

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ, ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И  
ГЕОМЕХАНИКИ

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**  
для студентов специальности **21.05.04. «Горное дело»**  
по дисциплине **Б1.Б40**  
**«ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ»**

Утвержден к проведению лекционных занятий на  
заседании кафедры СЗПСиГ протокол № 14 «19» мая 2017 г.

УДК 622.235.(071)

Конспект лекций по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ» [Электронный ресурс]: для обучающихся уровня профессионального образования «специалист» по специальности 21.05.04 «Горное дело» всех форм обучения / ГОУВПО ДОННТУ, Каф. стр-ва зданий, подзем. сооруж. и геомехан.; сост.: С.А. Калякин, К.Н. Лабинский, И.В. Купенко, Е.Е. Головнева. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader.

Приведены лекции по курсу «*Технология и безопасность взрывных работ*» и контрольные вопросы по ним. Предназначены для облегчения изучения дисциплины и контроля знаний студентов. Составлены с учетом тем практических занятий, экзаменационных вопросов.

## ВВЕДЕНИЕ

При ведении горных работ до настоящего времени буровзрывной способ является основным способом разрушения горных пород при определении их от массива. С помощью буровзрывных работ добывается 70% объема полезных ископаемых, проводится основная масса выработок на угольных и горнорудных предприятиях. При проведении горных выработок по крепким породам и в смешанных забоях буровзрывной способ разрушения горных пород будет и в дальнейшем преобладающим.

«Технология и безопасность взрывных работ» является одной из базовых дисциплин горного образования, которая изучает свойства ВВ, теорию, практику, технологию и безопасные методы ведения взрывных работ с целью использования полученных знаний для эффективного решения задач горного производства, а также совершенствования методов взрывного разрушения горных пород.

Цель представленных «Конспекта лекций...» повышение эффективности работы студентов, приобретение теоретических и практических навыков в определении свойств взрывчатых веществ и решении задач по буровзрывным работам, состоятельности студентов в обучении.

## **ТЕМА 1. Краткая история развития взрывного дела. Общие сведения о взрыве и взрывчатых веществах.**

### ***Лекция 1. Краткая история развития взрывного дела. Общие сведения о взрыве и взрывчатых веществах. Виды взрывов. Характеристика разрушающего действия взрыва. Типы взрывчатых веществ и их деление по свойствам. Термины и понятия.***

Начальным процессом технологии разработки месторождений полезных ископаемых является отделение горных пород от массива и дробление их на куски заданных размеров. Наиболее эффективным способом разрушения горных пород применяемым на горных предприятиях является взрывной.

**Взрывное дело** – самостоятельная область техники, совокупность процессов и технических средств, связанных с применением энергии вещества ВВ в промышленности и сельском хозяйстве.

Составной частью взрывного дела являются взрывные работы.

**Взрывные работы** – это работы, целью которых является отбойка, дробление и перемещение (выброс и сброс) горной породы, а так же работы по разрушению объектов гражданского или промышленного назначения, инженерных сооружений, отслуживших свой срок, при помощи ВВ или зарядов ВВ, размещенных в шпурах, скважинах, камерах или траншеях. Развитие взрывных работ тесно связано с производством ВВ, с развитием буровой техники и промышленной добычи полезных ископаемых, строительных материалов.

#### ***Краткая история развития взрывного дела.***

Первым ВВ, которое было изобретено человечеством, является черный порох. Доподлинно история изобретения черного пороха не известна. Наиболее вероятно, что в древние времена порох был получен в Китае. Откуда он стал известен в Индии, затем его секрет стал известен арабам и от них черный порох попал в Европу. В те далекие времена черный порох применялся в основном для огнестрельного оружия и в минно-подрывном деле для разрушения укрытий противника. Почти 500 лет черный порох применялся только в военном деле и для праздничных фейерверков.

1812г – П. Шиллинг в России применил электрический воспламенитель.

1831г – в Англии Бикфорд изобрел огнепроводный шнур.

1846г – в Италии А. Собrero впервые синтезировал нитроглицерин.

1845г – Ф. Шенбейн в Базеле синтезировал нитроклетчатку.

1853г – Н.Н.Зининым и В.Я.Петрушевским было предложено ВВ на основе нитроглицерина, аналогичное по составу динамитам.

1867г – А.Нобель создал динамит, кизельгур, пропитанный нитроглицерином. Эта смесь слабее чистой жидкости нитроглицерина на четверть, но при этом практически безопасна в обращении.

1867г – создан капсюль-детонатор из гремучей ртути («запал Нобеля»).

1867г - шведские химики Ольсен и Норбин запатентовали ВВ на основе аммиачной селитры с разнообразными горючими добавками.

**Взрыв** - это процесс, чрезвычайно быстрого физического или химического превращения вещества, сопровождающийся выделением энергии (теплоты) и газообразных продуктов, способных при расширении совершать работу над окружающей средой и образовывать ударные волны, а в плотных средах (горные породы) – поля напряжений. Работа, совершаемая при взрыве, обусловлена быстрым расширением газов или паров, независимо от того, существовали ли они до или образовались во время взрыва.

Самым существенным признаком взрыва является резкий скачок давления в среде, окружающей место взрыва. Это служит непосредственной причиной разрушительного действия взрыва. Кроме того, в окружающей среде возникает интенсивное возмущение, распространяющееся в виде ударной волны. Ударная волна усиливает масштабы разрушающего действия взрыва.

#### **Виды взрывов:**

Взрывы, обусловленные *физическими* причинами: «взрыв» парового котла, баллона (танка) со сжатым или сжиженным газом. Взрывы, возникающие при мощных электрических искровых разрядах (молнии), при пропускании электрического тока через металлическую проволоку, при разряде конденсатора.

Взрыв, при котором используется энергия внутриядерного превращения атомного ядра тяжелых элементов (уран, плутоний и др.), называют *ядерным*, а в результате синтеза легких элементов из дейтерия *термоядерными*.

Источником взрывов большой силы иногда является кинетическая энергия движущихся тел. При падении метеоритов на Землю, в результате резкого торможения, их кинетическая энергия переходит в тепловую. Ее количества достаточно для испарения вещества метеорита в нагретый сжатый газ, который расширяется с эффектом взрыва.

Имеют место *тепловые* взрывы при вулканических извержениях обусловленные быстрым испарением жидких и твердых веществ.

**Химическим взрывом** называют крайне быстрое самораспространяющееся химическое превращение некоторых веществ или их смеси с образованием новых соединений, выделением тепла и образованием газообразных продуктов. Исходя из этого, ВВ представляют собой относительно неустойчивые, в термодинамическом смысле, системы, способные под влиянием определенного внешнего воздействия к химическому взрыву. Способность химических систем к взрывчатым превращениям определяется следующими тремя факторами: *экзотермичность реакции, большая скорость процесса, образование большого количества газообразных продуктов взрыва.*

**Взрывчатые вещества** представляют собой химические соединения или механические смеси веществ, способные под влиянием определенного внешнего воздействия (удара, нагрева) распространяться по всему своему объему с высокой скоростью химической реакции, сопровождающейся выделением большого количества теплоты и газообразных продуктов, образующих в веществе детонационную волну.

В настоящее время ВВ классифицируются по своим физико-химическим и взрывчатым свойствам. Имеются две группы ВВ: взрывчатые химические соединения и взрывчатые смеси.

Взрывчатые вещества и взрывчатые системы в зависимости от физико-химических и взрывчатых свойств разбиваются на четыре группы: *инициирующие ВВ, бризантные, метательные (пороха), пиротехнические системы.*

Каждое взрывчатое вещество или взрывчатая смесь характеризуется детонационной способностью, *работоспособностью, бризантностью.*

**Детонационная способность ВВ** – интегральная характеристика, зависящая от взрывотехнических показателей ВВ, которая определяет способность заряда устойчиво детонировать при различных условиях взрывания. Определяется критическим диаметром, восприимчивостью к инициирующему импульсу, критической плотностью, передачей детонации.

**Работоспособность ВВ** – интегральная характеристика, которая зависит от параметров ВВ, определяет его способность разрушать и перемещать горные породы при взрыве. Фугасность – работоспособность ВВ в бомбе Трауцля.

**Бризантность ВВ** – характеристика ВВ, которая определяет способность ВВ к местному дробящему действию окружающей заряд среды.

## ТЕМА 2. Детонация. Теории детонации.

### Лекция 2. Гидродинамическая теория детонации. Теория детонации газообразных и конденсированных взрывчатых веществ. Влияние различных факторов на возникновение и параметры детонации ВВ.

Детонация является одним из процессов, при котором осуществляется химическое превращение ВВ и взрывчатых горючих смесей. Этот процесс характеризуется тем, что химическая реакция протекает во всем объеме вещества последовательно от одного слоя к другому, то есть по ВВ перемещается фронт химического превращения, который называют детонационным фронтом. При этом нормальная скорость движения фронта химического превращения  $D$  больше скорости звука в исходном веществе. Детонация может распространяться в условиях замкнутой системы без всякого взаимодействия с окружающей средой. Отсюда следует определение детонации.

**Детонация** – это процесс сверхзвукового распространения фронта химического превращения с постоянной скоростью по веществу, без всякого взаимодействия с окружающей его средой. Это определение дает феноменологическое описание детонации.

В основе гидродинамической теории детонации положены законы сохранения массы, импульса и энергии при переходе вещества через детонационный фронт совместно с уравнением состояния газов, она содержит пять неизвестных параметров детонационной волны. Решение которых позволяет установить скорость детонации ВВ

$$D^2 = 2Q_0(\gamma^2 - 1),$$

где  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  - показатель адиабаты, а  $Q_0$  - удельная теплота взрыва ВВ.

В более полной мере теория детонации конденсированных ВВ изложена Я.Б. Зельдовичем. В этой теории задействованы многие элементы гидродинамической теории детонации для газов. Так из уравнений сохранения вещества и импульса получается следующее выражение для скорости детонации:

$$D^2 = V_0^2 \frac{P - P_0}{V_0 - V}$$

Для конденсированных ВВ вместо удельного объема подставим в эту формулу плотность ВВ -  $\rho$  и выразим с её помощью давление детонации:

$$P(\rho) = D^2 \frac{\rho_0(P - P_0)}{\rho} \quad (1).$$

В этой формуле  $D$  - скорость детонации известна из опыта, функция от начальной плотности  $\rho_0 D = D(\rho_0)$ . Если считать что  $D$  прямо пропорциональна  $\rho_0$ , то  $D = A\rho_0$ . Кроме искомого давления  $P$  в формуле (1) входит неизвестная величина  $\rho$  - плотность продуктов детонации ВВ. Сделаем простейшее предположение о том, что  $\rho$  пропорционально  $\rho_0$ :  $\rho = h\rho_0$ , где  $h$  - коэффициент  $>1$ , так как во фронте ВВ вещество сжимается. Подставляем  $D$  и  $\rho$  в формулу (1)

$$P(\rho) = \rho(h\rho_0) = A^2 \frac{2h-1}{h} \rho_0^3 = A^2 \frac{h-1}{h-4} \rho^3 \quad (2),$$

Или

$$P = B\rho^3,$$

Где

$$B = A^2 \frac{h-1}{h^4}.$$

Давление продуктов детонации ВВ пропорционально кубу плотности пород детонации. Константу  $h$  найдем, предполагая, что условие в точке касания прямой Михельсона и детонационной адиабаты выполняется и для конденсированных ВВ:  $D=U+C$ . Если  $P=B\rho^3$  то запишем

$$D^2 = \frac{P\rho}{\rho_0(\rho - \rho_0)} = B = \frac{\rho^4}{\rho_0(\rho - \rho_0)}$$

Найдем то значение  $\rho$  при котором скорость детонации  $D$  минимальна. Для этого вычислим:

$$\frac{d(D^2)}{d\rho} = \frac{B}{\rho_0(\rho - \rho_0)} [4\rho^3(\rho - \rho_0) - \rho^4] = \frac{B\rho^3(3\rho - 4\rho_0)}{\rho_0(\rho - \rho_0)} = 0$$

откуда следует

$$\rho = \frac{4}{3}\rho_0; h = \frac{4}{3}P(\rho) = \frac{1}{4}\rho_0 D^2 U = D \frac{\rho - \rho_0}{\rho} = \frac{1}{4}D.$$

$$D^2 = 2Q_0(n^2 - 1).$$

Л.Д. Ландау и К.П. Станюкович выдвинули гипотезу, что свободная энергия продуктов детонации зависит от частоты колебания их молекул и предложили уравнение состояния продуктов детонации вида  $PV^n = const$ , где  $n$  – показатель изоэнтропы вещества. На основании классической теории детонации используя уравнение  $PV^n = const$  можно записать:

$$V_n = nV_0(n+1); P_h V_0 = DU; U = \frac{D}{n} + 1; C = \frac{nD}{n+1}$$

Учитывая что,  $V = \frac{1}{\rho}$ , а  $V_0 = \frac{1}{\rho_0}$ , то используя выводы Я.Б. Зельдовича и Л.Д. Ландау

можно в результате сравнения установить, что  $n = 3$ . Таким образом если известна скорость детонаций и показатель  $n$ , то для ВВ можно определить все без исключения параметры его детонации.

### ТЕМА 3. Взрывные реакции. Кислородный баланс.

**Лекция 3. Уравнение состояния продуктов взрыва ВВ. Расчет состава продуктов взрыва ВВ и ее энергетических показателей: теплота, давление, температура взрыва.**

#### ***Уравнение состояния продуктов взрыва ВВ.***

При высоких давлениях и температурах, имеющих место при взрыве ВВ, закон идеальных газов не применим. В связи с этим для расчета давлений, развиваемых продуктами взрыва конденсированных ВВ необходимо принять новое уравнение состояния. Теоретическое давление взрыва ВВ определяется как величина статического давления, устанавливающаяся после того, как продукты взрыва достигнут теплового и химического равновесия в объеме первоначально занятым ВВ. Впервые для этих целей использовали уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$P = \frac{P_0 V_0 t}{[V - a]T_0},$$

где  $P_0$  – нормальное атмосферное давление,

$V_0$  – объем газов взрыва 1 кг ВВ при нормальных условиях,  $\text{дм}^3$ ,

$t$  – температура взрыва, К

$V$  – объем зарядной камеры, в которой размещено ВВ,  $\text{дм}^3$ ,

$T_0$  –  $273^\circ\text{К}$ ,

$a$  – коэффциент газов взрыва, представляет собой постоянную, пропорциональную собственному объему молекул продуктов взрыва.

