при котором частость взрывов достигает определенного значе­ния (50 или 100 %). На приборе можно определить чув­ствительность к трению ВВ (инициирующих или вторичных), порохов и пиротехнических составов. При исследовании новых ВВ рекомендуется проводить их испытания параллельно с хорошо изученными ВВ близкой чувствительности. Сравнительные испытания относительной чувствительности к трению порохов и пиротехнических составов, различных ВВ, чаще всего проводят сбрасыванием груза с одинаковой высоты и с постоянным углом отклонения маятника, равным 90°. Однако в случае испытания высокочувствительных ВВ, ха­рактеризующихся малыми величинами работы трения, и следова­тельно, малыми усилиями нормального прижатия вблизи нижних пределов, при сбрасывании груза весом в 15 г при угле в 90° происходит смещение ролика по инерции, значительно превышающее принятое условиями испытаний смещение (2 мм).



Рисунок 12.3 - Устройство основного узла копра.

Состоит : груз; ударник; навес­ка ВВ; стальные ролики; маятник

Это вы­зывает усиление частости взрывов вблизи нижних пределов.



Рисунок 12.4 - Номограмма для расчета давлений нормального прижатия р при заданном угле сбрасывания груза α для вторичных ВВ, взрывчатых смесей на их основе, пиротехнических составов и порохов.

Для малочувствительных взрывчатых смесей и пиротехни­ческих составов, обладающих большим коэффициентом внешнего трения, при сбрасывании груза с углом 90° и под высоким дав­лением, наоборот, не обеспечивается сдвиг ролика на величи­ну 2 мм.

Для создания сопоставимых условий для этих групп ВВ, порохов и пиротехнических составов испытания проводят с по­стоянным весом груза (15 г) и различными углами сбрасывания.

Угол сбрасывания в зависимости от давления прижатия р уста­навливается по номограмме (рис.12.4).

**Порядок выполнения работа**

1. Включить вытяжную вентиляцию.

2. В штемпельный приборчик между торцами роликов помес­тить навеску испытуемого ВВ и разровнять поворотом верхнего ролика без особых усилий. Приборчик с навеской ВВ поставить на полочку и протолкнуть через окно в корпус прибора на по­даватель.

3. Подняв маятник на заданный угол, зафиксировать его положение. Нажатием на рукоятку шептала освободить маят­ник.

4. При падении маятника его груз, ударяясь о головку удар­ника, проталкивает его до упора в направляющую колодку.

5. При ударе тонкий слой навески ВВ, зажатой между ролика­ми, подвергается внешнему трению. При этом фиксируется взрыв или отказ испытуемого вещества. За взрыв принято считать разложение ВВ, сопровождавшееся звуковым эффектом, выделением дыма или следами разложения на рабочей поверхности ролика в виде закопченности.

6. Результаты испытаний записать в таблицу:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №  опыта | Тип ВВ | Взрыв или отказ | α | х, % |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

7. Рассчитать частость взрывов

х = α ·100/5, . где α - количество взрывов из 5 параллельных испытаний.

8. После испытаний штемпельные приборчики промыть в растворителе.

При испытаниях следует соблюдать меры предосторожности, указанные в работе 2

Единственное отличие в том, что коли­чество испытуемого ВВ в одной пробе не должно превышать 0,02 г.

**Содержание отчета**

1. Краткое описание методики испытаний чувствительности ВВ к трению.

2. Таблица результатов испытаний.

3. График зависимости частости взрывов от давления нор­мального прижатия.

**Работа 4. Определение теплоты взрывчатого превращения**

**Цель работы** - экспериментальное определение теплоты взрывчатого превращения.

Механическую работу взрыва производят расширявшиеся га­зообразные продукты взрывчатого превращения, нагретые до вы­сокой температуры за счет теплоты, выделившейся при этом пре­вращении. Величина теплоты взрыва позволяет оценить возможную работоспособность взрыва (фугасное действие). Зная плотность ВВ, теплоту взрыва и скорость детонации, можно судить также о разрушающем действии взрыва на среду в непосредственной бли­зости от заряда.

Одним из условий взрывчатого превращения химических сое­динений является экзотермичность процесса. Под теплотой взрыв­чатого превращения понимают теплоту, которая выделяется при взрыве 1 моль ВВ. Для целей практического сравнения различных ВВ и тем более взрывчатых смесей эту величину обычно относят не к 1 моль, а к 1 кг ВВ.

