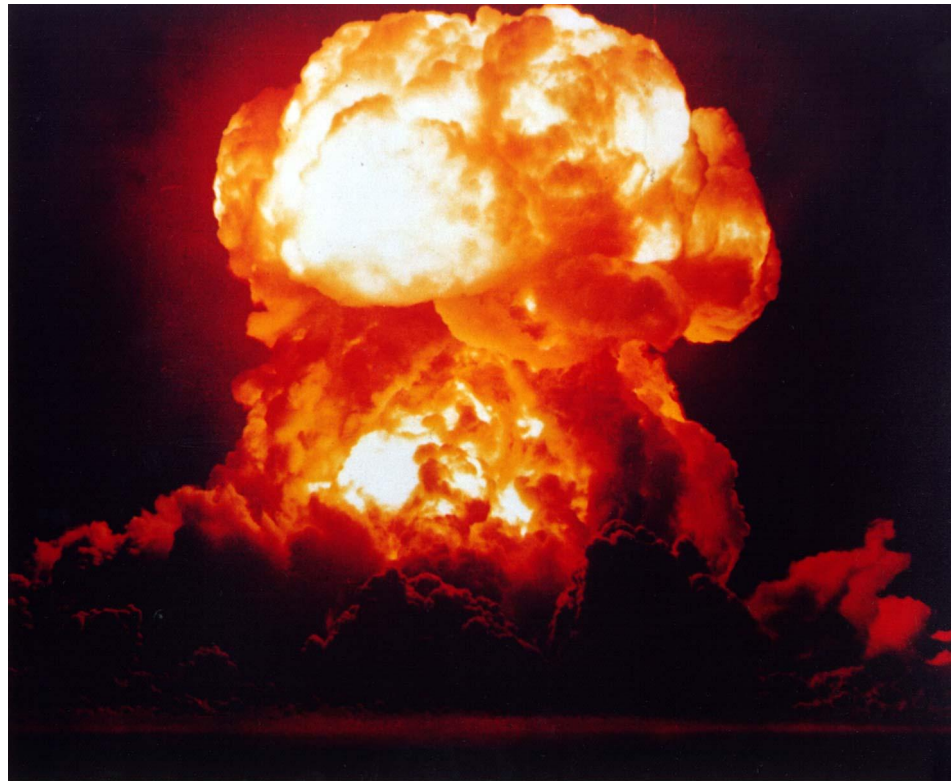


БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

**Развитие аварий, вызванных
взрывами**

Взрыв — это процесс выделения энергии за короткий промежуток времени, связанный с мгновенным физико-химическим изменением состояния вещества, приводящим к возникновению скачка давления или ударной волны, сопровождающийся образованием сжатых газов или паров, способных производить работу (ГОСТ Р22. 0.8.-96).



- В производстве в большом количестве используются взрывоопасные аппараты и технологии, вещества и соединения взрывоопасные, или способные при определенных условиях образовывать взрывоопасные смеси.
- Причинами взрывов на производстве чаще всего становится несоблюдение правил техники безопасности или правил эксплуатации оборудования, а так же нарушение технологических процессов.



- **Взрыв** – кратковременный процесс чрезвычайно быстрого превращения взрывчатого вещества с выделением большого количества сжатых и нагретых газов в небольшом объеме, которые расширяясь производят механическую работу (разрушение, перемещение и пр.).
- **Взрывчатое вещество** – химические соединения или смеси таких соединений, которые под влиянием определенных внешних воздействий способны к быстрому саморазвивающемуся превращению в большое количество газов.

- **Горение** – передача энергии от одного слоя ВВ к другому передается за счет теплопроводности, но происходит это очень быстро (взрыв пороха)
- **Детонация** – распространение взрыва по взрывчатому веществу, обусловленное прохождением ударной волны с постоянной сверхзвуковой скоростью, обеспечивающей быструю химическую реакцию (тротил, гексоген и пр.).

Классификация взрывов

ВЗРЫВЫ

```
graph TD; A[ВЗРЫВЫ] --- B[ХИМИЧЕСКИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ]; A --- C[Конденсированных ВВ Сжатых газов Перегретых жидкостей Парогазовых смесей]; A --- D[Высотные >10км Воздушные Наземные (Наводные) Подземные (подводные)];
```

**ХИМИЧЕСКИЕ
ФИЗИЧЕСКИЕ**

**Конденсированных
ВВ
Сжатых газов
Пегрегетых
жидкостей
Парогазовых смесей**

**Высотные >10км
Воздушные
Наземные
(Наводные)
Подземные
(подводные)**

Виды взрывов



Химический - взрыв, вызываемый быстрым химическим превращением веществ, при котором потенциальная химическая энергия переходит в тепловую и кинетическую энергию расширяющихся продуктов взрыва.