По Ван-дер-Ваальсу коэффциент равен учетверенному объему самих молекул продуктов взрыва. По Мальяру и Ле-Шателье коэффциент можно считать равным примерно  $0,001V_0$ . Выразим объем зарядной камеры -  $V$  в которой находится ВВ через плотность заряжения:

$$\Delta_3 = \frac{1}{V} \cdot$$
$$P = \frac{P_0 V_0 T_{\text{взр}} \Delta_{\text{зар}}}{(1 - (a + \beta) \Delta_{\text{зар}}) 273}$$

Плотность заряжения для небронированных ВВ может быть вычислена по формуле:

$$\Delta_{\text{зар}} = \left( \frac{d_n}{d_{\text{ш}}} \right)^2 * \Delta_{\text{ВВ}}$$

### **Определение теплоты взрыва**

Теоретически теплота взрыва определяется на основании закона Г.И.Гесса. В применении к реакции взрыва этот закон можно сформулировать так: количество теплоты, выделяющейся при взрыве, равно суммарной теплоте образования продуктов взрыва за вычетом теплоты образования самого ВВ, т. е.

$$Q_T = q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots - Q_{\text{II}}$$

где  $Q_T$  — теплота взрыва 1 кмоля ВВ, ккал или кДж;

$q_1, q_2$  и т. д. — теплота образования для различных продуктов взрыва, ккал/моль или кДж/моль;

$n_1, n_2$  и т. д. — число киломолей продуктов взрыва;

$Q_{\text{II}}$  — теплота образования 1 моля ВВ, ккал или кДж.

Теплота взрыва 1 кг ВВ определится по формуле

$$Q_T' = \frac{Q_T}{M_{\text{ВВ}}}$$

### **Определение температуры взрыва**

Температура взрыва может быть вычислена по формуле

$$t^1 = \frac{Q_V}{\sum n C_V}$$

где  $C_V$  — мольная теплоемкость газов взрыва, ккал/(кмоль $^\circ\text{С}$ ).

Мольная теплоемкость  $C_V$  для газов в момент взрыва, т.е. до их расширения, берется при постоянном объеме. Для реальных газов  $C_V$  — величина переменная, зависящая от температуры, и различная для разных газов.

Мальяр и Ле-Шателье предложили для определения следующее уравнение:

$$C_V = C' + \Delta C' t$$

где  $C'$  — мольная теплоемкость при  $0^\circ\text{С}$  ( $273\text{ К}$ );

$\Delta C$  — приращение величины мольной теплоемкости при повышении температуры на 1 градус, ккал/кмоль $^\circ\text{С}$ .

Подставив указанное значение  $C_V$  в формулу температуры взрыва, получим

$$t = \frac{Q_V}{\sum n(C' + \Delta C' t)} \text{ или } \sum n \Delta C' t^2 + \sum n C' - Q_V = 0$$

Откуда



$$t = \frac{\sum nC' + \sqrt{(\sum nC')^2 + 4 \sum nC' Q_v}}{2 \sum n \Delta C'}$$

### Объем газов

Теоретически количество газов взрыва определяют на основании закона Авогадро, считая, что газы взрыва, приведенные к нормальным условиям имеют одинаковый молекулярный объем 22,4 м<sup>3</sup>/кмоль.

Объем газов при взрыве единицы массы ВВ

$$V = 22,4 \Sigma n$$

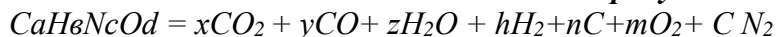
на 1 кг  $V_0 = V$ , где  $\Sigma n$  – суммарное количество г\*молей всех газов взрыва, рассчитываемое по уравнению взрывного превращения ВВ.

Если требуется определить удельный объем для других температурных условий, то пользуются уравнением Гей-Люссака:

$$V_t = V_0 \frac{T}{T_0}$$

## Лекция 4. Взрывные реакции. Кислородный баланс. Ядовитые газы взрыва.

### Расчет состава продуктов взрыва ВВ.



- 1) если  $d \geq 2a + b/2$ , то образуются  $CO_2, H_2O, O_2$
- 2) если  $2a + b/2 > a + b/2$ , то образуются  $CO, CO_2, H_2O, H_2$
- 3) если  $d < a + b/2$ , то образуется  $C$ .

### Кислородный баланс и ядовитые газы взрыва

Чем больше отклоняется кислородный баланс от нулевого значения, тем меньше потенциальная энергия ВВ по сравнению с тем уровнем ее, который был бы при нулевом кислородном балансе, и тем больше выделяется ядовитых газов. При избытке кислорода выделяется некоторое количество окиси азота, а при недостатке кислорода выделяется окись углерода.

При изготовлении промышленных ВВ их состав подбирают так, чтобы получать ВВ с нулевым или с небольшим положительным кислородным балансом, чтобы при горении бумажной парафинированной гильзы патрона не получалось окиси углерода. Массу гильзы ограничивают: на 100г ВВ масса бумажной обертки должна быть не более 3г парафина — не более 2,5г.

ВВ с небольшим положительным или с нулевым кислородным балансом теоретически не должны давать ядовитых газов. Однако практически ядовитые газы при взрыве таких ВВ образуются вследствие диссоциации  $CO_2$ , или неполного взрыва (из-за недоброкачества детонатора и ВВ и по другим причинам), либо вследствие вторичных реакций, при которых неостывшие газы взрыва взаимодействуют с минеральной пылью шпура. Диссоциация углекислоты ( $2CO_2 \leftrightarrow 2CO + O_2$ ) происходит при высоких температурах взрыва. Высокое давление, напротив, препятствует диссоциации. При температурах, не превышающих 2800К, диссоциация  $CO_2$  незначительна.

Для подземных работ допускаются ВВ с нулевым или с небольшим положительным кислородным балансом. Кислородный баланс ВВ определяется по уравнению

$$B_{\kappa} = \frac{(N_{\kappa} - N'_{\kappa})}{M_{ВВ}} 100\%$$

$N_{\kappa}$  - количество атомов кислорода в молекуле ВВ,

$N'_k$  - количество атомов кислорода, необходимого для полного окисления углерода и водорода,

$M_{ВВ}$  - молекулярная масса ВВ, кг\моль.

*Газовость ВВ* - характеристика которая определяет токсичность его продуктов взрыва, вследствие образования в них ядовитых и вредных для человека газов.

#### **ТЕМА 4. Взрывчатые вещества.**

### ***Лекция 5. Взрыво-технические показатели ВВ и их зависимость от параметров показателей. Методы определения взрыво-технических показателей.***

Выбор ВВ для практического применения осуществляется на основании анализа его взрыво-технических показателей. Взрыво-технические показатели ВВ определяют его детонационные свойства (*критический диаметр детонации, восприимчивость к детонации, скорость детонации, водоустойчивость*), *работоспособность (фугасность), бризантность (дробящее действие), безопасность в обращении (чувствительность к удару, трению, статическому электричеству, нагреванию, химическую стойкость)*.

Показатели ВВ характеризующие его детонационные свойства и безопасность применения.

*Критический диаметр детонации* - наименьший диаметр заряда, при котором еще возможна, в данных условиях, устойчивая детонация. Определение осуществляется двумя методами:

- a. путем взрыва конического заряда;
- b. взрывание телескопического заряда, то есть заряда, состоящего из цилиндрических зарядов разных диаметров при условии их непрерывности.

*Чувствительность ВВ* к инициирующему действию взрыва другого ВВ называют восприимчивостью к детонации. Характеризуется предельным инициирующим зарядом, то есть, минимальным зарядом инициирующего ВВ, который необходим для возбуждения детонации ВВ. Зависит от площади контакта инициирующего взрывчатого вещества с ВВ и массы инициирующего ВВ.

*Скорость детонации ВВ* - представляет собой скорость детонационной волны распространяющейся по заряду.

1. Регистрация процесса детонации с помощью фоторегистра на фотопленку.
2. Метод Дотриша.
3. Метод ионизационных датчиков.

Передача детонации - способность одного детонационного заряда передавать детонацию через инертный промежуток в другом заряде.

*Водоустойчивость* - способность ВВ в течение необходимого времени противостоять проникновению в заряд воды и устойчиво детонировать в этих условиях.

*Работоспособность* определяет способность ВВ производить общую работу. В идеальном случае она равна механическому эквиваленту теплоты взрыва. Зависти от объема, состава продуктов взрыва и конечных параметров состояния продуктов взрыва (степени расширения) к моменту завершения работы взрыва. Работоспособность ВВ определяется двумя формами работы. *Фугасная* - это способность образования полости в грунте и его выброса с образованием воронки выброса. *Дробящая* способность определяется *бризантностью*.

1. Метод определения фугасности ВВ в свинцовой бомбе.
2. Метод определения работы взрыва на баллистическом маятнике.

**Бризантность.** Проба Гесса. Импульс взрыва.

Безопасность в обращении с ВВ характеризуют методы оценки чувствительности ВВ к тепловым и механическим воздействиям.

Способность ВВ взрываться под воздействием тех или иных внешних воздействий названа чувствительностью.

Чувствительность ВВ определяет область применения ВМ, условия и режим его производства. Чувствительность ВВ характеризуется тем или иным начальным импульсом. В качестве начального импульса могут быть использованы механическая, тепловая, лучистая энергия, а так же энергия других ВВ в том числе инициирующих.

Чувствительность к трению определяют при помощи фрикционного маятника, который состоит из наковальни с испытуемым ВВ и маятника с укрепленным на его конце башмаком. Чувствительность ВВ к разбуриванию.

Чувствительность ВВ к механическим воздействиям определяют на ударных копрах. Определяют высоту сбрасывания груза при которой ВВ в специальном приборчике не взрывается под действием падающего груза массой  $m = 2\text{ кг}$ , или частоту взрывов в стандартном приборчике при массе груза  $m = 10\text{ кг}$  и высоте  $h = 250\text{ мм}$ .

Взрывотехнические показатели ВВ зависят в основном от теплоты взрыва ВМ и его детонационной способности: величины критического диаметра и скорости детонации.

## ***Лекция 6. Общая характеристика ВВ. Их классификация по условиям применения и требованиям безопасности при ведении взрывных работ. Промышленные взрывчатые вещества и средства инициирования.***

### ***Требования к промышленным взрывчатым веществам***

Для ведения взрывных работ в горной промышленности применяются различные промышленные взрывчатые вещества, на которые имеются государственные стандарты или утвержденные в установленном порядке технические условия.

Промышленные ВВ должны обладать пониженной чувствительностью к внешним воздействиям, быть безопасными в обращении, при транспортировании и хранении, иметь относительную невысокую стоимость. Они не должны оказывать вредного влияния на организм человека как при их изготовлении, так и в процессе применения. Вместе с тем промышленные ВВ должны обладать достаточной мощностью, безотказно детонировать от современных средств взрывания, обеспечивать устойчивую детонацию по всей массе ВВ, сохранять свои свойства в течение длительного нахождения в зарядных емкостях.

Промышленные ВВ должны быть пригодными к механизированному заряданию 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 необходимый уровень предохранительных свойств.

### ***Средства и способы взрывания***

Взрывание зарядов может быть огневое, электрическое, электроогневое и безкапсюльное — взрывание детонирующим шнуром. При первых двух способах взрывание, или инициирование зарядов, производят с помощью капсюля-детонатора. Капсюль-детонатор взрывают огнем способом с помощью огнепроводного шнура (огневое взрывание) или электрическим — с помощью электровоспламенителя, закрепленного в капсюле-детонаторе (электрическое взрывание). Последний способ наиболее распространен в угольных шахтах.

Промежуточное положение между огнем и электрическим способом, но ближе к первому, занимает электроогневой способ взрывания, имеющий весьма небольшое применение. Взрывание с помощью детонирующего шнура (ДШ) применяют довольно широко.

Все промышленные ВВ разделены на семь классов по условиям их применения. Классификация приводится в правилах безопасности при взрывных работах в шахтах.

*Промышленное взрывчатое вещество - ВВ*, предназначенное для взрывных работ в народном хозяйстве.

*Предохранительное взрывчатое вещество* - промышленное ВВ, обладающее пониженной способностью к воспламенению взрывоопасной среды и к поджигаемости, которая обеспечивает заряду устойчивость против выгорания, применяемое в шахтах, опасных по газу или пыли.

*Непредохранительное взрывчатое вещество* - промышленное ВВ, применяемое в местах ведения работ, не опасных по взрыву газа или пыли.

*Водоустойчивое взрывчатое вещество* - промышленное ВВ, сохраняющее способность к полной детонации после выдержки в воде в течении установленного времени.

*Нитроэфиросодержащее взрывчатое вещество* - промышленное ВВ, одним из компонентов которого являются жидкие нитроэфиры.

*Водосодержащее взрывчатое вещество* - промышленное ВВ, содержащее воду или водные растворы окислителя и горючего.

*Перхлоратное (хлоратное) взрывчатое вещество* - промышленное ВВ, одним из которых являются перхлоратные (хлоратные) соли.

*Детонит* - непредохранительное нитроэфиросодержащее ВВ, массовая доля нитроэфиров в котором не более 15%.

*Динамит* - непредохранительное нитроэфиросодержащее ВВ, массовая доля нитроэфиров в котором более 15%.

*Угленит* - предохранительное нитроэфиросодержащее ВВ, в состав которого входят пламегаситель, окислитель и горючее.

*Акватол* - водосодержащее ВВ, в состав которого входит гранулированный или чешуирующий тротил.

*Акванит* - водосодержащее ВВ, в состав которого входит дисперсионное нитросоединение.

*Акванал* - водосодержащее ВВ, в состав которого входит дисперсионный алюминий.

*Аммонит* - порошкообразное промышленное ВВ, основными компонентами которого являются аммиачная селитра и тротил.

*Аммонал* - порошкообразное промышленное ВВ, основными компонентами которого являются аммиачная селитра, нитросоединения и дисперсионный алюминий.

*Грамонит* - промышленное ВВ, представляющее смесь гранулированной аммиачной селитры с гранулированным или чешуирующим тротилом или представляющее собой гранулированный аммонит.

*Граммонал* - промышленной ВВ, представляющее собой гранулированный аммонал.

*Гранулит* - гранулированное промышленное ВВ, основными компонентами которого являются гранулированная аммиачная селитра и горючие взрывчатые материалы.

Внутренний диаметр капсулей - детонаторов всех типов 6,3-6,5мм, высота капсулей-детонаторов № 8А 47± 1,5мм, остальных 49 ± 2мм. Огнепроводный шнур ОША - асфальтированный, ОШП - огнепроводный пластиковый, ОШДА - двойной асфальтированный Ø 5-6мм  $l_{ш} = 10 \pm 0,15$ м. Зажигательная трубка ОШ + патрон + КД.

Детонирующий шнур ДША, ДШВ, ДШЭ (12г ТЭН) ДШВ - 14 г/м, ДШЭ - 12 г КЗДШ- 69- реле для короткозамедленного взрывания ДШ.

Н1-10 мс 2-20; 3-35; 4-50.0: 5-75; 6-100; 7-125; 8-150; 9-175; 10-200 мс.

Нонель неэлектрическая система взрывания.