В термохимии взрывчатых веществ приходится иметь дело со следующими тепловыми эффектами: теп­лотой сгорания, теплотой образования и теплотой взрыва.

Теплота образования Qобр - количество тепла, которое вы­деляется или поглощается при образовании 1моль взрывчатого вещества из свободных химических элементов.

Теплота сгорания Qсг вещества - количество тепла, ко­торое выделяется при сгорании 1 моль вещества в среде чисто­го кислорода при условии, что горючие молекулы образуют высшие окислы.

Теплота взрывчатого превращения - количество тепла, вы­деляемое при взрывчатом превращении 1 моль вещества.

Расчет теплоты образования ВВ и теплоты взрыва, исходя из теплот соответственно их образования и сгорания, произ­водят по закону Гесса, который формулируется следующим обра­зом: тепловой эффект процесса не зависит от пути, по которому он протекал, а зависит только от начального и конечного состояний системы. В общем виде закон Гесса может быть сформули­рован следующим образом: тепловой эффект кругового процесса равен нулю. В применении к термохимии ВВ можно записать закон Гесса в виде соотношения

Q1-2+Q2-3=Q1-3 (12.3)

где индексы 1, 2 и 3 обозначают соответственно начальное, про­межуточное и конечное состояния системы, а их сочетания - переход системы из одного состояния в другое.

В зависимости от того, какие термохимические характерис­тики ВВ (теплота сгорания, теплота образования, теплота взрыв­чатого превращения, тепловой эффект реакции получения ВВ и др.) известны, возможны три варианта расчетов. Примем следующие обозначения в уравнении (12.3): состояния 1; 2 и 3 соответствен­но элементы ВВ; ВВ и продукт взрыва. Тогда Q1-2 – теплота образования ВВ из исходных элементов; Q2-3- теплота взрыва; Q1-3- теплота образования продуктов взрыва. Из уравнения (12.3) следует Q2-3=Q1-3 – Q1-2

При расчетах значения теплоты образования продуктов взры­ва и сгорания, а также теплоты образования ВВ обычно берут из соответствующих термохимических таблиц. Необходимо указать, что в этих таблицах обычно приведены значения теплоты для реакций, протекающих при постоянном давлении Qр. Так как за теплоту взрыва обычно принимается теплота, выделившаяся при постоянном объеме, Qv, то нужно производить пересчеты по формуле

Qv=Qp+(n2-n1) RT, (12.4)

где R- газовая постоянная; Т - абсолютная температура; n1 и n2 масса соответственно исходных газообразных веществ и газообразных продуктов реакции, моль.

В случае конденсированных ВВ n1 = 0 и формула упрощается

Qv=Qр+nRТ, (12.5)

где n - масса газообразных продуктов взрыва, моль.

Если относить тепловые эффекты к 15 °С или 288 К, то формулы (12.4) и (12.5) примут вид соответственно

Qv=Qр +0,137(n2-n1), и Qv=Qр +0,137n

Часто калориметрическим методом определяют теплоту сго­рания ВВ и по этим данным рассчитывают теплоту образования ВВ, что позволяет вычислить теплоту взрыва ВВ. Расчет теплот обра­зования ВВ производится следующим образом.

При сжигании ВВ процесс идет по уравнению

CaHbOcNd+(α+-)O2= αСO2+H2O+N2+QVсг  , (12.6)

следовательно, в уравнении (10.4)

n1 = α+-) и n2 =α++,

и можно записать

Qv=Qр +0,137(++). (12.7)

Так как

Qр обр ВВ = Qр обр пр. сг. - Qр сг. ВВ;

Qр обр СО2 = 895,6 кДж/моль;

Qр обр H2O = 241,9 кДж/моль;

теплота образования ВВ

QV обр ВВ = 395,6 α+241,9 -QVсг + 0,137(++). (12.8)

Для экспериментального определения теплот взрывчатого превращения и сгорания ВВ чаще всего применяется калориметри­ческая установка, основными частями которой являются калори­метрическая бомба и калориметр. Калориметрическая бомба (рис.12.5) представляет собой прочный стальной стакан емкостью 300 мл, который плотно запирается навинчивающейся крышкой.



