

# ***ТЕМА 6. Аварии на взрывоопасных объектах***

## **Занятие 6.1. Взрыв и его поражающие факторы**

### **Учебные вопросы:**

1. Общие сведения о взрыве
2. Взрывчатые вещества
3. Ударная волна и характеризующие ее параметры
4. Поражающее действие взрыва

# **1. Общие сведения о взрыве.**

## **1.1. Характеристика процесса взрыва.**

**Взрыв - быстро протекающий процесс физического или химического превращения веществ, сопровождающийся освобождением большого количества энергии в ограниченном объеме**, что ведёт к расширению вещества, обладающего избыточной энергией, в среде с меньшим энергетическим потенциалом, которое протекает с настолько большой скоростью (сотни м/с), что приводит к резкому повышению давления, плотности и температуры среды.

В результате в окружающем пространстве **образуется и распространяется ударная волна**, способная создать угрозу жизни и здоровью людей, нанести ущерб народному хозяйству и окружающей среде, стать источником ЧС.

## 1.2. Единство процессов горения и взрыва

Когда процессы окисления протекают сравнительно медленно, без образования ударной волны явления рассматриваются как **горение**. Аналогичные процессы во взрывчатых средах протекают значительно быстрее, чем при обычном горении, и определяются как **взрыв**.

Виды взрывного горения: **дефлаграционное** и **детонационное**.

**Дефлаграционное горение.** В его основе лежит **теплопередача в соседние с зоной горения участки взрывчатого вещества**. Скорость распространения процесса зависит от теплоемкости материала, его теплопроводности и некоторых других свойств.

**Детонационное горение.** При детонации, как и при дефлаграционном горении реакция протекает в узкой зоне, перемещающейся по веществу, но причиной её распространения **является скачкообразное изменение параметров состояния вещества** (давления, температуры, плотности и др.), называемое **детонацией**. При этом происходит самовоспламенение вещества, что и является источником выделения энергии взрыва.

## ***Детонационное горение (продолжение)***

***Распространение детонационной волны происходит со сверхзвуковой скоростью (до 1-5 км/с в газовых смесях и до 8-9 км/с в конденсированных ВВ).***

***Давление во фронте детонационной волны газоздушных смесей на открытом воздухе может достигать до 100 кПа (максимально 2 МПа). При взрывах конденсированных ВВ давление может достигать 10 ГПа.***

***Скорость детонации есть скорость распространения детонационной волны во взрывчатом веществе.***

Продукты детонации оказываются под большим давлением, что обуславливает соответствующие последствия взрыва - разлет элементов разрушенных

## **2. Взрывчатые вещества**

Существуют вещества, в которых запасено большое количество энергии, например, в виде внутримолекулярных или межмолекулярных связей. В нормальных условиях они достаточно устойчивы и могут находиться в твердом, жидком, газообразном или аэрозольном состоянии.

При иницирующем воздействии (теплом, трением, ударом, электрическим разрядом или каким-либо другим способом) в них запускаются экзотермические процессы, протекающие с большой скоростью и приводящие к большому выделению энергии.

Такие процессы называются **взрывчатыми превращениями**, а сами вещества – **взрывчатыми веществами** или кратко **ВВ**.

**Твердые и жидкие ВВ** имеют в своем составе химически нестабильные соединения, а также восстановители или **окислители** и могут быть либо однородными веществами, либо смесями нескольких веществ. Они называются **конденсированными ВВ**.

**Газообразные энергоносители** представляют собой гомогенные смеси горючих газов (паров) с газообразными окислителями, либо нестабильные газообразные соединения, склонные к разложению в отсутствие окислителей (например ацетилен). В этих газообразных веществах при взрывах протекают экзотермические реакции окисления или реакции разложения нестабильных соединений.

Участвующие в химическом взрыве **аэровзвеси** состоят из мелкодисперсных горючих жидкостей (туманов) или твердых веществ (пыли) в окислительной среде (обычно в воздухе). Источником энергии служит тепло их сгорания.