## ***Лекция 7. Промышленные ВВ. Средства их инициирования при производстве взрывных работ на открытой поверхности и в подземных условиях. Особенности производства взрывных работ в шахтах опасных по выбросу газа и пыли, а также по внезапным выбросам***

Главной особенностью проведения взрывных работ в условиях угольных шахт является то, что рудничная атмосфера горных выработок может быть взрывоопасной. Взрывоопасность атмосферы в горной выработке обусловлена тем, что она содержит горючие газы или угольную пыль, которые легко вступают в реакцию окисления с кислородом воздуха. Протекание реакций окисления горючих газов или угольной пыли с воздухом является взрывным детонационным процессом. Главной составляющей частью горючих газов, выделяющихся в атмосферу горных выработок, является метан. Он находится в призабойном пространстве выработки в свободном виде, заполняет поры и трещины в угольном пласте и боковых породах, кроме того, большая его часть находится в угле в адсорбированном состоянии. При добыче угля подземным способом метан выделяется из открытой поверхности угольных пластов и боковых пород, а также из разрушенного угля. Различают три вида выделения газа из угольного массива. Постоянное – относительно равномерное выделение из невидимых на глаз пор и трещин в угле и боковых породах; суфлярное – выделение из трещин и пустот в угольном массиве в течение определенного ограниченного отрезка времени; внезапное – неуправляемая дегазация угольного пласта, сопровождающаяся выбросом большого объема газа, угля и породы.

При взрывном разрушении угля интенсивность газовыделения из отбитого угля очень велика вследствие скоротечности взрыва. За короткий период времени разрушается и отделяется от массива пласта несколько десятков тонн угля, который начинает быстро дегазироваться. За счет образованной практически мгновенно большой открытой поверхности отбитого взрывом угля в первый момент времени газовыделение превышает приток в выработку воздуха, который обеспечивается вентиляцией. Поэтому концентрация метана в призабойной зоне выработки, где происходит смешение, растет и достигает такого значения, при котором МВС может взрываться (нижний предел концентрации  $\text{CH}_4$  ~ 5%, верхний ~ 15%). Таким образом, каждый цикл при взрывном разрушении угольного массива потенциально связан с вероятностью образования в выработке взрывоопасных концентрация МВС. Необходимо также отметить, что взрывоопасная МВС может быть в забое выработки и до момента проведения взрывных работ в результате нарушения её вентиляции и образования в её куполах слоевых и местных скоплений метана, обусловленных наличием трещин в горных породах и законтурном пространстве выработки.

Условия воспламенения взрывоопасной среды зарядами ПВВ при взрывных работах прямо или косвенно связаны с проявлением «опасной ситуации». Опасная ситуация в забое горной выработки характеризуется наличием в призабойной части выработки взрывоопасной среды и источника, способного с помощью проявления тех или иных факторов вызывать её воспламенение.

Аварийные ситуации возникают при выгорании шпуровых зарядов и в результате взаимодействия продуктов взрыва детонирующих зарядов ПВВ с взрывоопасной средой. К выгоранию шпуровых зарядов могут привести следующие опасные ситуации:

- образование разрывов между патронами ВВ в шпуровом заряде вследствие неправильного их заряжания или раздвижки патронов при групповом замедленном взрывании;
- попадание буровой мелочи в промежутки между патронами ВВ шпурового заряда;
- переуплотнение ВВ в шпуровом заряде при групповом замедленном взрывании;

- наличие зазора между боковой поверхностью заряда ВВ и стенками шпура;
- увлажнение ВВ в заряде под действием воды, находящейся в шпуре;
- слеживание ВВ, снижение его детонационной способности;
- высокая поджигаемость ВВ и способность заряда устойчиво гореть в зарядной камере шпура.

- низкая инициирующая способность средств взрывания или неправильное зарядение патронов- боевиков.

При детонации заряда ВВ к опасным ситуациям приводят следующие случаи:

- торцевое обнажение заряда ВВ в шпуре вследствие отсутствия внутренней забойки;

- обнажение боковой поверхности шпурового заряда ВВ при групповом замедленном или неправильном многоприемном взрывании;

- пересечение шпура трещинами, соединяющимися с выработанным пространством и контактирующими с боковой поверхностью заряда ВВ.

В угольных шахтах применяют способ короткозамедленного взрывания шпуровых зарядов ПВВ. Этот способ ведения взрывных работ имеет ряд преимуществ перед способами мгновенного и многоприемного взрываний как по эффективности, так и по безопасности. Вместе с тем, способ короткозамедленного взрывания обладает рядом особенностей, которые в некоторых случаях могут привести к возникновению опасных ситуаций. Во-первых, при взрыве зарядов ПВВ, расположенных по врубовым шпурам, взрывание которых происходит в первую очередь, в призабойное пространство выбрасывается разрушенный уголь, из которого интенсивно выделяется метан. Исследователями установлено, что увеличение концентрации метана, которое происходит в период от 200 до 400 мс незначительное. Однако в последующие периоды времени, особенно на пластах, опасных по внезапным выбросам, концентрация метана быстро растет и образовавшаяся газо-пылевоздушная смесь становится взрывчатой. Тогда продукты взрывающихся в шпурах зарядов ПВВ последующих ступеней замедления будут выбрасываться в призабойное пространство, заполненное взрывчатой метано-пылевоздушной смесью, и могут ее воспламенить. Во – вторых, в самом способе заложено неодновременное взрывание шпуровых зарядов ПВВ. Это создает условия, когда действие взрыва зарядов ПВВ, взорванных в первую очередь, передается на заряды расположенные в шпурах, взрываемых в последующих ступенях замедления. При этом может происходить деформация стенок шпуров и передача давления невзорвавшимся еще зарядам ВВ, что приводит к их динамическому уплотнению и нарушению сплошности. В целом, суммарное действие ударной волны, штыба, отклонившегося от стенок шпура, давления продуктов взрыва и деформированных пород массива на заряды ПВВ, расположенные в смежных шпурах, приводит к их динамическому уплотнению. В результате плотность ВВ в заряде значительно увеличивается и превышает первоначальную (1,6-1,7 кг/ дм<sup>3</sup> по сравнению с 1,05-1,1 кг /дм<sup>3</sup>). Под влиянием этих факторов и нарушения сплошности шпурового заряда происходит снижение устойчивости детонации ВВ до полной её потери, вследствие чего происходит неполная детонация шпурового заряда и появляется опасность выгорания его отказавшей части. В-третьих, неодновременное взрывание создает условия для частичного обнажения шпуровых зарядов ПВВ, взрываемых в группах с замедлением. Вероятность обнажения заряда ПВВ намного повышается в трещиноватом горном массиве и при ведении взрывных работ в верхних и нижних подрывках горных выработок. Кроме того, существует еще, по крайней мере, три обстоятельства характерных для короткозамедленного взрывания, при которых могут возникнуть опасные ситуации:

- в результате взрыва первоочередных шпуровых зарядов скалываются устья у смежных с ними шпуров и происходит торцевое обнажение зарядов ПВВ, которые взрываются без забойки;

- взрывание в открытом виде заряда ПВВ, находящегося в полости заполненной взрывоопасной средой, образованной отходом при взрывных работах;
- взрывание шпуровых зарядов ПВВ при наличии пересекающих шпуров трещин, образованных взрывом зарядов предыдущей серии замедления.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение, что условия воспламенения МВС или ПВС в результате действия на неё детонирующих и выгорающих зарядов ПВВ характеризуется:

- наличием в угольных шахтах газа метана и взрывчатой пыли, которые при проведении взрывных работ образуют взрывоопасные смеси (с концентрацией метана в них 5-15%), способные при сложившейся опасной ситуации под действием неблагоприятных факторов взрыва воспламениться. Воспламенение этих смесей происходит если температура источника выше температуры вспышки (МВС  $T_{всп} \approx 650$  °С, а ПВС  $T_{всп} \approx 700-800$  °С) смеси, время его действия на эту смесь больше времени индукции- скрытого периода развития химической реакции окисления.

- наличием и проявлением сложных горно-геологических факторов горного массива, таких как геологические нарушения, горное давление, напряженное состояние угля на выбросоопасных пластах, тещины, появление которых на момент проведения взрывных работ трудно прогнозировать и влияние которых на возникновение опасных ситуаций невозможно полностью исключить;

- технологией взрывных работ с применением патронированных ВВ, в том числе использованием способа короткозамедленного взрывания шпуровых зарядов ПВВ. Нарушение технологии приводит к возникновению опасных ситуаций, которые связаны с одновременным взрыванием шпуровых зарядов ВВ, многопатронным зарядением шпуров, применением забойки и дополнительных средств взрывозащиты (взрывное распыление воды и ингибиторов для создания предохранительной среды) горных выработок;

- зависимостью взрывоопасности от проявления человеческого фактора, так как влияние профессионализма людей, занятых в проведении взрывных работ в угольных шахтах, на соблюдение требований безопасности и технологии применения средств и способов взрывозащиты очень велико.

Учитывая многообразие факторов, влияющих на возникновение опасных ситуаций при взрывных работах, трудности их учета и управления условиями, которые влияют на взрывобезопасность в горных выработках при проведении взрывных работ, необходимо для обеспечения безопасности применение только ПВВ и предохранительных средств взрывания.

## **Лекция 8. Технические требования к предохранительным ВВ. Классификация предохранительных ВВ. Условия допуска предохранительных ВВ и средств инициирования к применению в угольных шахтах.**

### ***Технологические требования к ВВ для шахт опасных по газу и пыли.***

Их отличие от обычных ВВ в том, что их предохранительные свойства и устойчивость против выгорания шпуровых зарядов, обеспечивают безопасность применения в опасных условиях угольных шахт. Все предохранительные ВВ должны соответствовать стандартам ТТ.

**Технические требования к ПВВ для угольных шахт.**

показатели	значение показателей для классов ВВ			
	III	IV	V	VI
Предохранительные свойства по газу: предельный (5%-ный) заряд в канальной мортире без забойки при инициировании, г: - прямом - обратном предельный (50%-ный) заряд в угловой мортире с отражательной стенкой на расстоянии 0,6м,г	- (175) - -	- (300) - -	1000 600 100*(140*)	1000 1000 600 (850)*
Предохранительные свойства по пыли: предельный заряд в канальной мортире без забойки при инициировании, г: - прямом - обратном предельный заряд в угловой мортире с отражательной стенкой на расстоянии 0,6м,г	- - -	700 - -	1000 600 400	1000 1000 600
Устойчивость детонации при уплотнении: критическое относительное расстояние в углицементных блоках критическое расстояние между шпурами в шахтных условиях, см	устойчивая детонация при относительных расстояниях устойчивая детонация между шпурами		6,9 16	6,4 12
Работоспособность: по Трауцлю, не менее, см <sup>3</sup> относительный показатель практической эффективности (эталон угленил Э-6), не менее	320 -	265 -	не нормируется 1,03                      0,8	
Предельное (50%-ное) расстояние передачи детонации сухих патронов, см: через воздушный промежуток через угольную таблетку	5 -	5 -	5 (7)* 1,5 (2,1)*	4 (5,5)* 2 (2,8)
Предельное (50%-ное) расстояние передачи детонации через воздушный промежуток после замочки патронов в воде, см.	3	3	3 (4,2)*	2 (2,8)*
Поджигаемость (П 50), г	1,2	1,2	1,2	1,2

\* Норма временно факультативна.

Условия допуска ПВВ в шахты определяются проведением следующих испытаний:

1. **Контрольные** – испытание на соответствие ПВВ техническим требованиям (проводятся в контролирующей организации- МАКНИИ).
2. **Предварительные** испытания – проводятся по программе и методике утвержденной и согласованной с органами надзора по разрешению Госгортехнадзора Украины. Объем не менее 5т ВВ. В случае положительных результатов проводятся приемочные испытания.
3. **Приемочные** испытания – так же проводятся согласованной программой-методике с разрешения Госгортехнадзора Украины. Объем испытаний 50 т ВВ.



Если все три вида испытаний дали положительный результат, то Госгортехнадзор Украины журнальным постановлением допускает новое ВВ к постоянному применению.

***Лекция 9. Основы теории предохранительных ВВ. Принципы их создания. Предотвращение воспламенения метана от выгорающего заряда. Методы определения предохранительных свойств ВВ.***

Основы теории предохранительных ВВ построены на теоретической оценке механизма воспламенения МВС различными факторами взрыва заряда ВВ, опытных данных экспериментальных испытаний, на изучении взрывчатости смесей метана с воздухом под действием взрыва ВВ. Существует несколько гипотез воспламенения МВС взрывом заряда ВВ, которые позволили сформировать современные принципы построения ПАВ и теоретическое обоснование их предохранительных средств

1. «Термическая» теория механизма воспламенения МВС Маляра и Ле-Шателье. Они экспериментально установили, что самовоспламенение МВС происходит с некоторой задержкой (времен индукции реакции) при действии на нее источника с высокой температурой. Наименьшая температура, при которой происходит самовоспламенение МВС, равна  $650^{\circ}\text{C}$  и задержка при этом составляет около 98сек. С повышением температуры до  $1000^{\circ}\text{C}$  время задержки уменьшается до 1 сек. При  $2200^{\circ}\text{C}$  время задержки воспламенения МВС становится неувовимо малым. Поэтому они сделали вывод, что если продукты взрыва ПВВ имеют температуру больше  $2200^{\circ}\text{C}$ , то эти ВВ могут воспламенять МВС. По расчетам температура продуктов взрыва черного пороха и динамита оказалась  $3000^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, они опасные по отношению к МВС. Этот результат полностью совпадал с практикой применения этих ВВ в угольных шахтах. Поэтому Маляр и Ле-Шателье предложили снижать температуру продуктов взрыва ВВ до безопасных пределов. Безопасные температуры продуктов взрыва ВВ они определили, взрывая заряды динамита в свинцовых и оловянных оболочках МВС. Определяя работу взрыва ВВ необходимую для разрушения оболочки, они установили, что если после разрушения оболочки температура продуктов взрыва будет  $1900^{\circ}\text{C}$  и ниже, то заряд динамита с такой оболочкой не воспламенит МВС. В сделанном ими отчете на заседании антигризутной комиссии было предложено для ПАВ применяющихся в угольных шахтах снизить температуру продуктов до  $1900^{\circ}\text{C}$ . В дальнейшем выводы антигризутной комиссии рекомендовали снизить температуру продуктов взрыва ПАВ для взрывания на породе до  $1900^{\circ}\text{C}$ , а по углю до  $1500^{\circ}\text{C}$ .

Снижение температуры продуктов взрыва динамита может быть достигнуто за счет ввода в его состав инертных солей — охлаждающих продуктов взрыва с помощью эндотермических реакций. В Англии Нобелем были предложены ПАВ на основе аммиачной селитры – экстрадинамики. Во Франции - состав Фавье - смесь  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и нитро- и динитронафталина. В Германии – веттердинамита, смеси динамита с инертными солями - кристаллогидратами  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 10\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{MgSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$  и т.д. Однако практическая безопасность этих ПАВ в угольных шахтах оказалась недостаточной.