Рисунок 12.5 – Калориметрическая бомба

Для достижения герметичности на верхнем срезе стального ста­кана имеется острый кольцевой выступ, который при навинчивании крышки врезается в свинцовое кольцо, находящееся в коль­цевом срезе крышки бомбы. Бомба имеет четыре отверстия, запирающиеся вентилями, одно из них заканчивается внутри бомбы трубочкой и служит для впуска газа, другое распола­гается непосредственно на нижней поверхности бомбы служит для выпуска газов из бомбы. В одном из отверстии бомбы установле­ны два электрода, служащие для подвода тока внутрь бомбы.

Одним из электродов служат вентиль и трубка. Вторым электро­дом является изолированный от тела крышки медный стержень, оканчивающийся внутри бомбы электродом. Бом­ба изготовляется из легированной нержавеющей стали.

Сжигание образцов ВВ производится в стальной из нержа­веющей стали чашечке, устанавливаемой в кольце и закрепленной на трубочке.

Калориметр (рис.12.6) состоит из калориметрического бачка с мешалкой и защитного калориметрического сосуда.

Калориметрический бачок емкостью около 3 л представляет собой латунный никелированный цилиндрический сосуд. Форма, размеры, материал и поверхность бачка подбираются, чтобы свести к минимуму потери тепла через лучеиспускание и испарение ка­лориметрической жидкости. Калориметрический бачок помещен в защитный сосуд -двухстенную цилиндрическую полиро­ванную с внутренней стороны ем­кость, заполненную водой и снабженную герметичной крышкой из эбонита. Большая масса воды в защитном сосуде гарантирует постоянство температуры среды, окружающей калориметр. В верх­ней части защитный сосуд снаб­жен патрубком для наливания воды и стойками для крепления мешалки и термометра, которые через отверстия в крышке вводят в кало­риметрический бачок.

Для измерения изменения температуры калориметрической жидкости применяется специальный метастатический термометр.

Для расширения диапазона измерения температуры термо­метр настраивается так, чтобы при рабочей температуре термо­стата мениск столбика ртути находился на нижних делениях шкалы (от 1 до 2 °С).

Установка имеет электрический щит с органами управления и индикации работ двигателя мешалки, нагревания и пережигания электровоспламенительной проволочки и разъемами для подводя­щих проводов.



Рисунок 12.6 - Калориметрическая установка

Для определены теплоты взрывчатого превращения, необходимо знать водяной эк­вивалент калориметри­ческой установки. Во­дяным эквивалентом калориметра называют массу воды, имеющую теплоемкость, равную теплоемкости системы, состоящей из калори­метрического сосуда, калориметрической бомбы с ее содержимым и погруженных в воду частей мешалки и тер­мометра.

Так как для по­вышения температуры 1 г воды на 1 °С требуется 4,186 Дж, а количество тепла, необходимое для нагревания тела, пропор­ционально массе этого тела, то водяной эквивалент численно равен количеству тепла, необходимому для повышения температу­ры калориметрической системы на 1 °С. В качестве стандартного метода определения водяного эквивалента принят метод сжигания в бомбе калориметра навески эталонной бензойной кислоты в ат­мосфере кислорода. Теплота горения бензойной кислоты Q15 0C = 26460,58 Дж/г,

Q20 0C 26456,39 Дк/г.

Калориметрические измерения начинают, измеряя с помощью обычного термометра температуру воздуха в помещении и температуру воды в калориметрическом сосуде. Температура воды в сосуде должна быть примерно на 2 °С ниже температуры воздуха (для уменьшения величины поправки на теплообмен).

Для предотвращения испарения воды, образовавшейся при сгорании вещества, и для поглощения окислов азота предвари­тельно в бомбу наливают точно измеренное количество воды (10 мл). Таблетку из испытуемого вещества с впрессованной в нее железной проволокой помещают в чашечку бомбы, а к трубочке и электроду (см. рис.12.5) присоединяют концы воспламенительной проволочки. Затем завинчивают крышку бомбы и заполняют ее кис­лородом.

Снаряженную бомбу ставят в калориметрический сосуд с дис­тиллированной водой (ее масса должна быть известна). Вода долж­на покрывать бомбу вместе с головками вентилей, а контакты электродов должны оставаться сухими. Контакты с помощью про­водов соединяют через выключатель и реостат с источником тока. Установив в калориметре термометр и мешалку, запускают мешалку на 15-20 мин для выравнивания температур всех частей калориметра, бомбы и калориметрической жидкости. После этого можно приступать к наблюдению за температурой.