## Требования к ВВ

К взрывчатым могут быть отнесены любые вещества, способные к взрывчатому превращению. Однако на практике к ВВ относят специальные группы веществ, которые отвечают определенным требованиям:

1. Достаточно **высокое содержание энергии в единице массы** и большая мощность развиваемая при взрыве, обусловленная скоростью процесса.
2. Определенные **пределы чувствительности к внешнему воздействию**, обеспечивающие как достаточную безопасность, так и легкость возбуждения взрыва.
3. **Способность** в течение длительного периода **сохранять свои свойства**.
4. **Доступность** исходных материалов, **технологичность и безопасность** в производстве.
5. **Специальные свойства**, зависящие от характера применения (например, нетоксичность продуктов взрыва).

## 2.2. Классификация конденсированных взрывчатых веществ.

Конденсированные ВВ принято делить на 4 группы:

**-инициирующие** – предназначены для возбуждения взрывчатого превращения в ВВ других групп (гремучая ртуть, азид свинца, тетразен);

**-бризантные** – используемые в разрывных зарядах для боеприпасов, для средств разрушения при добыче полезных ископаемых и др. Преимущественным видом их превращения является детонация. К ним относятся однородные ВВ (тринитротолуол, нитроглицерин, пироксилин и др.) и неоднородные механические смеси (аммониты, динамиты и др.);

**-метательные** – чаще всего это пороха, использующиеся в качестве метательных зарядов для огнестрельного оружия. Их взрывчатое превращение – горение);

**-пиротехнические составы.**

## 2.3. Газовоздушные смеси

**Газовоздушные смеси (ГВС)** являются смесями с воздухом углеводородных газов (метана, пропана, бутилена, бутана, этилена и др.), или паров легковоспламеняющихся жидкостей.

Вероятность взрыва ГВС и его опасность определяются:

- **температурой воспламенения** – нижним пределом температуры, при которой возможно их воспламенение от постороннего источника зажигания ( ацетон  $-18^{\circ}\text{C}$ , спирт  $13^{\circ}\text{C}$ , бензол  $-11^{\circ}\text{C}$  );

- **плотностью паров и газов** по отношению к плотности воздуха ( ацетон 2, ацетилен 0,9, метан 0,55, бутан 2 );

- **температурой самовоспламенения** ( ацетон  $610^{\circ}\text{C}$ , бензин  $150^{\circ}\text{C}$ , этиловый спирт  $465^{\circ}\text{C}$ );

- **минимальной энергией зажигания** или эквивалентом критической энергии электрической искры, необходимой для инициирования детонации.

- **пределами взрывной концентрации паров жидкостей и газов** (при которых может возникнуть детонация) в процентах к объему ГВС, например, пропан 3-7%; пропилен 3.5-8.5%; этан 4.0-9.2%;

## Газовоздушные смеси (продолжение)

При наличии источника зажигания начальная скорость распространения пламени невелика и составляет для большинства углеводородных газов 0,32-0,40 м/с. (нормальная скорость горения) Образования взрывной волны не происходит.

При достижении скоростей распространения пламени 100-300 м/с возникает дефлаграционное горение, при котором генерируются взрывные волны с максимальным избыточным давлением 20-100 кПа. Продолжительность горения до достижения взрывного режима для газов составляет около 0,1 с.

При дальнейшем ускорении горения дефлаграционные процессы могут перерасти в детонационное горение, скорость распространения которого значительно превышает скорость звука в воздухе и достигает 1-5 км/с.

При больших объемах горючих газовых смесей, наличии источников турбулизации фронта пламени и отражении детонационной волны от препятствий давление за очень

## 2.4. Пыль и пылевоздушные смеси (ПВС)

*Взрывы пыли происходят в ограниченном пространстве* – в помещениях зданий, внутри оборудования, в штольнях шахт, на мукомольном производстве, на зерновых элеваторах (мучная пыль), при обращении с красителями, серой, сахаром, другими пищевыми продуктами, производстве пластмасс, лекарственных препаратов, на установках дробления топлива (угольная пыль), в текстильном производстве.

*Понятие промышленные пыли включает в себя тонкие дисперсии с размерами частиц менее 800 мкм. Взрывы, в основном, происходят по дефлаграционному механизму.* Переход к детонации возможен в вытянутых помещениях за счет турбулизации процесса горения в облаке пылевоздушной смеси (ПВС), например в штольнях шахт, на конвейерных линиях зернохранилищ.