2. «Тепловая» теория Одибера. Он считал, что разогрев МВС происходит путем ее смешивание с газами взрыва. По мере смешивания образуются тройные смеси ПВ - метан-воздух. Если в процессе смешивания будут выполняться два условия: содержание  $\text{CH}_4$  находится в пределах взрывчатости (5-15%), температура при этом будет выше  $650^{\circ}\text{C}$ , то смесь воспламеняется. Одибер показал, что для такой смеси критическим теплосодержанием является величина.

$$h = C_v 650^{\circ}\text{C} = 21,5\text{ккал/моль.}$$

Далее он сформулировал условие безопасности взрыва ВВ: для того, чтобы произошло воспламенение МВС, необходимо, чтобы теплосодержание ПВ ВВ- $q$  было больше или равно 21,5ккал/моль. В дальнейших исследованиях Одибер установил, что на этот показатель влияет состав продуктов взрыва ВВ.

В целом теория Одибера является, продолжением теории Маляра и Ле-Шателье и на практике также полностью не оправдала себя.

3. Теория дефлагирующихся частиц Бенлинга. Он установил, что при взрыве ВВ в шнуре без запайки вместе с газами вылетает некоторое количество не разложившихся частиц ВВ, которые в дальнейшем в воздухе начинают выгорать-деформировать. В связи с этим он предложил гипотезу, что решающим фактором, определяющим воспламенение МВС при взрыве в ней горящих частиц ВВ. Он экспериментально доказал, что небольшие по массе частицы горящего ВВ могут взрывать воспламенение МВС. Вместе с тем, для быстролетающих частиц Бейлингу не удалось вызвать воспламенение МВС при взрыве заряда ВВ - воспламенялись только смеси с чистым кислородом. Однако этот экспериментальный факт об опасности горячих частиц ВВ признан всеми и впоследствии доказан и другими учеными. Оказались опасными не только частицы, но и отказавшие выгоревшие заряды ВВ.

4. Теория ударной волны рассматривается, как фактор воспламенения МВС - Тейлор, Мендеки, Кучиб, Вайншейн. После второй мировой войны в Англии Д.Тейлор анализирует результаты испытаний ВВ в МВС и сравнивает их с параметрами, испытанных ПАВ. В результате этого анализа он устанавливает, что предохранительные свойства ВВ при взрывании в канале мортиры зависят от удельной теплоты взрыва ВВ и его плотности зараженности, а у открытых -свободно подвешенных в МВС от скорости детонации заряда ВВ. Поэтому он делает вывод, что наиболее опасным фактором взрыва является ударная волна, которая образуется в МВС. Оказалось, что чем выше скорость детонации ВВ и его давление детонации, тем выше параметры ударной волны в газовой среде и тем легче воспламеняется МВС. В связи с этим необходимо снижать скорость детонации ПАВ, до таких значений, при которых параметры ударной волны не способны вызывать воспламенение МВС. Это можно достичь, если разбавлять ВВ инертными солями. Тейлор рекомендует вводить в состав ВВ 40-50% инертных солей для достижения скорости детонации до 2000-2200м/с.

5. Теория селективной (избирательной) детонаций предохранительных ВЦ. Введение в состав ПВВ большого количества инертных солей резко снизило их работоспособность. Поэтому в Германии Г.Арене предложил селективно-детонирующее ПВВ. Эти ПВВ содержали сенсibilизатор, активные ВВ и малоактивные энерговыделяющие соли, которые были не инертные. Принцип избирательного энерговыделения у этих ПВВ достигается за счет выбора такого соотношения между сенсibilизатором и солями, что у открытого заряда энергию выделял только сенсibilизатор, а у взрываемого заряда, в канале шнура, все компоненты состава ВВ. В дальнейшем для такого типа ПВВ была предложена пара солей на основе  $\text{NaNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ , которая получила название ионообменная. Ионообменные ПВВ имеют высокую работоспособность и предохранительные свойства.

6. Разработка устойчивых к выгоранию ПВВ. Учитывая опасность выгорания ВВ и диффлаграции его частиц были предпочтены специальные ВВ, которые содержали соли препятствующие горению ВВ. ПВВ с такими солями не выгорали и, следовательно, не воспламеняли МВС.

*Принципы построения ПВВ:*

- 1) ограничение теплоты и температуры взрыва,
- 2) выбор компонента состава обеспечивающих кислородный баланс  $K_b = 0$ ,

- 3) снижение скорости детонации ВВ до значений 2000-2200 м/с.,
- 4) обеспечение высокой устойчивости зарядам ПВВ против выгорания,
- 5) ввод в состав солей, которые являются ингибиторами реакции окисления  $\text{CH}_4$  кислородом и подавляющих горючесть ВВ.

*Методы определения предохранительных свойств ПВВ:*

предохранительные свойства ПВВ определяют в СПЕЦИАЛЬНОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ штреке путем натурального моделирования условий взрывания зарядов ПВВ в МВС. При этом моделируют наиболее опасные условия взрывания, которые могут возникнуть при взрывных работах.

Взрывание в канальной мортуре без забойки - моделирует торцовое обнажение заряда ПВВ, которое возникает при короткозамедленном взрывании при срезании забойки в шпурах от взрыва зарядов ВВ первой очереди.

Взрывание в угловой мортуре с отражательной стенкой моделирует взрывание ВВ при боковом обнажении заряда или, тогда шнуры пересекаются трещинами горного массива.

## **ТЕМА 5. Технология и производство взрывных работ.**

### ***Лекция 10. Виды взрывных работ. Средства взрывания зарядов промышленных ВВ и характеристика капсулей-детонаторов, детонирующего шнура.***

Разнообразие видов взрывных работ обусловлено использованием их на открытой поверхности (карьеры, строительство, мелиорация, сельское хозяйство, нефтяные скважины, тушение пожара) в подземных условиях (рудники и шахты), а так же подводное взрывание, взрывание в космосе определяет способы взрывания, а так же необходимые свойства ВВ и конструкцию средств инициирования. Процесс возбуждения детонации в заряде ВВ от воздействия внешнего импульса, обусловленного действием источника генерирующего этот импульс, называется **иницированием**. Средство, с помощью которого создается и передается начальный инициирующий импульс взрывчатому веществу для возбуждения в нем детонации, называется средством инициирования или средством взрывания.

**Способ взрывания** - совокупность технических средств в необходимой последовательности, которые обеспечивают в заданный момент времени нужное инициирование ВВ и безопасность проведения взрывных работ. Применяют следующие способы взрывания: огневой, электрический, электроогневой, безкапсюльный с помощью детонационного шнура и неэлектрической системы типа Нонель

**Основное взрывание** - это способ взрывания, когда детонатор взрывается от горящего огнепроводного шнура

**Электрическое взрывание** – капсуль-детонатор взрывается от горящего электровоспламенителя и источника электрического тока

**Электроогневое взрывание** – капсуль-детонатор взрывается от огнепроводного шнура, который подключен электровоспламенителем

**Безкапсюльное взрывание** – взрывчатое вещество взрывается от ДГТТ

Неэлектрическое Нонель – капсуль-детонатор взрывается от действия канальной ударной волны, распространяющейся по полой трубке

**Средства огневого взрывания** – капсуль-детонатор, огнепроводный шнур, средства зажигания огнепроводного шнура.

**Средства электрического взрывания** - электродетонатор, провода, источник тока, контрольно-измерительная аппаратура

**Средства безкапсюльного взрывания** - детонирующий шнур и средства огневого, электрического или электроэлектрического взрывания

**Средства неэлектрической системы взрывания** – капсюль-детонатор, волновой для ударной волны, средства огневого, электрического или электроэлектрического взрывания

В капсюль-детонаторе инициирующее ВВ вызывает взрыв вторичного, бризантного ВВ, который передается непосредственно заряду ВВ или промежуточному детонатору.(шашки из мощных бризантных ВВ).

Средства зажигания огнепроводного шнура. Согласно ЕПБ разрешается зажигать концы шнуров идущих к зарядам, тлеющим фитилем (стопин), отрезком ОШ с надрезами или специальным патроном для грунтового зажигания. Зажигательные патроны ЗП №1-7 от 7 до 30 отр ОШ.

Огневое взрывание запрещается, если в выработках затруднено перемещение персонала.

Огневое взрывание зарядов применяется на карьерах, рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли.

Зажигательной трубкой называют капсюль-детонатор, соединенный с отрезком ОШ. Длину отрезка ОШ устанавливают, исходя из следующих соображений: шнур должен выходить из шпура не менее чем на 15см, чтобы удобно было его поджигать; кроме того, шнур должен быть такой длины, чтобы длительность горения его обеспечила взрывнику возможность поджечь все шнуры в забое и уйти в место укрытия до момента взрыва первого заряда. Независимо от расчетов минимальная длина отрезка самого короткого шнура должна быть по требованию Единых правил безопасности не менее 1м.

Зажигательный патрон служит для одновременного поджигания нескольких зажигательных трубок. Он представляет собой открытую с одного конца гильзу длиной 5—10см и диаметром 2—4см (в зависимости от числа вводимых в патрон шнуров) из плотной парафинированной бумаги. На доньшке ее помещен тонкий слой (2—3мм) воспламенительной смеси (85% мелкозернистого пороха, 5% канифоли и 10% парафина), горящей ровным пламенем, без вспышек.

Патрон-боевик представляет собой патрон ВВ в который вставлена зажигательная трубка. Изготавливается на месте ведения ВВ на расстоянии 50м от места заряжания. При ведении взрывных работ на открытой поверхности и в случае зажигания более 5 зажигательных трубок для контроля времени затрачиваемых на зажигание, следует применять контрольную трубку. Преимущество: простота выполнения работ и низкая стоимость. Недостатки: опасность, невозможность контролировать время, нет контроля средств взрывания, образуется большое количество ядовитых газов.

Электроогневое взрывание применяется в вертикальных и наклонных выработках с углом более 30°, а так же в местах, где затруднен отход взрывников в безопасное место. Воспламенение отрезков ОШ проводится электровоспламенителем из безопасного места. Электрозажигатель ЭЗОП-Б, который прикрепляется к отрезку ОШ путем обжатия металла. Электрозажигательный патрон ЭЗОП-Б состоит из гильзы с зажигательным составом и электровоспламенителя. Зажигает путем отрезков ОШ от 7 до 37 штук.

**Инициирование детонирующим шнуром**

Взрывание с помощью детонирующего шнура в настоящее время широко применяется на открытых горных работах при короткозамедленном, реже — мгновенном взрывании зарядов. В отдельных случаях взрывание детонирующим шнуром применяется и на подземных горных работах. При этом способе взрывания передача детонации от заряда к заряду осуществляется с помощью детонирующего шнура, а для замедлений используют специальные устройства — пиротехнические реле типа КЗДШ.

Детонирующий шнур (ДШ) состоит из оболочки и сердцевины. Сердцевинной служит слабо спрессованное бризантное ВВ или смесь бризантного ВВ с иницирующим, навеска которого составляет 12—13 г на 1 м шнура.

#### ***Иницирование с применением промежуточного детонатора***

Промежуточные детонаторы применяются для иницирования ВВ, обладающих пониженной чувствительностью. Промежуточными детонаторами могут служить стандартные патроны аммонитов или же специально изготовленные шашки-детонаторы — заряды стандартных форм и размеров. Иницирующая способность шашек-детонаторов определяется их массой, составом и плотностью. Шашки-детонаторы в зависимости от конструкции иницируют от ДШ, КД и ЭД. Марку шашки-детонатора обычно обозначают буквами и числом. Буквы указывают наименование ВВ, а число — массу его. На отечественных горных предприятиях наибольшее распространение получили тротиловые литые и прессованные шашки-детонаторы. Обычно промежуточные детонаторы для взрывания ВВ различных типов состоят из одной - двух шашек. Последние взрываются с помощью детонирующего шнура, пропущенного через их осевые отверстия.

### **Лекция 11. Электродетонаторы и приборы электрического взрывания ВВ. Расчет электровзрывной сети.**

Электрическое взрывание зарядов ВВ осуществляется капсюль-детонатором с помощью электровоспламенителя, начальный импульс в котором создает электрический ток. Электровоспламенитель, в зависимости от конструкции, может быть: с мостиком накаливания, искровой, со взрывающимися мостиком, с пьезоэлементами.

#### ***Электрические средства иницирования и их параметры.***

Параметры электродетонатора подразделяются на энергетические, временные, функциональные. К энергетическим и временным относятся электрическое сопротивление, безопасный и воспламеняющийся ток, импульс и время срабатывания, безопасный и гарантийный ток при групповом взрывании. К функциональным - иницирующая способность, предохранительность по газу, водоустойчивость, стойкость к динамическим нагрузкам и чувствительность к удару.

***Безопасный ток  $J_g, A$***  - верхний предел постоянного тока, который проходя через ЭВ без ограничения времени не вызывает его срабатывания (0.18А).

***Гарантийный ток  $J_r, A$***  - нижний предел постоянного тока, который проходя по последовательным соединенным ЭД обеспечивает их взрыв с заданной вероятностью.

***Нормированный ток  $J_h, A$***  — величина постоянного тока предписанная ЕП5 для взрывания групп ЭД соответствующей чувствительности последовательных соединений до 100 ЭД  $J_h = 1A$ , от 100 до 300 - 1.3, а от конденсатора, сетевого аккумулятора. Сетевое с прямым выключением  $J_h = 2.5 A$ .

***Импульс воспламенения  $K_b, Aс$***  — величина импульса тока необходимая для взрыва ЭД.

***Безопасный импульс воспламенения*** - верхний предел импульса тока, при котором не взрывается ни один ЭД.

***Время воспламенения,  $t_e$***  - время от момента включения тока в мостик до начала поддерживающей реакции в воспламенителе вплоть до включения тока.

#### ***Приборы взрывания и их параметры:***

Устройства для подачи электроэнергии в ЭВС

***Автономный прибор*** - имеет свободный источник тока.

***Взрывная машина*** - прибор с источником тока в виде генератора с движущимися частями.

***Взрывной прибор*** - прибор у которого источник тока гальванический элемент или аккумуляторная батарея.

**Конденсаторный прибор взрывания** - создает импульс тока за счет энергии накапливаемой в конденсаторе (конденсаторные машины - генератор + конденсатор) для шахт приборы взрывания обеспечивают опережающие отключение цепи через 2-4 мс от момента подачи тока в цепь.

Условия безотказного взрывания ЭД приборами взрывания ЭВС - электровзрывная сеть совокупность ЭД проводов между собой и источником тока.