Калориметрические измерения, проводимые на установке, разделяются на три периода:

1. Начальный, до момента воспламенения вещества. Его ха­рактеризует равномерное изменение температуры. В этот период в течение 5 мин через каждые 30 с необходимо регистрировать температуру воды в калориметрическом сосуде. Последний отсчет этого периода является нулевым для второго периода. В момент 11-го наблюдения подают ток на электровоспламенительную про­волочку, следя одновременно за продолжительностью вспышки контрольной лампы индикатора.

2. Главный, между моментами времени, когда температура меняется равномерно. В этот период температура растет, и ее необходимо регистрировать каждые 30 с.

3. Заключительный, с постоянной или равномерно изме­няющейся температурой. Его началом считают последний отсчет температуры главного периода. На этом этапе измерений про­изводят 10 отсчетов температуры через каждые 30 с на самописце.

Постоянную калориметра определяют после трех сжиганий навески бензойной кислоты по формуле

, (12.9) где Q и Q1 - теплота сгорания бензойной кислоты (по паспор­ту) и медной проволоки соответственно, Дж/г;

G и G1- масса соответственно навески бензойной кислоты и сгоревшей части медной проволочки, г;

Н - цена деления шкалы термометра Бек­мана (по паспорту термометра), °С;

t0 и tK- начальный и конечный отсчеты главного периода, °Q;

h0 и hK - поправки на калибр термометра (по паспорту) для начального и заключительного периодов, °С;

Δt - поправка на теплообмен между калориметром и окружающей средой, °С.

Если бы теплообмен между калориметром и окружающей сре­дой отсутствовал, то по начальной температуре и максимально­му ее значению можно было бы вычислить тепловой эффект про­цесса. Однако из-за радиации тепла приходится вычислять по­правку температуры на радиацию

 , (12.10)

где n - число полуминутных промежутков главного периода;

v0 и vk - среднее изменение температуры в начальном и заключи­тельном периодах по 10 отсчетам, °С;

τ0 и τк - средняя тем­пература начального и заключительного периодов, °С;

t0 и  - конечная температура начального и главного периодов,

°С;  - сумма температур в главном периоде без конечного отсчета, °С.

**Порядок выполнения работы**

1. Подготовить образцы заряда к испытанию. Величину на­вески ВВ подбирают так, чтобы подъем температуры не превышал 2-2,5 °С. В опыте используют прессованные сферические заряды ВВ массой 1-2 г с впрессованной в них электровоспламенительной проволочкой.

Взвесить заряд ВВ на аналитических весах.

2. Концы электровоспламенительной проволочки плотно прикрутить к электроду и трубочке,

3. Подготовить к работе калориметрическую бомбу:

1) залить в бомбу 10 мл воды, крышку, сняв со штатива, вставить в корпус бомбы;

2) присоединить к открытому входному штуцеру бомбы че­рез редуктор трубку от баллона с азотом; открыв с помощью ключа выходной штуцер, медленно подать газ.

Для вытеснения воздуха из бомбы азот пропускать около 2 мин, затем перекрыть входной и выходной клапаны и отсое­динить трубку от бомбы.

4. Собрать калориметр:

1) в калориметрический сосуд залить 2200 г дистиллиро­ванной воды комнатой температуры (масса воды определяется с точностью до 1 г) и установить его на поддон в защитный сосуд;

2) снаряженную бомбу поместить в калориметрический со­суд, держа рукой за вентили и стараясь не разбрызгивать воду (уровень воды в сосуде должен быть выше сальниковых гаек крышки погруженной в сосуд бомбы);

3) к контактам подсоединить электропровода цепи вос­пламенения, вставить метастатический термометр Бекмана, закрыть крышку калориметра и запустить мешалку.

Убедившись в том, что она не касается никаких частей прибора, собранную калориметрическую установку оставить на 10 мин для выравнивания температуры.

5. Произвести необходимые измерения. Включить секундо­мер и через каждые 30 с при помощи лупы фиксировать показа­ния термометра. Сделав 10 отсчетов, записываемых в тетрадь под символами от t1Hдо t10 H , одновре­менно с 11-м отсчетом включить ток на воспламенитель.