# Пыль и пылевоздушные смеси (ПВС) (продолжение)

Взрыв ПВС возможен только при наличии концентрации пыли в воздухе не ниже определенного предела, измеряемого в г/м.куб: алюминий 58, уголь и сахар 35, резина 25, полиуретан 30 и т.д.

***По степени пожаровзрывоопасности промышленные пыли делятся на:***

**1 класс** – наиболее взрывоопасные пыли с нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР) равным 15 г/м.куб и ниже (сера 2,3; нафталин 2,5);

**2 класс** – взрывоопасные пыли с НКПР от 16 до 65 г/м.куб (алюминий 58, овес 30.2, крахмал картофельный 40.3);

**3 класс** – наиболее пожароопасные пыли с температурой воспламенения до 250 °С;

**4 класс** – пожароопасные пыли с температурой воспламенения >250 °С .

## 3. Ударная волна и ее параметры

### 3.1. Общая характеристика ударной волны

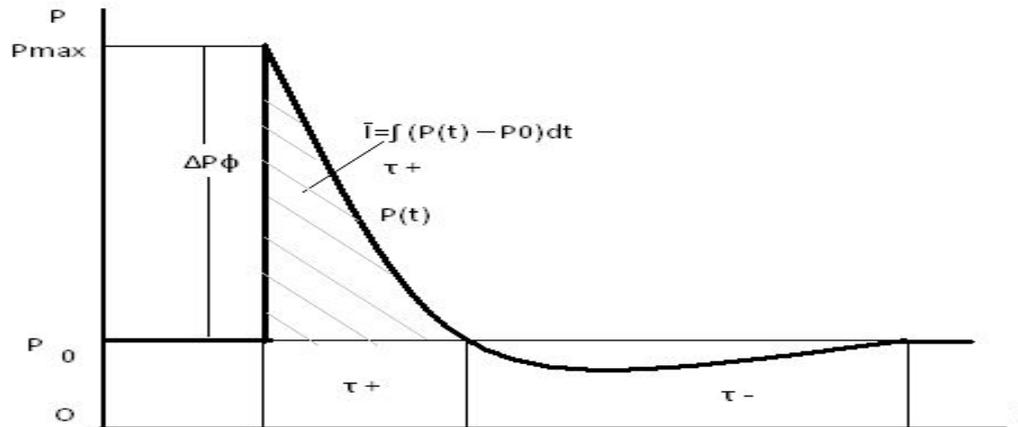
Энергия, выделяющаяся при взрыве, приводит к возникновению в окружающей среде очень узкой зоны сжатия-разрежения, распространяющейся со сверхзвуковой скоростью, в пределах которой протекают физические процессы, называемые **ударной волной**. Существо этих процессов состоит в скачкообразном изменении всех параметров среды (давления, температуры, плотности).

Передняя граница зоны сжатия называется фронтом ударной волны. Форма фронта ударной волны в однородной среде, например в воздухе, представляет собой сферу и не зависит от формы взорвавшегося заряда. Ударная волна имеет два *основных отличия от звуковой волны*:

параметры среды в ней (давление, температура, плотность) изменяются практически скачком;

скорость ее распространения превышает скорость звука в невозмущенной среде.

# Параметры воздушной ударной волны (ВУВ)



**Основным параметром, определяющим поражающее действие ударной волны, является давление.** На рисунке показано изменение во времени давления в некоторой точке  $P(t)$  при прохождении через нее воздушной ударной волны.

До прихода волны давление в точке определялось атмосферным давлением  $P_0$ . В момент прихода фронта волны за очень короткий промежуток времени давление возрастает на величину  $\Delta P_\phi$ , которая называется **избыточным давлением во фронте ВУВ**

$$\Delta P_\phi = P_{max} - P_0$$

# Параметры воздушной ударной волны (ВУВ) (продолжение)

После скачка давление начинает падать и через промежуток времени  $t_{-}$  достигает величины  $P_0$ . Дальнейшее снижение давления приводит к образованию в рассматриваемой точке разрежения давления, после чего рост давления возобновляется и оно снова достигает величины  $P_0$ . **Период  $t_{+}$  называется фазой сжатия, а  $t_{-}$  -- фазой разрежения.**

По мере удаления от места взрыва происходит постепенное “затухание” ударной волны. При этом уменьшаются амплитуды  $\Delta P_{\phi}$  и  $\Delta P$ , крутизна скачка и крутизна спада давления, увеличиваются интервалы  $t_{+}$  и  $t_{-}$ , уменьшается скорость распространения ударной волны и она постепенно трансформируется в звуковую.