Для конденсаторных, сетевых и автономных приборов взрывания условия безотказности взрывания одинаковы, но зависят от типа соединения ЭД в ЭВС:

1. прибор взрывания должен быть способен послать во взрывную сеть импульс тока  $K$  не меньше, чем импульс воспламенителя  $K$  наиболее чувствительного ЭД, причем мгновенное значение тока  $I$  в конце этого импульса должно быть не меньше нормируемое величины  $J$  или  $J$

2. для того чтобы взрывная сеть была разорвана (вследствии разрушения мостика ЭД) остальные ЭД должны успеть получить импульс тока не менее чувствительного ЭД

## ***Лекция 12. Действие взрыва заряда ВВ. Ударные волны в воздухе и горных породах. Баланс энергии при взрыве. Воронка выброса. Удельный расход ВВ при образования воронки взрыва.***

***Действие взрыва ВВ на горную породу и расчет зарядов. Понятие о зарядах и заряджении.***

***Зарядом*** принято называть определенное количество взрывчатого вещества, подготовленное к взрыву. Вес заряда выражается в граммах, килограммах или тоннах.

По форме заряды могут быть сосредоточенными или удлиненными. ***Сосредоточенным*** называется заряд, имеющий форму шара, куба или призмы, когда отношение его длинной стороны к короткой не превышает 4. ***Удлиненным*** называется заряд цилиндрической или призматической формы с отношением длинной стороны заряда к короткой более 4.

По своему строению заряды ВВ делятся на сплошные, рассредоточенные, полужамкнутые и открытые. ***Сплошным***, или непрерывным, называется такой заряд, в котором патроны своими торцами плотно прилегают один к другому. ***Рассредоточенным*** называется такой заряд, отдельные части которого разделены промежутками. Промежутки между отдельными зарядами заполняются забойкой или же оставляются воздушные промежутки. ***Полужамкнутым*** называется заряд, находящийся внутри взрывающей среды, но газы взрыва имеют свободный выход в атмосферу. ***Открытый*** заряд одной стороной примыкает к разрушаемому объекту, а другой граничит с атмосферой.

В зависимости от способа приложения заряда к взрывающему массиву различают заряды наружные и внутренние. ***Наружным*** называется заряд, который приложен к поверхности разрушаемого массива, и ***внутренним***, если он помещен внутри массива горной породы. Процесс размещения заряда в шпуре, скважине или камере называют ***заряджением***. Заряд может находиться либо в патронированном виде в оболочках, либо насыпаться россыпью. После размещения заряда в шпуре, скважине или камере оставшаяся свободной часть шпура, скважины, штольни или шурфа заполняется песком, смесью пластичной глины с песком, водой или другими инертными материалами, называемыми материалом забойки. Операция по заполнению свободного пространства шпура или скважины забойным материалом называется ***забойкой***.

При взрывных работах, производимых с целью разрушения горных пород, заряды ВВ размещаются обычно в шпурах, скважинах или камерах, а также рукавах, шурфах и штольнях. ***Шпуром*** называется искусственно созданное цилиндрическое углубление в горной породе диаметром до 75мм и длиной до 5м. ***Скважиной*** называется такое же углубление, но имеющее диаметр более 75мм при любой длине или длину более 5м при

любом диаметре. **Камерой** называется специальная выработка, пройденная в горной породе или образованная в результате искусственного расширения полости шпура или скважины предварительными взрывами небольших зарядов ВВ. Рукавом называется горизонтальная или наклонная выработка сечением 0,2х0,2 до 0,5х0,5м и длиной до 5м. Шурфом называется вертикальная выработка сечением не менее 1х1м., имеющая выход на земную поверхность. Штольня – горизонтальная горная выработка сечением не менее 0,8х1,5м, имеющая выход на земную поверхность.

### ***Действие взрыва на горную породу и расчет сосредоточенных зарядов.***

Рассмотрим действие взрыва сосредоточенного заряда ВВ в горной породе, который был заложен на значительной глубине, так что на поверхности породы не обнаруживается какого-либо эффекта взрыва; такой заряд обычно называют **зарядом камуфлета**. Результат действия взрыва на породу принято разделять на следующие четыре зоны: зона сжатия, зона измельчения или раздавливания, зона разрыва и зона сотрясения.

**Зона сжатия** – это область, из которой газовые продукты взрыва, имеющие весьма высокое давление (достигающее десятков и даже сотен тысяч атмосфер), вытеснили и сжали часть породы, окружающей место взрыва, образовав полость (так называемый котел).

За зоной сжатия располагается **зона измельчения или раздавливания**, в которой порода сильно раздроблена и раздавлена в результате действия волны сжатия продуктами детонации.

За зоной раздавливания находится **зона разрыва** – это сфера, в которой ослабевшая ударная волна уже не в состоянии раздавить породу сжатием. Однако порода получает значительное смещение (от центра взрыва). В результате в породе возникают растягивание и разламывающие усилия; если эти усилия превосходят временное сопротивление растяжению и излому породы, то появляются радиальные трещины густые и более широкие у поверхности зоны сжатия и более редкие, затухающие вдали от неё. Последующая разгрузка напряжений обуславливает образование кольцевых трещин. Зона разрыва и трещинообразования с удалением от центра взрыва уменьшается и на некотором расстоянии её образование прекращается.

За этой зоной идет **зона сотрясения** - область, в которой ударная волна, распространяющаяся от центра взрыва, настолько слаба, что уже не в состоянии нарушить связь между частицами породы и производит лишь более или менее сильное сотрясение породы, ослабевающее по мере удаления от места взрыва.

Если заряд ВВ взрывается в породе на расстоянии несколько большем, чем радиус зоны разрушения, то вблизи породы, примыкающей к поверхности, из-за отражения ударной волны возникнут интенсивные растягивающие усилия. Кроме того, облегчится (по сравнению со случаем глубокого заложения заряда) движение породы в сторону открытой поверхности, что дополнительно будет способствовать появлению растягивающих сил. В результате видимая воронка не образуется, порода не выбрасывается и наружное действие взрыва ограничивается рыхлением породы и её частичным выпучиванием. Взрыв заряда, проявляющий такое действие, носит название **заряда рыхления**.

Если заряд рыхления приблизить к поверхности или увеличить его вес, то при взрыве часть разрушенной породы будет приведена в движение и выброшена в сторону открытой поверхности.

Такой заряд носит название **выброса**, в породе образуется видимая воронка взрыва (выброса). Общая схема воронки взрыва сосредоточенного заряда показана на рис 44. Воронку выброса характеризуют отношением её радиуса  $r$  к глубине  $W$ , называемой линией наименьшего сопротивления (л.н.с.).

Отношение радиуса воронки взрыва  $r$  к л.н.с. ( $r : W = n$ ) называют показателем действия взрыва. Воронка, у которой  $n = r : W = 1$ , называют воронкой нормального выброса; воронки, у которых  $n >$  или  $r > W$ , называют воронками усиленного выброса; воронки у которых  $n <$  или  $r < W$ , называют воронками уменьшенного выброса.

***Определение зон, безопасных по разлету отдельных кусков породы (грунта).***

Расстояния, безопасные по разлету отдельных кусков породы (грунта) при взрывании скважинных зарядов рыхления. Безопасные расстояния по действию ударной воздушной волны при взрыве на земной поверхности для зданий и сооружений рассчитывается согласно ЕПБ при взрывных работах.

***Лекция 13. Общая характеристика скважинных и шпуровых методов взрывных работ. Расчет паспортов БВР. Требования к паспорту БВР.***

При взрывных работах находят применение шпуровой, скважинный и камерный метод взрывания зарядов ВВ. Принцип каждого метода заключается в том, что в шпуре, скважине, взрывной камере расположен заряд ВВ и забойка, которые взрываются в строго определенной последовательности, через заданные промежутки времени. При проведении горных выработок наиболее широко используется шпуровой способ взрывания зарядов ВВ, добыча полезных ископаемых в карьерах или рудниках осуществляется с помощью скважинного метода взрывания зарядов ВВ. Взрывание зарядов камерным способом осуществляется при массовых взрывах.

***Массовые взрывы*** – метод одновременного взрывания большого объема горных пород для их дробления, отбойки или образования выемок взрывание на выброс или вскрытия полезного ископаемого взрывание на сброс.

При взрывании на выброс горные породы дробятся, отбиваются от массива и перемещаются за контуры взрывающей выемки.

При взрывании на сброс – породы перемещаются в строго заданном направлении.

***Метод скважинных зарядов*** – метод взрывания горных пород удлиненными зарядами, заложенными в вертикальные, наклонные или котловые скважины. Глубина скважин превышает высоту уступа (перебур на 0,6 - 2,0м).

***Метод шпуровых зарядов*** – метод взрывания зарядов, размещенных в шпурах, пробуренных в горных породах.

Классификация шпуров по назначению при проведении буровзрывных работах - БВР в горных выработках.

Следствие очередного взрывания шпуровых зарядов по назначению шпуры в которых они взрываются делят:

- врубовые – прямые или наклонные к забою выработки шпуры взрывание зарядов, в которых осуществляется в первую очередь с целью образования дополнительной поверхности обнажения или уменьшения л. н. с. –  $w$ . Образуется врубовая полость за счет выброса пород.

- вспомогательные - прямые шпуры взрывающиеся за врубовыми шпурами с целью расширения врубовой полости.

- оконтуривающие - прямые или наклонные шпуры взрывающиеся в последнюю очередь с целью доведения полости выброса до проектных размеров и формы горной выработки.

Требования, предъявляемые к БВР при проведении горных выработок:

- безопасность работ – обеспечивает защиту персонала занятого на взрыве работы и сохранность оборудования и механизмов.

- соблюдение технологии ведения взрывных работ и достижения технического результата при котором фактические формы и размеры выработки совпадали и проектными. Контролируется нормой коэффициента излишка сечения горной выработки: К.И.С:



$$K.I.C = \frac{S_{\varphi}}{S_{\text{вч}}} = 1,03-1,05,$$

- обеспечение К.И.Ш не менее 0,8-0,85,
- равномерное дробление породы и отсутствие негабаритных кусков породы - работа породопогрузочных машин,
- минимальные разрушения горных пород за контуром выработки,
- себестоимость БВР должна быть минимальной.

Для выполнения этих требований и их соблюдении при каждом взрывании составляется паспорт БВР. Которые бываю временные, постоянные и представляют собой инструктивную карту как в какой последовательности и какие параметры взрывных работ необходимо выполнить.

Паспорт это технологический закон, который не может быть произвольно изменен. Для его изменения необходимо провести 3 опытных взрывания по временным паспортам. Если результаты положительные, то составляется новый постоянный паспорт БВР. Паспорт подписывают мастера-взрывники (ознакомлены), начальники БВР и пылегазового режима и утверждается главным инженером.

Паспорт БВР должен содержать: наименование выработки, площадь сечения (S свету, вчерне) крепость пород, схему расположения шпуров, конструкцию заряда, применяемые ВВ и СВ, массу ВВ, количество СВ, и массу шпурового заряда, материал забойки, вид и схему создания предохранительной среды, расположение постов и мест укрытия взрывника, схему и время проветривания забоя после взрывных работ.

Технический параметры паспорта БВР: отношение количества шпуров - Nш к сечению выработки Sвч, количество ВВ на 1 м шпура, фактический удельный расход ВВ.

## ***Тема 14. Способ короткозамедленного взрывания зарядов ВВ. Основные взрывные врубы и их классификация.***

### ***Взрывные врубы***

В забоях с одной открытой поверхностью, чтобы получить высокий КИШ при буровзрывной технологии проведения выработок, необходимо создать вторую открытую поверхность. В виде выемки, называемой *врубной полостью*, она создается с помощью взрывного вруба, который представляет собой небольшой комплект шпуров, пробуренных по определенной системе наклонно или перпендикулярно к забою, с размещенными в них зарядами ВВ, взрываемыми в заданной последовательности.

Взрывные врубы можно разделить на такие основные группы: с наклонными шпурами, образуемые шпурами, пробуренными под острым углом к забою; прямые врубы, образуемые шпурами, пробуренными параллельно друг другу под прямым углом к забою; комбинированные, образуемые шпурами, пробуренными наклонно и под прямым углом к забою.

КЗВ - это взрывание когда заряды ВВ срабатывают последовательно через заданные короткие интервалы времени, исчисляемые тысячными долями секунды. Такие интервалы замедления создают благоприятные условия взаимодействия зарядов на разрушаемые горные породы.

### ***Физическая сущность короткозамедленного взрывания***

Исследованиями установлено, что при взрыве единичного заряда энергетический критерий является определяющим при оценке общей энергии взрыва и её распределения по видам затрат в процессе распространения в увязке с динамическими свойствами горных пород и их состоянием в момент нагружения.

Взаимодействие зарядов является следствием нагружения среды взрывом системы зарядов. Эта система может состоять из множества зарядов, однако простейшим случаем

является схема, состоящая из двух взорванных одновременно (мгновенно) или через определенный промежуток времени. Естественно, что качественная и количественная характеристики процесса нагружения и, в результате этого - разрушения горных пород, существенно различны.

В этом случае на общий ход процесса разрушения будет накладываться отпечаток процесс взаимодействия ударных или непрерывных волн, имеющий индивидуальную характеристику для каждой зоны нагружения. В ходе этого взаимодействия возникают новые энергетические соотношения как результат наложения полей напряжения, характеризующихся равнозначными или неравнозначными параметрами среды и волновых процессов. В случае мгновенного (одновременного) взрывания системы зарядов разного веса имеет место взаимодействие полей напряжения примерно с одинаковыми параметрами, в случае же разновременного взрывания – взаимодействие полей с разными параметрами. Здесь мы имеем дело с вторичным нагружением среды в условиях, когда в среде еще не наступила разгрузка от первого нагружения.

Однако может иметь место и такой случай, когда сдвиг во времени нагружения настолько велик, что вторичное нагружение будет протекать в материале, претерпевшем разгрузку, и его поведение в этих условиях будет принципиально отличным от начального.

Таким образом, процессы нагружения среды при взрыве единичного заряда или системы зарядов, взрываемых одновременно, имеют качественно отличную природу. Следовательно, и поведение среды, и её параметры в условиях подобного нагружения должны быть также различны. В практике горных работ одновременный взрыв системы зарядов получил собирательное название – способ мгновенного взрывания, а разновременный – способ короткозамедленного (миллисекундного) или замедленного (секундного) взрывания.

Познание физической сущности взаимодействия волн в условиях взрыва системы зарядов с учетом фактора времени имеет большое значение для выбора модели горных пород, её математического описания, изучения процесса разрушения, разработки инженерных методов расчета основных параметров взрывания и выбора систем зарядов, обеспечивающих оптимальные условия их взаимодействия.

В дальнейшем под термином «короткозамедленное взрывание» понимается такое сочетание систем взрываемых зарядов, при котором возникают условия вторичного нагружения ранее сжатого или разгрузившегося массива горных пород. При этом последовательность повторного нагружения может рассматриваться в зависимости от временного фактора (интервала замедления между взрывами зарядов), схем пространственного расположения систем зарядов и очередности их взрывания.

Известно, что при одновременном взрыве двух или нескольких зарядов ВВ, расположенных на некоторых оптимальных расстояниях друг от друга, разрушительное действие взрыва, оцениваемое удельным объемом разрушенной породы, заметно выше, чем при взрыве единичного заряда того же веса; при этом в известной степени достигается и более равномерное дробление массива горных пород.