6. Разобрать калориметр:

1) снять крышку с защитного кожуха и вынуть термометр, отсоединять электропровода от клемм бомбы;

2) поднять мешалку и осторожно вынуть из калориметра бомбу и калориметрический сосуд;

3) бомбу поставить под тягу, отвинтить колпачок выпускного штуцера и медленно выпустить газообразные продукты; после полного выхода газов отвернуть прижимное кольцо и вынуть крышку бомбы;

4) вылив воду из калориметра, промыть дистиллированной водой корпус бомбы и вытереть насухо все части калориметра, - которые соприкасались с водой.

7. Обработать результата опыта. Тепловой эффект рассчи­тывают по формуле

 , (12.11)

Где Qэд- теплота взрыва воспламенителя (по справочнику), Дж; G - масса заряда, г.

**Содержание отчета**

1, Краткое описание опыта. Записи измерений.

2. Результаты расчета теплового эффекта взрывчатого превращения ВВ.

**Работа 5. Измерение температуры детонации конденсированных взрывчатых веществ**

**Цель работы** - изучить методику измерений па­раметров горения, детонации и количественно определить температуру детонационного фронта конденсированных ВВ.

Знание температуры взрыва необходимо для ряда термодина­мических расчетов. Температура взрыва является также одним из основных параметров, определяющих опасность применения ВВ в угольных шахтах при наличии метано- или пылевоздушных сме­сей. Измерение температуры продуктов детонации принципиально важно для обоснованного построения уравнения состояния высо­коплотных газов, образующихся при детонации конденсированных ВВ.

Температура продуктов детонации во фронте детонационной волны может быть измерена только оптическими методами, что обусловлено быстротечностью процесса, а также высокими зна­чениями температур и давлений, возникающими при детонации.

Для определения температуры взрыва конденсированных ВВ оптическим методом существует несколько методик, основанных на применении закона излучения.

Наиболее распространенными методами измерения темпера­тур являются радиационный, яркостный и цветовой. В первом случае измеряется интегральная энергия, излучаемая нагретым телом, во втором сравниваются монохроматические яркости из­лучения исследуемого тела и эталонного источника, в третьем исследуется распределение энергии по спектру излучения.

Для абсолютно черного тела спектральная яркость выра­жается формулой Планка

 (12.12)

где Е λТ - спектральная плотность потока излучения, испускаемого в единицу телесного угла с единицы площади излучающего тела, т.е. излучательная способность тела Вт/см2, с1 и с2 – константы, с1 = 3,71·10 -16 Вт · м2 , с2 =0,01, λ – длина волны, м; Т – температура абсолютно черного тела , К.

Если λТ<<с2, то зависимость (10.12) можно заменить приближенным законом Бина

. (12.13)

Если λТ<0,31·10-2 м·К, то ошибка в определении Е λТ меньше 1 % по сравнению со спектральной яркостью, вычесленной по формуле (10.12).

Очевидно, что отношение яркостей при двух температурах можно записать в виде

 

Если измерять отношение яркостей в двух точках спектра при одной температуре, то





где Δλ - участок длин волн, пропускаемый монохроматором.

Для перехода от яркостной Тя и цветовой Тц температур к истинной температуре Ти необходимо знать коэффициент испускания тепла еλ.

Яркостная температура тела по определению есть температу­ра черного тела, излучательная способность которого равна излучательной способности рассматриваемого тела. Она может быть определена из закона Кирхгофа

,

где Е1(λ1Тя) - спектральная яркость излучающего тела.

Используя закон Вина, найдем 1/Ти-1/Та=(λ/с 2)lneλ, полагая, что в диапазоне температур Ти – Тя коэффициент eλ не зависит от Т.

Цветовая температура характеризует относительный ход спектрального распределения, т.е. в графическом изображении его наклон. Цветовая температура - это температура черного тела, которой соответствует то ее относительное спектральное распределение, что и у исследуемого тела. Тогда



Для серого тела не меняется с длиной волны, поэтому для него цветовая температура совпадает с истинной, а яркоcтная отличается от нее.

В работе используетcя метод, заключающийся в применении соотношения (12.13) к измеренным излучательным способностям тела для двух длин волн λ1 и λ2.

Отношение

 (12.14)

где  и - величины, характеризующие светимости серых тел, которые могут зависеть как от λ, так и от Т.

Преобразуя формулу (10.14), получим

lnR=A/T+B,

где ; А и B - постоянные, определяемые выбором длины волны и величиной радиационной конcтанты с2,

А = c2(l/λ2 - l/λ1); B=ln(λ2/λ1)5.