Важной характеристикой ВУВ является удельный импульс  $\bar{I}$ . **Удельный импульс характеризует суммарное воздействие избыточного давления на площадку единичного размера за время  $t_{+}$** . Он численно равен площади под кривой избыточного давления

$$\bar{I} = \int (P(t) - P_0) dt.$$

## **4. Поражающее действие взрыва**

Прямыми поражающими факторами при взрывах, воздействующими на объекты, являются:

***фронт ударной волны и температура продуктов взрыва,*** (т. н. термобарическое воздействие),

***осколочные поля.***

Вторичными поражающими факторами являются:

***обломки разрушающихся зданий и сооружений,***

***осколки породы или оболочки заряда*** и т.п.,

***сейсмическое воздействие подземных***

## 4.3. Воздействие ударной волны на вооружение и технику

Степень повреждения вооружения и военной техники под воздействием  $\Delta P_{\phi}$  может достигать следующих размеров:

слабые повреждения танков (отрыв антенн, фар и другого наружного оборудования)

30-50 кПа;

полное разрушение танков 1-2 МПа;

средние повреждения артиллерийских орудий 40- 70 кПа;

полное разрушение артиллерийских орудий 0.2-1 МПа;

выход из строя самолетов, вертолетов, ракет 10-30 кПа.

## 4.1. Воздействие поражающих факторов взрыва на здания и сооружения.

**Слабые повреждения** не выводят объект из строя, его **эксплуатация может продолжаться**. Повреждения или серьезные деформации получают отдельные легкие элементы конструкций (окна, двери, крыша и т.п.). **Устранение слабых повреждений возможно в процессе текущего ремонта**.

**Средние разрушения** соответствуют разрушению второстепенных конструкций и деформации (прогибу) основных ограждающих и несущих конструкций. Средние разрушения устранимы, но требуют **прекращения эксплуатации объекта и проведения его капитального ремонта**.

**Сильные разрушения** приводят к частичному разрушению стен, колонн и перекрытий, а также к полному разрушению легких конструктивных элементов. Сильно разрушенные **здания не восстановимы**. При таком разрушении объект в какой-то мере сохраняет свои контуры. Некоторые его элементы могут быть использованы, например для ремонта других сооружений.

**Полное разрушение** сопряжено не только с **прекращением возможности восстановления объекта**, но и с резким изменением внешних очертаний объекта, с невозможностью использования его и его

## 4.2. Воздействие поражающих факторов взрыва на людей

**Крайне тяжелые** поражения у людей возникают при избыточном давлении во фронте **более 100 кПа**. Эти поражения, как правило, заканчиваются **смертельным исходом**. Они сопровождаются разрывами внутренних органов и сосудов, наполненных кровью (или другими жидкостями), или газом.

**Тяжелые поражения** человек получает **при 60-100 кПа**. К тяжелым поражениям относят **сильные контузии, потерю сознания**, внутренние кровотечения, кровотечение из ушей и носа.

**Средние поражения** наступают **при 40-60 кПа**. К ним относят контузию головного мозга, **множественные вывихи, потерю слуха**.

**Легкие поражения**, не требующие госпитализации, наступают **при 20-40 кПа**. К ним относят **скоропроходящую головную боль, головокружение**

## 4.4. Мероприятия по обеспечению взрывобезопасности

Состав мероприятий в каждом конкретном случае уникален, однако их обобщенный перечень может быть представлен в следующем виде:

**ограничение объемов единовременного накопления взрывоопасных веществ;**

**промежуточное хранение взрывоопасных веществ в производственных условиях;**

**реорганизация технологических процессов, в которых используются взрывоопасные вещества;**

**создание надежных, взрывобезопасных конструкций оборудования и конструкций, устойчивых к воздействию ударной волны;**

**подготовка персонала к работе в условиях повышенной взрывоопасности.**

**рациональное размещение зданий и сооружений вблизи взрывоопасного объекта.**