Для расчета оптимального интервала замедления получены эмпирические зависимости.

#### ***Тема 14. Расчет параметров взрывных работ для забоев горных выработок с одной открытой поверхностью.***

##### ***Длина заходки***

Принимается исходя из нормативной месячной скорости, м/мес проведения горной выработки.

##### ***Глубина шпуров***

Принятая глубина шпуров должна обеспечиваться возможностями бурового оборудования, этот момент нужно учитывать при использовании для бурения шпуров буровых установок, у которых ограничен шаг подачи бурового агрегата.

Принятая величина  $l_{зах}$  должна быть кратной (по возможности) шагу крепи. Значения коэффициента использования шпуров  $\eta$  принимаются в зависимости от коэффициента крепости породы и площади поперечного сечения выработки. В забоях с одной открытой поверхностью обычно принимают  $\eta=0,8-0,85$ .

Глубину шпуров, кроме врубовых, определяют по формуле:

$$l_{ш} = \frac{l_{зах}}{\eta}$$

Глубину врубовых шпуров принимают в зависимости от крепости породы на 0,1-0,3 м больше.

### **Объем породы разрушаемой за одно взрывание (цикл)**

$$V = S_{вч} \cdot l_{зах}$$

где  $S_{вч}$  – сечение выработки в черне;

$l_{зах}$  – глубина заходки

**Удельный расход ВВ для забоя с одной открытой поверхностью. Формула М.М.**

**Протоdjeяконова:**

$$q = 0,4 \left( \sqrt{0,2f} + \frac{1}{S_{вч}} \right)^2 e^{-1} * k$$

где  $f$  - коэффициент крепости по шкале М.М. Протоdjeяконова;

$S_{вч}$  - площадь поперечного сечения выработки в черне, м<sup>2</sup>;

$k$  - коэффициент увеличения расхода ВВ при машинной погрузке для лучшего дробления породы, при расчетах принимают  $k=1,2$ , если погрузочная машина с нижним захватом породы (ковшешая), и  $k=1,3$ , если погрузочная машина с боковым захватом породы (с нагребашими лапами);

$e$  - коэффициент работоспособности ВВ,

$$e = \frac{P_x}{P_{эт}}$$

где  $P_x$  - работоспособность принятого ВВ, см<sup>3</sup>

$P_{эт}$  – 525см<sup>3</sup> (работоспособность 93% динамита)

**Формула Н.М.Покровского**

$$q = q_1 \cdot s_1 \cdot V_1 \cdot e_1$$

где  $q_1$  - удельный расход ВВ при нормальном заряде выброса, (кг ВВ)/(м<sup>3</sup> породы), определяют по формуле:  $q_1=0,1 \cdot f$ ;

$f$  - коэффициент крепости породы, вычисляют по шкале М.М. Протоdjeяконова;

$s_1$  - коэффициент, учитываший текстуру взрываешой породы, при расчетах принимают:  $s_1=2$  для упругих вязких пород;  $s_1=1,4$  для пород с мелкой трещиноватостью и для углей;  $s_1=1,3$  для пород со сланцевым залеганием, перпендикулярным направлению шпуров;

$V_1$  - коэффициент, учитываший зажим породы, при одной открытой поверхности принимают:

$$V_1 = \frac{3l_{ш}}{\sqrt{S_{вч}}}$$

$e_1$  - коэффициент зажима породы

$$e_1 = \frac{P_{эм}}{P_x}$$

$P_{эм} = 380 \text{ см}^3$  (работоспособность 62% труднозамерзающего динамита);

$P_x$  - работоспособность принятого ВВ,  $\text{см}^3$ .

Окончательно удельный расход принимают как среднеарифметическое значение величин, определенных по формулам М.М Протоdjeяконова, Н.М. Покровского и по табличным данным.

#### **Определение расчетного расхода ВВ на заходку. Кz**

$$Q_{расч} = q \cdot V_{зах}$$

#### **Определение количества шпуров на заходку**

$$N = \frac{1.27 \cdot g \cdot S_{вч} \cdot \eta}{\Delta_n d_n^2 \cdot k_{зап}}$$

где,  $\Delta_n$  - плотность патронирования ВВ

$d_n$  - диаметр патрона

$K_{зап}$  - коэффициент заполнения шпура 0,5-0,7

$$K_{зап} = \frac{l_{зар}}{l}$$

где  $l_{зар}$  - длина заряда, м;

$l$  - длина шпура, м;

При расчетах значение  $K_{зап}$  принимают равным:

0,4 для пород с  $f < 5$ ;

0,45 для пород с  $f = 5-8$ ;

0,5-0,6 для пород с  $f > 8$ .

#### **Определение массы шпурового заряда:**

$$q_{ш} = \frac{Q_{расч}}{N}$$

Полученную величину округляют таким образом, чтобы принятая величина  $q_{ш}$  была бы кратной массе одного патрона. Если принятая масса шпурового заряда отличается от расчетной более чем на 5%, следует скорректировать количество шпуров, сохранив расчетный расход ВВ на заходку, т.е.:

$$N_{ут} = \frac{Q_{расч}}{q_{ш(принятая)}}$$

#### **Определение длины забойки**

$$l_{заб} = l - l_{зар} = l - l_n \cdot n_n$$

где  $l$  - длина шпура, м;

$l_n$  - длина патрона, м;

$n_n$  - количество патронов, формирующее заряд шпура.

Для шахт, опасных по газу и пыли, величина  $l_{заб}$  должна быть не менее 0,5 м при длине шпура более 1 м и  $0,5 \cdot l$  при длине шпура от 0,6 до 1 м.

#### **Количество шпуров на $1 \text{ м}^2$ выработки.**

$$s' = \frac{S_{вч} - S_{вр}}{N - N_{вр}}$$

где  $S_{вч}$  - площадь поперечного сечения выработки в черне

$S_{вр}$  - площадь поперечного сечения на предлагаемой плоскости отрыва породы, образованной взрывом врубовых шпуров,  $\text{м}^2$

$N$  - общее количество шпуров на заходку  
 $N_{вр}$  - количество врубовых шпуров.

**Определение среднего расстояния между шпурами, кроме врубовых.**

$$a_{cp} = \sqrt{\frac{4s'}{\pi}}$$

**Определение количества шпуров по почве выработки.**

$$N_n = \frac{l_1}{a_{cp}} + 1$$

**Определение количества шпуров по контуру выработки.**

$$N_k = \frac{P_k}{a_{cp}} - 1.$$

где  $P_l$  – длина контура поперечного сечения выработки (без почвы), м

$$P_k = \pi * R_k + 2(h - R_k)$$

где  $R_k$  – радиус кривизны арки вчерне, м  
 $h$  – высота выработки вчерне, м

**Определение количества шпуров в предконтурном ряду.**

$$N_{нк} = \frac{P_{нк}}{a_{cp}} - 1$$

где  $P_{нк}$  -длина линии, по которой располагают шпуры предконтурного ряда, м

$$P_{нк} = \pi(R_k - a_{cp}) + 2(h - R_k)$$

**Определение количества вспомогательных шпуров**

$$N_{всп} = N - (N_{вр} + N_n + N_k + N_{нк})$$

Вспомогательные шпуры располагают в 1 или 2 ряда равномерно, ориентируясь на величину  $a_{cp}$ , по площади поперечного сечения выработки для их «работы», предназначенной для увеличения полости, образованной в результате взрыва зарядов во врубовых шпурах.

При трапециевидной форме поперечного сечения выработки вместо определения количества шпуров по контуру и в предконтурном ряду определяют количество шпуров по кровле выработки и в боках выработки соответственно:

$$N_{кр} = \frac{l_2}{a_{cp}} + 1,$$

$$N_{б} = 2 \left( \frac{h}{a_{cp}} - 1 \right)$$

где  $l_2$  –ширина выработки вчерне по кровле, м

## **Тема 15. Расчет параметров взрывных работ для забоев с двумя открытыми поверхностями.**

Смешанные забои горных выработок, в случае выемки угля, образуют породные забои, которые характеризуются двумя свободными поверхностями.

### **Расчет параметров взрывных работ для пластовых выработок.**

Длину заходки принимают по данным опыта или подсчитывают, исходя из месячной скорости проведения выработки. Во всех случаях длина заходки по углю должна быть, согласно “Единым правилам безопасности при взрывных работах”, не более 2 м. При проведении вентиляционных штреков вслед за лавой она должна быть равна подвиганию забоя лавы за один цикл проходки (например, за сутки). Длина заходки по породе принимается равной длине заходки по углю. Так как  $l_{\text{зах. п}} = l_{\text{зах. уг}}$ , то

$$l_{\text{ш.п.}} = \frac{l_{\text{зах. уг}}}{\eta_{\text{пор}}}$$

Порядок расчета параметров паспорта БВР по породе такой же, как и для забоев полевой выработки с одной открытой поверхностью. Однако метод расчета удельного расхода ВВ несколько отличается.

**Удельный расход, кг/м<sup>3</sup> ВВ для нижней и верхней подрывок рассчитывают:**

**а) по формуле Протодьяконова:**

$$q_n = 0,15 \sqrt{f_n} \left( \sqrt{0,2 \cdot f_n} + \frac{1}{B_n} \right) e^{-1k}$$

где  $f_n$  – коэффициент крепости пород подрывки;  
 $B_n$  – ширина породной подрывки, м, определяется графически на эскизе поперечного сечения выработки, параллельно опережающей полости на среднем расстоянии от нее до контура выработки.

Остальные параметры принимают как и в случае полевой выработки.

**б) по формуле Покровского**

$$q_n = q_{1n} \cdot s_n \cdot V_{1n} \cdot e$$

где  $q_{1n} = 0,1 \cdot f_n$  – нормальный удельный расход ВВ;  
 $f_n$  – коэффициент крепости пород подрывки (нижней или верхней) по шкале проф. М.М. Протодьяконова;  
 $s_n$  – коэффициент, учитывающий текстуру пород подрывки (принимают, как и в случае забоев полевой выработки);  
 $V_{1n}$  – коэффициент, учитывающий зажим горных пород (для пород почвы, т. е. нижней подрывки  $V_{1n}=1,6$ , для пород кровли  $V_{1n}=1,2$ , для боковых пород на пластах крутого падения  $V_{1n}=1,4$ ).  
Параметр  $e$  определяется, как и в случае расчета для полевой выработки.

### **Расчет параметров взрывных работ для забоя лавы**

Отбойку угля в забое лавы при помощи буровзрывных работ применяют в основном при выемке антрацитов для получения большего выхода фракции "плита". Она выполняется после машинной подрубки угольного пласта. Чтобы подрубленный уголь местами не обрушался до взрыва и не закрывал зарубную щель, в нее забивают деревянные клинья-подшашки.

**Длина заходки** принимается численно равной длине бара врубной машины  $l_{вр}$  (стандартные длины врубов 1,6; 1,8 и 2,2 м).

**Глубина шпуров**

$$l_{ш.н.} = \frac{l_{зах.}}{\eta} = \frac{l_{сп}}{\eta}$$

Угольный забой имеет две открытые поверхности и поэтому удельный расход рассчитывают по **формуле Протодьяконова**:

$$q_n = 0,15 \sqrt{f_y} \left( \sqrt{0,2 \cdot f_y} + \frac{1}{L_l} \right) e^{-1} k$$

где  $f_y$  – коэффициент крепости угля;  
 $L_l$  – длина забоя лавы, м.

**Расход ВВ**, кг, на одну заходку определяют из выражения:

$$Q_{зах.р.} = q_y V_y = q_y \cdot L_l (m - h_1) l_{зах}$$

где  $V_y$  – объем угля, отбиваемого на участке заходки, м<sup>3</sup>  
 $m$  – мощность угольного пласта, м;  
 $h_1$  – высота зарубной щели, м.

**Массу заряда ВВ** одного шпура по углю определяют, уточняют округлением до целого количества патронов в шпуре  $q_{ш.шт.}$

**Количество шпуров** в забое вычисляют и округляют до целого значения:

$$N = \frac{Q_{зах.}}{q_{ш.шт.}}$$

Уточняют **общий расход ВВ**, кг, на лаву:

$$Q_{зах.шт.} = q_{ш.шт.} \cdot N$$

**Расстояние между шпурами** в забое лавы определяют по формуле

$$a = L_l / N$$

На практике, на антрацитовых пластах без породных прослоек расстояние между шпурами в ряду составляет 1,8...2,5 м.

#### **Расчет параметров взрывных работ для забоев бутовых штреков**

В случае управления кровлей полной или частичной закладкой, а также для поддержания откаточных штреков при сплошной системе разработки без охранных целиков в лаве выкладывают бутовые полосы. Для этого вслед за подвиганием лавы ведут штреки с подрывкой кровли, а при весьма крепких породах в кровле иногда подрывают почву.

Учитывая параметры бутовой полосы, принятой паспортом управления кровлей в лаве, а также текстурные особенности пород, определяют размеры подрывки из условия равенства объема породы, требующегося для выкладки 1 м бутовой полосы (в разрыхленном состоянии) и объема, получаемого в результате подрывки.

$$L_б \cdot m = B_б \cdot e_б \cdot k_p$$

где  $L_б$  – ширина бутовой полосы, м;  
 $m$  – мощность угольного пласта, м;  
 $k_p$  – коэффициент разрыхляемости породы;  
 $B_б$  – ширина бутового штрека, м;  
 $e_б$  – высота подрывки, м.

Задавшись высотой подрывки породы в бутовом штреке, определим его ширину, м (на практике принимается  $e_б = 0,6...1,6$  м).

$$B_б = L_б m / k_p e_б$$

Подвигание забоя, м, бутового штрека за сутки принимают равным суточному подвиганию забоя лавы, м, т.е.

$$l_{\text{зах}} = l_{\text{спл}}$$

**Глубина шпуров**, м, для подрывки пород в штреке

$$l_{\text{ш.}} = \frac{l_{\text{зах.}}}{\eta} = \frac{l_{\text{спл}}}{\eta}$$

Забой в бутовом штреке имеет две открытые поверхности, поэтому  $\eta=0,9$ .

**Удельный расход ВВ**, кг/м<sup>3</sup>, определяют по формуле Протодяконова как для забоев с двумя открытыми поверхностями за параметр  $V_{\text{п}}$  принимают  $V_{\text{б}}$ .

**Расход ВВ**, кг, на заходку

$$Q_{\text{зах.р.}} = q_{\text{б}} V_{\text{б}} \epsilon_{\text{б}} l_{\text{зах}}$$

Массу заряда шпура, кг, вычисляют и округляют до целого количества патронов  $q_{\text{ш.ут}}$ . Количество шпуров определяют и округляют до целого значения. Затем уточняют общий расход ВВ на забой.

## **Тема 16. Сотрясательное взрывание в шахтах опасных по внезапным выбросам породы и газа.**

**Сотрясательное взрывание (СВ)** – это вид взрывных работ на пластах, опасных и угрожаемых по внезапным выбросам угля, породы и газа при проведении горных выработок и вскрытии угольных пластов, выполняемых в специальном режиме при котором обеспечивается защита людей от воздействия внезапного выброса.