Обычно источник света наблюдают при двух или бо­лее известных значениях температуры и строят зави­симость lnR от 1/Т, даю­щую тарировочную кривую. Эта тарировочная кривая может быть экстраполирована на всю об­ласть значений изме­ряемых температур.

В качестве при­бора, выделяющего из спектра излучения участки с длиной волн λ1 и λ2,в ра­боте используются оптические пирометры. Изме­рения производятся при λ1= 0,404·10-6 м и 0,801·10-6 м с шириной пропускания 10-8м.

Тарировка прибора выполняется с помощью ленточной вольфрамовой лампы. Температура лампы меняется от 1500 до 2700 К.

**Порядок выполнения работы**

1. Включить в сеть 220 В электронные приборы, необходи­мые для проведения работы, и дать им прогреться в течение 10 мин.

2. Подготовить к работе пирометр. Установить длительность развертки; провести фокусировку и установить нужную яркость по лучам 1 и 2 каналов.

3. Включить тарировочную ленточную банд-лампу н установить по паспорту соответствующий минимальной цветовой температуре ток.

4. Перемещая фокусирующую линзу, добиться резкого изо­бражения нити ленточной банд-лампы на входной щели фотоумножителей.

5. Поместить во взрывную камеру заряд ВВ.

6. Установить лимб входной щели на отметку 0,05 мм, а де­лители на входе осциллографа CI-33 на отметку IВ. Произвести взрыв.

 

7. Обработать результаты измерений. Определить амплитуды тарировочных импульсов по I и II каналам и амплитуды, полученные в результате взрыва заряда. Заполнить таблицу:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Условия опыта | Т, °С | I канал | II канал | ЕI ЕII | ЕI/ЕII | lg ЕI/ЕII |
| Лампа пирометра | 2000 |  |  |  |  |  |
|  | 2100 |  |  |  |  |  |
|  | 2200 |  |  |  |  |  |
|  | 2300 |  |  |  |  |  |
|  | 2400 |  |  |  |  |  |
|  | 2500 |  |  |  |  |  |
|  | 2600 |  |  |  |  |  |
| Взрыв |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Содержание отчета**

1. Таблица результатов измерений.

2. График зависимости lg ЕI/ЕII – f (Т-1).

3. Определение температуры взрыва.

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1 Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкевич К.П. и др. Физика взрыва. - М.: Наука, 1978. - 180 с.

2 Бахман Н,Н., Беляев А.Ф. Горение гетерогенных конденсированных систем. – M: Наука, 1967. – 230 с.

3 Дубовик А.С. Фотографическая регистрация быстролротекаюших процессов.- М: Наука, 1975. – 105 с.

4 Карпунов Е.Г. Теории взрыва и промышленные взрывчатыэ вешества.- Л: изд. ЛГИ, 1985. - 220 с.

5 Кестеибойм Х.С., Росляков Г.С., Чудов Л.А. Точечный взрыв. – М: Наука, 1974. – 175 с.

6 Кутузов Б.Н. Взрывное н механическое разрушение горных пород. – М: Недра, 1973.- 185 с.

7 Орлова Б.Н. Бризантные взрывчатые вещества.- М: Химия. 1974. -204 с.

8 Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород. – М: Наука, 1976.- 230с.

9 Бейлинг К., Дрекопф К. Взрывчатые вещества и средства взрывания, части I и II. –М.: Оборонгиз, 1941. -304с.

10 Яременко Н.Е., Светлов Б.Я. Теория и технология промышленных взрывчатых веществ. – М.: Промстройиздат, 1957. –240с.

11 Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. –М.: Недра, 1988, - 358 с.

12 Кук М.А.Наука о промышленных взрывчатых веществах / Пер. с англ./ Под ред. Г.П.Демидюка, Н.С.Бахаревич. – М.: Недра, 1980. – 453с.

13 Кукиб Б.Н., Росси Б.Д. Высокопредохранительные взрывчатые вещества. –М.: Недра, 1980. – 172с.

14 Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К. П., Челышев В.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. –М.: Наука, 1975. – 704с.

15 Богацкий В.Ф., Фридман А.Г. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов. – М.: Недра, 1982. -162с.

16 Шерман Ф. Эмульсии / Пер. с англ. / Под ред. А.А.Абрамзона. – Л.: Химия, 1972. – 448с.