Характеристика газодинамического явления- внезапного выброса по М. М. Большинскому.

Выброс рассматривается как спонтанный, быстропротекающий процесс хрупкого самоподдерживающегося разрушения призабойной части массива горных пород, сопровождающийся газовыделением из разрушенных угля и пород и перемещением их по выработкам в газовом потоке, провоцируемый отторжением призабойной части массива горных пород, приводящих к нарушению его равновесного состояния и высвобождению потенциальной энергии упругого деформирования массива и энергии сжатого газа, содержащегося в его пороговом пространстве и трансформированием этой энергии в работу расширения и перемещения разрушенных пород по выработкам.

Первый выброс угля и газа произошел на шахте «Исаак» во Франции в бассейне Лауры. В Донбассе первый выброс отмечен в 1906г. Минимальная глубина, на которой происходили выбросы, составляет 120-150 м. В результате выброса образуется движущийся поток горной массы со скоростью до 20м /с. Который разрушает крень горных выработок, механизмы и технологическое оборудование, поражает людей. Выделение больших количеств газа при выбросе (40-100 м<sup>3</sup>/т) приводит к загазированию горных выработок, к образованию в них взрывоопасной среды, к удушью людей. Внезапные выбросы происходят при разрушении горных пород в результате проведения горных выработок или добычи полезного ископаемого. Поэтому взрывные работы на выбросоопасных пластах ведутся в режиме сотрясательного взрывания. Впервые сотрясательное взрывание произведено во Франции в 1890г. В Донбассе в 1917г шахта Красный Профинтер. Как правило целью сотрясательного взрывания является полное разрушение горных пород массива на все сечение выработки и провоцирование (вызов преднамеренный) внезапного выброса в удобное для работы время: при отсутствии людей в опасной близости от забоя.

Сотрясательное взрывание характеризуется: специальным режимом и организацией производства взрывных работ; нетрадиционными схемами расположения и взрывания шпуровых зарядов, повышенным удельным расходом ВВ, специальными технологиями вскрытия выбросоопасных пластов.



Шпурь по углю бурят только буровыми машинами вращательного действия (ударное бурение разрешается не выбросоопасных породах). Применяются только предохранительные ЭД мгновенного и короткозамедленного действия. Общее время замедления при проведении выработок до 220 мс, при вскрытии пластов до 320 мс.

Организация и режим проведения состврастательного взрывания регламентирован «Инструкцией по применению состврастательного взрывания в угольных шахтах» и ЕПБ при ВР.

- 1) Для подготовки и проведения СВ приказом. Назначаются руководители в выработке и с поверхности
- 2) Для забоя составляется специальная инструкция. По проведению СВ, которая устанавливает порядок проведения СВ и меры безопасности для защиты людей. Составляется паспорт БВВ на состврастательное взрывание которые согласовывается с органами надзора
- 3) СВ разрешается проводить только в специальные смены при отсутствии людей в опасной зоне. Все распоряжения фиксируются в Журнале проведения СВ.
- 4) Определяют размеры опасной зоны в которую включают выработки, расположенные по ходу движения исходящей струи. Место укрытия взрывника только на свежей струе. Отключается электроэнергия перед началом заряжения шпуров. Люди должны находиться на свежей струе не ближе 1000м от места слияния исходящей и свежей струи. До укрытия взрывника 600 м. После взрывания осмотр забоя разрешает руководитель с поверхности.
- 5) На случай выброса должен быть план ликвидации выброса и разгазирования выработок. Все служебные разговоры руководителя с поверхности фиксируется на магнитофонную ленту, которая хранится не менее 3 суток.

#### Технология производства СВ

вид СВ	назначение
Вскрытие выбросоопасных пластов	Отбойка пород в зонах приближения, перемещения и удаления
В подготовке выработки по углю, смешанных и пород забоях	Отбойка угля, пород, вызов выброса или снижения вероятности его появления в дальнейшем
Торпедирование (камуфлетное взрывание)	Предотвращение выбросов.

### ***Тема 17. Основы безопасности взрывных работ в шахтах с опасным содержанием газа метана и угольной пыли. Забойка шпуров.***

Обеспечение безопасности взрывных работ в угольных шахтах опасных по газу и пыли достигается применением предохранительных ВЦ и ЭД, забойки, систем взрывозащиты (орошение, осланцевание).

#### ***Забойка шпуров.***

Бывает внутренняя забойка и внешняя забойка. Забойка – негорючий материал размещенный в свободной от заряда ВВ части шпура на полное сечение или непосредственно у устья шпура перекрывая его сечение.

Существуют: пластичная, сыпучая, гидрозабойка, ингибиторная, быстротвердеющая (фосфогипсовая).

Назначение забойки:

- а) К.И.Ш.- увеличение от 10 до 25%
- б) снижение пыли после взрыва
- в) охлаждение продуктов взрыва и снижение образования ядовитых газов

- г) снижение ударных волн в призабойной части выработки
- д) увеличение устойчивости детонации заряда
- е) образование предохранительной среды в забое в результате её выброса.

Недостаток – выгорание ВВ не устойчивых против выгорания  
 $l_{заб} \geq 0,5 \text{ м}$  ЕПБ или  $\frac{1}{2} l_{м}$  (0,6 – 1,0 м)

### ***Орошение и осланцевание отложений угольной пыли***

***Сущность способа*** заключается в нейтрализации осевшей в горной выработке пыли путем её смачивания до влажности, при которой она не может быть приведена во взвешенное состояние и взорваться в смеси с воздухом. В = 17%- боковых, 12% почва. Растворы воды и смачивателя (ПАВ) ДБ (0,1-0,25 % р/р). Орошение производится за 20-30 мин до ВР (каждый раз по углю и 1 раз в 2 приема по породе). Орошение 20 метров от забоя.

***Осланцевание*** - заключается в искусственном озолении угольной пыли, осевшей на поверхности горных выработок, путем добавления к ней негорючей (инертной) пыли в таком количестве, что бы она потеряла способность взрываться: 50 - 60% сланцевой пыли на 1 кг угольной пыли делают её не взрывчатой. Недостаток – большой объем инертной пыли и трудоемкость.

## ***Тема 18. Предохранительная среда во время проведения БВР. Предохранительные завесы и взрывоподавляющие заслоны.***

### ***Предохранительные завесы.***

Предохранительные завесы создаются распылением воды её растворов или порошка ингибитора из сосудов взрывом ПВВ VI класса (иногда V класса). В результате взрыва происходит перемешивание капель (порошка) с МВС, которое превращает её при определенных концентрациях порошка или воды в невзрывчатое.

***Водораспылительные и аэрозольные порошковые завесы.***

Водораспылительные завесы сосуды 20-30л. 20л - подвешиваются, 30л – укладываются на почву

Аэрозольные порошковые завесы. Порошки ингибиторы КСВ-30, ПВХ-1н, ПСБ-ТМ. Пакеты вместимостью  $3 \pm 0,3$  кг или  $5,5 \pm 0,5$  кг распыляются взрывным способом.

Характеризуются временем эффективного действия –  $t_g$ . Время  $t_g \geq 500$  мс времени общего замедления взрывания шпуров.

Расход не меньше 4л на 1 м<sup>2</sup> поперечного сечения выработки (воды) 1,5 кг – порошка ингибитора.

При сотрясательном взрывании и взрывании в особо опасных условиях. Расход увеличивается в 2 раза. Сосуды располагаются вдоль оси выработки в 2 ряда. В выработке с двумя поверхностями обнажения один ряд в опережение полости.

Двухрядная завеса называется ***локализующей*** её протяженность не менее 7 м.

### ***Длительно действующая предохранительная завеса.***

***Высокократная пена*** – воздушно- механическая пена кратность более 300 L = 100-200м.

***Водовоздушные завесы*** – генераторы тонкодисперсных водяных аэрозолей ( туманообразователи). Время работы до начала БВР и не менее 10 мин после взрывания. Устанавливаются не более чем за 9м до забоя. Переносят после каждого цикла взрывания.

### ***Область применения для предохранительных завес***

Применять при взрывных работах:

ВВ IV класса – пластовых выработках, на пластах опасных по взрывам пыли и внезапным выбросам по пыли при наличии газовыделения.

ВВ V класса - тупиковые выработки с двумя поверхностями обнажения.

ВВ II класс – при вскрытии пластов опасных по внезапным выбросам угля пород и газа.

### ***Взрывоподавляющие заслоны (локализующие).***

Для локализации взрывов газа и угольной пыли на угольных шахтах широко применяются сланцевые и водяные заслоны, состоящие из ряда опрокидывающих полок с инертной пылью или легкоразрушаемых н/э сосудов, заполненных водой из расчета 400 кг/м<sup>2</sup> поперечного сечения выработки в месте их установки. Назначение заслонов – преградить или максимально ограничить распространение фронта пламени при взрыве взрывоопасной среды, лишив тем самым УВ источника энергии.

Заслоны имеют протяженность от нескольких десятков до сотен метров. Их масса достигает 10т. Поэтому для их разрушения при взрыве затрачивается до 30% энергии УВ. Давление в УВ снижается при этом примерно на 40%.

Взрывоподавляющие заслоны (локализующие) подразделяются на 4 группы в зависимости от пламегасящего материала, назначения, принципа действия и характера распределения инертного материала.

1. По типу пламегасящего материала: водяные и сланцевые. В шахтах отводниках как правило водяные.
2. По назначению:
  - a. основные для локализации пластов, крыльев, участков шахтного поля, устанавливаются как на свежей так и на исходящей струе.
  - b. первичные, служащие для ликвидации очагов воспламенения установив вблизи тушковых подготовительных выработок.
3. По принципу действия:
  - a. обычные срабатывающие от действия УВ.
  - b. автоматические срабатывающие принудительно от датчика фиксирующего взрыв (УВ, излучение ЭМ и световое излучение.)
  - c. комбинированные
4. По распределению взрывоподавляющего материала в заслоне
  - a. концентрированные - компактно расположены на небольшой длине выработки
  - b. рассредоточенные - размещаются по выработке отдельными участками через 20-30 мин на удаление друг от друга.

Принцип действия сводится к предварительному образованию облака из диспергируемых пламегасящих материалов на пути движения фронта пламени. Диспергирование материала осуществляется ударной волной. Локализирующее действие проявляется при смешении продуктов взрыва с пламегасящим материалом заслона по 3 основным механизмам:

- тепловой;
- кинематический - затраты энергии на разлом частиц;
- аэродинамический - сопротивление потоку движения.

### ***Автоматические способы локализации взрывов метана и угольной пыли.***

Основной недостаток взрывоподавляющих заслонов – их инерционность, низкая надежность, невозможность флегматизировать МВС.

Автоматический заслон представляет собой систему, состоящую из датчика обнаружения взрыва, исполнительного органа и пламегасящей среды. Принцип его работы сводится к регистрации очага воспламенения (пламени), включении исполнительного устройства, создающего с помощью пламегасящей среды на пути

распространения УВ и дороста пламени взрывоподавляющей смеси порошка (воды) и воздуха.

Обнаружение очага проводится с помощью специальных датчиков обнаружения.

1 этап. Механические датчики и 2 фотодатчика улавливают импульс, квалифицирует его и выдает импульс на исполнительный орган.

2 этап. Исполнительный орган распыляет взрывоподавляющий порошок и сделать среду не способную к взрыву за минимальный промежуток времени.

Время срабатывания – 0,5- 0,6 мс

3 этап. Взрывоподавляющая среда характеризуется допустимой длиной и концентрацией пламегасящего материала.

Датчик устанавливается на 7-9м от забоя, устройство находится около 20м от датчика имеет длину 8-10 м. Система пушечного типа СЛВА – 1. Линейного типа АВП- 1.

## **Тема 19. Взрывные технологии при открытых горных работах. Изготовление ВР на местах ведения взрывных работ.**

На открытых работах применяются следующие методы ведения взрывных работ:

*Метод скважинных зарядов* – это основной метод взрывания на карьерах. Для разрушения массива заряды ВВ размещают в вертикальных и наклонных скважинах диаметром 100 - 320 мм глубиной 5 – 20 м.

*Метод шпуровых зарядов* применяют на мелких карьерах, а на крупных — при вспомогательных работах. ВВ размещают в вертикальных, наклонных или горизонтальных шпурах диаметром до 75мм и глубиной до 5 м.

*Метод котловых шпуровых и скважинных зарядов* применяют сравнительно редко из-за его ненадежности. Для размещения в нижней части большого заряда ВВ шпуры и скважины предварительно простреливают небольшими зарядами. Лучшие результаты получаются при расширении заряжаемой части скважины специальными механическими расширителями или с помощью огневого бурения в породах, подающихся термическому разрушению.

*Метод камерных зарядов* применяют в основном для взрывания на выброс и сброс при строительстве плотин, дамб, каналов. Сосредоточенные заряды большой массы от нескольких до тысяч тонн размещают в камерах.

*Метод малокамерных зарядов (рукавов)* применяется редко на карьерах небольшой производственной мощности. Заряды размещают в горизонтальных углублениях сечением до 30X30 см, глубиной до 3 м для взрывания уступов небольшой высоты.

*Метод наружных (накладных) зарядов:* заряды укладывают на разрушаемые объекты (крупные куски породы, козырьки уступов, зависание руды в дучках и т. д.).

### **Метод скважинных зарядов**

Линия наименьшего сопротивления (л.н.с.) по подошве уступа

$$W_{од} = \sqrt{P/q}$$

где P - вместимость ВВ на 1м скважины

q - расчетный удельный расход

$$W = W_{од} \cdot (1,6 - 0,5m)$$

m – коэффициент сближения скважин

**Величина заряда**

$$Q = q_n W^3 f(n)$$

При расчете зарядов выброса с показателем действия взрыва n от 0,8 до 3 и ЛНС до 25 м значение f(n) определяют по эмпирической формуле М.М. Борескова

$$f(n) = 0,4 + 0,6 \cdot n^3$$

**Расстояние между зарядами**

$$a = 0,5W(n + 1)$$

**Метод шпуровых зарядов**

$v = (1,2-1,5)W$   
задан таблично  
 $Q = \text{дв}HW$

- расчет удельного расхода

**Камерные заряды**

$$Q = p \cdot W^3 \cdot f(n).$$

Стационарные установки для механизированного приготовления простейших ВВ и водосодержащих ВВ

- 1) Игданит
- 2) Водосодержащие ВВ  
Транспортно – зарядные машины

Игданит ТЗМ – 1. Транспортно-зарядная машина.

Водосодержащие ВВ Транспортно-зарядная машина КраЗ:Б 2 бункера раствор – горючего

Забоечные машины.

## **Тема 20. Хранение взрывчатых материалов. Учет и подготовка взрывчатых материалов к проведению взрывных работ**

Для хранения ВМ строят специальные склады по типовым или индивидуальным проектам. Склад ВМ – это комплекс хранилищ с подсобными сооружениями расположенными на круглосуточно охраняемой территории.

### **Классификация складов ВМ.**

По своему устройству и расположению относительно поверхности земли склады ВМ бывают:

- поверхностные- основания хранилищ расположены на уровне поверхности земли
- полууглубленные – углублены в землю не более чем по карниз здания
- углубленные – толщина грунта над хранилищами составляет не менее 15 м
- подземные – толщина пород над хранилищами более 15 метров.

В зависимости от срока эксплуатации склады разделяют на постоянные (> 3 лет), временные (до 1 года).

Склады ВМ по своему назначению и условиям эксплуатации подразделяют на базисные и расходные.

Базисные склады - предназначены для хранения больших количеств ВМ, поступающих на склад, причем только в заводской упаковке. Общая емкость базисных складов ВМ не ограничивается, но обычно не превышает 3х месячной потребности. Емкость отдельного хранилища не должна превышать 420т ВМ. Хранилища следует располагать так, чтобы обеспечивался свободный подход и подъезд к каждому из них. Склады должны ограждаться забором из колючей проволоки высотой не менее 2м. Склады должны быть снабжены достаточным количеством противопожарного оборудования: огнетушителями, бочками с водой, ведрами, ящиками с песком, лопатами.

Расходные склады ВМ предназначены для хранения сравнительно небольшого количества ВМ и выдаче их взрывникам для производства ВР. Расходные склады могут быть стационарными так и передвижными. Постоянные – устраивают в соответствии с теми же требованиями, что и базисные. Склады необходимо проветривать струей воздуха, количество которого должно обеспечивать его четырехкратный часовой обмен во всех выработках. Исходящую из склада воздушную струю запрещается направлять в выработки со свежей струей воздуха. Для освещения склада применяют электролампу во взрывобезопасной арматуре для электропроводки - бронированный кабель. Разрешается пользоваться рудничными аккумуляторными лампами.

#### *Хранение взрывчатых материалов*

При хранении и транспортировании ВМ из-за их повышенной опасности применяется комплекс мер предосторожности, которые должны предотвратить хищение, порчу и утерю ВМ, а также исключить случайные взрывы. Применяются также меры защиты сооружений и механизмов от случайных взрывов.

По степени опасности при хранении и перевозке ВМ делятся на пять групп:

I. ВВ с содержанием нитроэфиров более 15 %, нефлегматизированный гексоген и тетрил;

II. Аммиачная селитра, аммиачно-селитренные ВВ, тротил и его сплавы с другими нитросоединениями, нитроглицериновые ВВ с содержанием нитроэфиров до 15 %, а также детонирующий шнур и флегматизированный гексоген.

III. Пороха дымные и бездымные.

IV. Детонаторы (капсюли-детонаторы и электродетонаторы), пиротехнические замедлители КЗДШ.

V. Перфораторные заряды и снаряды с установленными в них взрывателями.

ВМ различных групп должны храниться и транспортироваться отдельно. Огнепроводный шнур и средства его зажигания разрешается хранить и перевозить совместно с ВМ II, III и IV групп.

Совместная перевозка ВВ различных групп разрешается по специальному разрешению главного инженера предприятия или руководителя взрывных работ.

Складом ВМ называется одно или несколько хранилищ для ВВ и СИ с подсобными сооружениями. В зависимости от срока службы склады ВМ делятся на постоянные – со сроком службы более 3 лет, временные – со сроком службы до 3 лет и кратковременные – со сроком службы до 1 года.

Отдельные хранилища ВМ на территории склада располагаются так, чтобы аварийный взрыв в одном хранилище не вызывал взрыва в других. Безопасные расстояния от склада ВМ до других сооружений, расположенных поблизости, а также между отдельными хранилищами, рассчитываются по методике, изложенной в «Единых правилах безопасности при взрывных работах».

Склады ВМ по назначению делятся на базисные и расходные. От заводоизготовителей ВМ поступают на базисные склады. Базисные склады снабжают взрывчатыми материалами расходные склады предприятий, как правило, в заводской упаковке; распаковывать их на базисных складах разрешается только для отбора проб с целью испытания ВМ.

При выполнении крупных массовых взрывов разрешается с базисного склада завозить ВМ непосредственно к месту работ, минуя расходный склад. В этом случае ВМ получает и сопровождает персонал расходного склада.

Для ведения взрывных работ взрывники получают ВМ с расходных складов.

По расположению относительно земной поверхности склады делятся на: поверхностные, полууглубленные, углубленные и подземные. У поверхностных складов основания хранилищ расположены на уровне поверхности земли; у полууглубленных – здания хранилищ углублены в землю не более чем до карниза здания, у углубленных –

толща грунта над хранилищем составляет менее 15 м, у подземных – толща грунта над хранилищем превышает 15 м.

Предельная вместимость хранилищ базисного склада для различных групп ВМ составляет: I группа - 40 т; II группа - 240 т, III и IV группы - 120 т. Для огнепроводного шнура и средств его зажигания ограничений не существует.

Вместимость одного хранилища постоянного поверхностного расходного склада не должна превышать 60 т и общая вместимость 120 т ВВ, 250 тыс. шт. детонаторов и 100 тыс. м ДШ. Размещение ВМ разных групп в хранилищах производится в соответствии с требованиями «Единых правил безопасности при взрывных работах».

Поверхностный склад ВМ состоит из одного или нескольких хранилищ ВМ с подсобными сооружениями, расположенными на общей огражденной территории. Подземный склад ВМ состоит из камер или ячеек для хранения ВВ и СИ и вспомогательных камер для раздачи ВМ, хранения тары и подводящих к складу выработок.

Все склады ВМ должны круглосуточно охраняться военизированной или вооруженной вахтерской охраной.

## ***Тема 21. Транспортировка ВМ. Персонал для обслуживания взрывных работ. Доставка ВМ к месту работы.***

Порядок перевозки, получения и приемки ВМ на станциях железных дорог, пристанях и других транспортных пунктах указан в инструкции.

Погрузка и выгрузка ВМ должны проводиться в особо отведенном месте (на погрузочно-разгрузочной площадке), огражденном условными сигналами, охраняемом вооруженной охраной, и под наблюдением заведующего складом ВМ или специально назначенного лица из числа допущенных к руководству или производству взрывных работ.

На погрузочно-разгрузочную площадку не должны допускаться лица, не имеющие отношение к погрузке.

В ночное время погрузка и выгрузка ВМ должны производиться при достаточной освещенности места работ допускаемыми источниками света. Рубильники в нормальном исполнении разрешается в этих случаях располагать на расстоянии не ближе 50м от места погрузки или выгрузки ВМ.

Ответственность за качество тары и правильность массы груза, сдаваемого для транспортирования, полностью лежит на отправителе ВМ.

ВМ с заводов и базисных складов необходимо перевозить к расходным складам в исправной заводской упаковке. Разрешается перевозка ВМ с расходных складов к местам работ в зарядных машинах. Ящики или мешки, из которых на базисном складе отбирались пробы ВМ для испытания, должны перевозиться с пломбами базисного склада. На таре должна быть указана масса оставшегося ВМ.

В случае повреждения тары в пути или при разгрузке и перевозке ВМ последние должны быть переложены в исправные мешки или ящики. Хранение ВМ без тары или в поврежденной таре запрещается.

Запрещается перевозка ВМ в одном вагоне, отсеке или трюме судна, самолета, автомобиля, повозке и других транспортных средствах вместе с легковоспламеняющимися или другими грузами, за исключением особых случаев, оговоренных в соответствующих разделах настоящей инструкции.

При вынужденной погрузке ВМ в пути следования, вызванной необходимостью отложного ремонта вагона, судна, автомобиля и т.д. , перегрузку разрешается производить только при обязательном соблюдении требований.

- Если СВ перевозит не целыми ящиками, то коробки с детонаторами должны кроме заводской иметь дополнительную упаковку, состоящую из закрытого ящика с легкими прокладками.
- Постоянные места погрузки ВМ должны иметь необходимое количество противопожарных средств, перечень которых устанавливается органами пожарной охраны.

#### ***Доставка ВМ к месту работы.***

Доставка ВМ к месту работы разрешается без охраны, но под наблюдением мастера-взрывника. ВМ должны переноситься в заводской упаковке или кассетах, для того что бы исключить просыпание или выпадение ВМ. Порошкообразные аммиачно-селитренные ВВ разрешается переноситься в жесткой таре.

Допускается переноска электродетонаторов, смонтированных в последовательную цепь, в специальных устройствах.

Перенос детонаторов при  $t$  до  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  разрешается в обыкновенных сумках, а ниже  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в специальных обогревателях.

При совместном переносе СВ и ВВ взрывник может переносить не более 12кг ВВ. При переносе в сумках до 20кг, в заводской упаковке, на расстояние не более 300м и при удобном пути с подъемом не более 0,02, норма может быть повышена до 40 кг.

Допускается, в отдельных случаях с разрешения главного инженера или руководителя взрывных работ, совместная перевозка СВ и ВВ к местам работы или с базисных на расходные склады ВМ на повозках, автомобилях, мотоциклах с коляской, мотоциклах с кузовом, лодках, катерах, технических судах.

Пороха и перфораторные снаряды при совместной перевозке должны находиться в заводской упаковке или упаковываться в специальную тару исключая удары и трения ВМ друг о друга. Ящики с порохом и снаряды должны размещаться на расстоянии не менее 0,5м от других ВМ и прочно закрепляться.

#### ***Доставка ВМ на подземных работах.***

Спуск ВМ в шахту разрешается в клетях и в бадьях. Доставка ВМ на подземных работах допускается всеми видами рельсового транспорта и вручную.

Запрещается перемещение ВМ по стволу шахты во время подъема и спуска рабочих. При спуске ВМ нахождение людей в клетях не допускается, за исключением взрывников и подносчиков в случаях предусматриваемых в правилах.

Перемещения ВМ по стволу должны производиться только после того, как диспетчер известит об этом машиниста, рукоятчика, стволового и лицо ответственное за подъем.

Ящик или мешок с ВМ должны занимать не более 2/3 высоты клетки, но не выше высоты двери клетки.

При спуске ВМ в шахту в вагонетках ящики с ВМ не должны выступать выше бортов вагонетки, и последние должны быть прочно закреплены в клетях.

Детонаторы спускаются в клетях отдельно от ВВ и укладываются не более чем в один ряд.

При спуске взрывников с ВМ по наклонным выработкам в людских вагонетках на каждом сиденье вагонетки должны быть не более одного взрывника или подносчика.

Доставка ВМ по вертикальным или наклонным стволам, а так же по горизонтальным и наклонным выработкам должны производиться со скоростью не более 5 м/с.

При спуске ВМ в забой проходимого ствола шахты, шурфа в нем не должно быть никого, кроме лиц, связанных с заряданием и взрыванием зарядов.

При проходке шпуров и шахт, оборудованных ручками воротками и лебедками, спуск и подъем ВМ производится с соблюдением следующих условий:

- подъем и спуск ВМ должны осуществляться двумя воротовщиками;
- спуск и подъем ВМ могут производиться со скоростью не более 1 м/с;



- подъемные установки должны быть оборудованы сигнальными и храповыми устройствами или автоматически действующими тормозами, а прицепной крюк должен иметь предохранительный затвор;
- спуск и подъем ВВ должны производиться от ВС

## ***Тема 22. Общий порядок взрывных работ. Единые правила безопасности при взрывных работах. Ответственность за нарушение правил безопасности.***

### ***Общие правила ведения взрывных работ.***

Взрывание камерных и скважинных зарядов производится по проектам, составляемых на каждый день, или, при систематическом взрывании, по типовому проекту, корректируемому для каждой взрывающей серии по фактическим данным расположения камер. Взрывание зарядов в шпурах, а так же взрывание наружных зарядов производится по паспортам.

Организация и порядок проведения массовых взрывов на предприятиях должны предусматриваться в типовой инструкции, утверждаемой для аналогичных условий вышестоящими хозяйственными организациями по согласованию с управлением округа Госгортехнадзора союзной республики.

Паспорта утверждаются начальником или главным инженером шахты, рудника.

Паспорт буровзрывных работ составляется для каждой выработки на основании опытных данных.

#### ***Паспорта должны включать:***

- а) схему расположения шпуров; исключить возможность при равномерном взрывании подрыва или обнажения заряда в соседнем шпуре; количество шпуров и их глубина; величина зарядов; наименование ВВ и средств взрывания с учетом заряжания такого числа шпуров, заряда которых могут быть взорваны за 1 прием, материя забойки и её величина;
- б) величину радиуса опасной зоны в районе производства взрывных работ, по поражающему действию осколков взорванной породы на людей;
- в) указание о месте укрытия взрывника и рабочих на время взрыва;
- г) время для проветривания забоя;
- д) указания о расположении постов оцепления.

Перед началом взрывных работ должны быть установлены границы опасной зоны. Эти границы на поверхности должны быть отмечены условными знаками на местности.

На границах опасной зоны на время взрывных работ должны быть выставлены посты охраны этой зоны.

При производстве взрывных работ обязательное применение в светлое время суток и в подземных выработках звуковых, а в темное время суток – звуковых и световых сигналов. Воспрещается подача сигнала голосом.

***Звуковые сигналы*** подаются взрывником в следующем порядке:

- 1) первый сигнал – предупредительный (один продолжительный). Все люди, не занятые заряданием и взрыванием должны удалиться, за пределы опасной зоны. После окончания работ по заряданию взрывники производят монтаж электровзрывной сети
- 2) второй сигнал - боевой (2 продолжительных)  
Взрывники зажигают огнепроводные шпуры и удаляются в укрытие
- 3) третий сигнал - отбой (три коротких)- подается после осмотра места взрыва и означает окончание взрывных работ.

Допуск рабочих к месту взрыва разрешается лицом технадзора, ответственным за ведение взрывных работ в данной смене, только после того, как им, или по его поручению бригадиром, будет установлено, совместно со взрывником, что работа в месте взрыва безопасна.

Перед заряджением шпур должен быть тщательно очищен от буровой мелочи и пыли.

Запрещается размещать в заряде капсуль-детонаторы россыпью или в коробках.

Запрещается выдергивать или тянуть огнепроводный шпур, а так же провода электродетонаторов.

Запрещается при забойке шпуров и скважин применять кусковатые и горючие материалы.

Ликвидацию отказавших шпуровых зарядов разрешается производить взрыв зарядов во вспомогательных шпурах, пробуренных параллельно отказ, на расстояние не ближе 30 см, при методике шпуровых зарядов и 50 см при методике котловых шпуров.

После взрыва заряда, предназначенного для ликвидации отказа взрывник обязан тщательно осмотреть взорванную массу и собрать все обнаруженные ВМ отказ заряды. Лишь после этого рабочие могут быть допущены к разработке и уборке породы ручным способом с применением мер предосторожности пока не будет установлено отсутствие остатков ВМ от отказавшего заряда.