Физический - взрыв, вызываемый изменением физического состояния вещества.



Аварийный - взрыв, произошедший в результате нарушения технологии производства, ошибок обслуживающего персонала, либо ошибок, допущенных при проектировании.



Взрывоопасные объекты - предприятия, на которых производятся, хранятся, транспортируются взрывоопасные продукты или продукты, приобретающие при определенных условиях способность к возгоранию или взрыву



Виды взрывов на ВО:

1. Неконтролируемое резкое высвобождение энергии за короткий промежуток времени в ограниченном пространстве (взрывные процессы)



2. Образование облаков топливовоздушных смесей или других газообразных, пылевоздушных веществ, вызванное их быстрыми взрывными превращениями (объёмный взрыв)



3. Взрывы трубопроводов, сосудов, находящихся под высоким давлением или содержащих перегретую жидкость (прежде всего резервуаров со сжиженным углеводородным газом)



Условия, необходимые для возникновения взрыва

- Взрывчатое вещество
- Внешнее воздействие для инициирования взрыва:
 1. Механическое
 2. Тепловое
 3. Химическое
 4. Детонационное

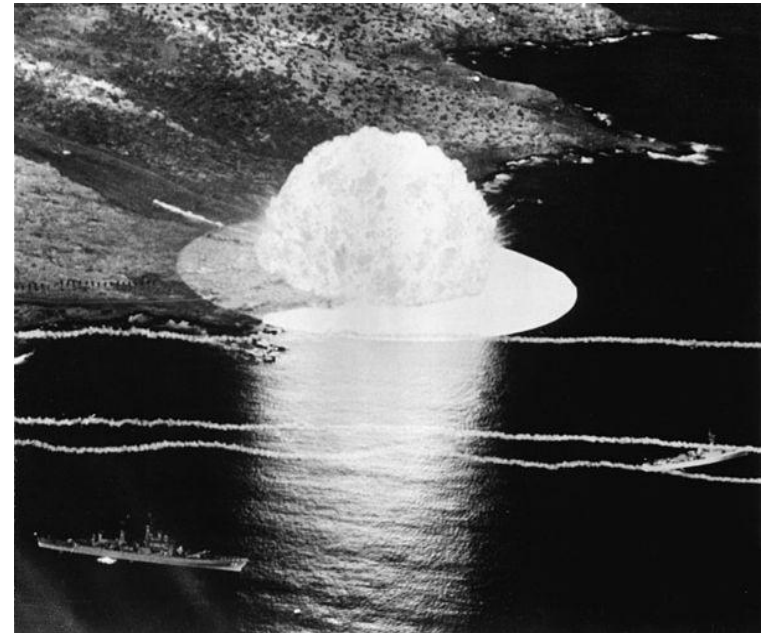


Поражающие факторы взрыва

- Ударная волна
- Осколочные поля
- Световое и тепловое излучение
- Разлетающиеся обломки, разрушающиеся конструкции
- Действие токсичных веществ
- Пожары
- Тяжелое психологическое состояние

Ударная волна

это область сильно сжатого воздуха с резким скачком давления и температуры, ограниченная резким фронтом, которая в виде сферического слоя движется от центра взрыва со сверхзвуковой скоростью во всех направлениях.



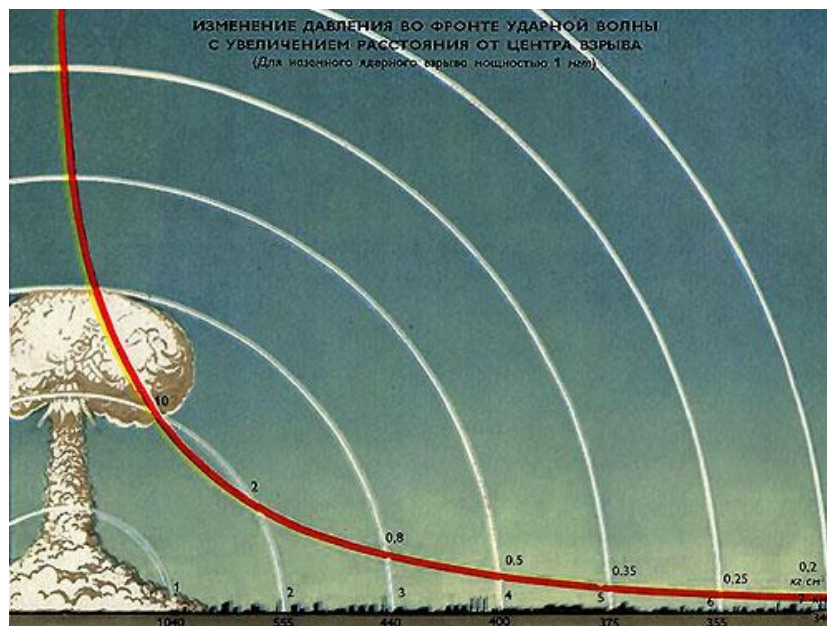
На формирование ударной волны (УВ) оказывают влияние следующие факторы:

- 1. природа взрыва** – взрыв газовой смеси, пылевоздушной смеси или твердого ВВ, или жидкости
- 2. вид взрыва** – высотный, воздушный, наземный, подземный
- 3. условия распространения волны** – закрытое помещение, открытые пространства, плотность застройки, рельеф местности, погодные условия (летом наблюдается ослабление УВ, зимой – усиление)

В зависимости от среды распространения различают

- воздушную УВ,
- УВ в воде
- УВ в грунте.

Фронт УВ – *передняя граница ударной волны*. Эта граница четко выражена, ее даже называют пленочным фронтом.

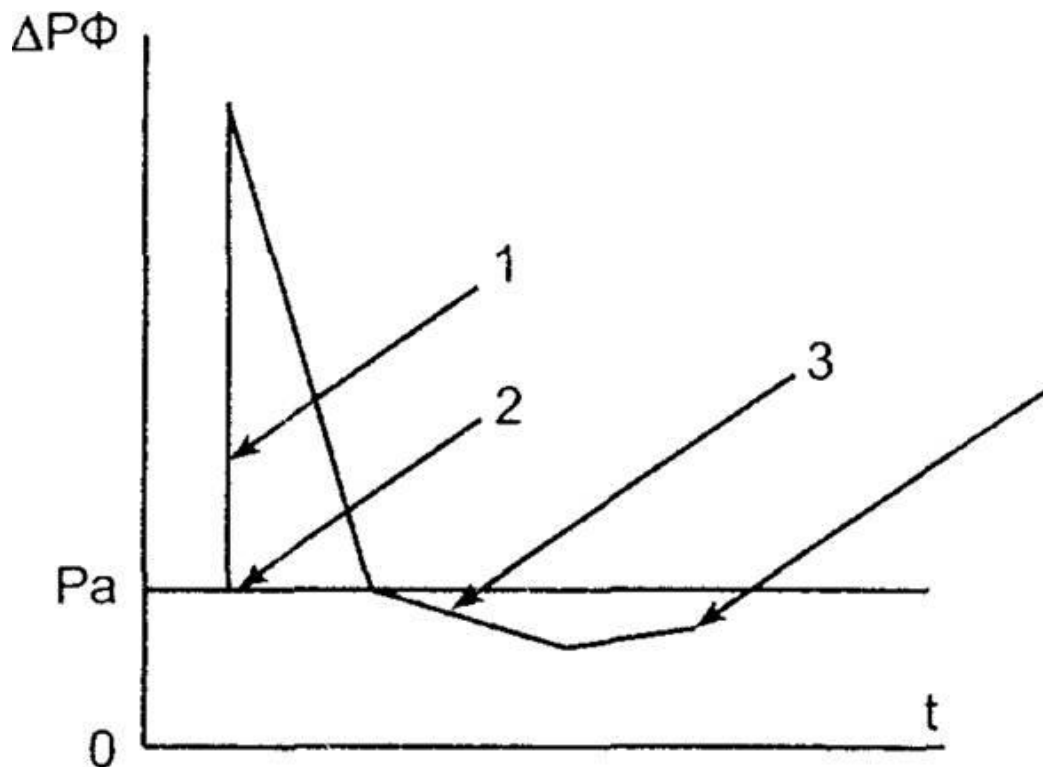


Основные параметры УВ, характеризующее ее разрушающее действие

- Избыточное давление во фронте УВ, ΔP_{ϕ} (кПа)
- Давление скоростного напора, $\Delta P_{ск}$ (м/с)
- Импульс фазы сжатия, I
- Скорость фронта УВ, V (м/с)

- Перед фронтом УВ давление в воздухе равно атмосферному.
- С приходом фронта УВ в какую-либо точку пространства давление резко (скачком) увеличивается и достигает своей максимальной величины.
- Так же резко в этой точке возрастают температура и скорость движения воздуха.
- Это **фаза сжатия** $\Delta P = P - P_0 > 0$.
- За ней следует **фаза разряжения**, когда давление несколько ниже обычного атмосферного. В
- оздух начинает движение к центру.
- Перепад температуры и давления внутри фронта УВ вызывает движение частиц воздуха с высокой скоростью (более 30 м/с = 108 км/ч), называемое **скоростным напором**.

Характер изменения давления при прохождении УВ через заданную точку.



1 — фронт ударной волны; 2 — момент прихода ударной волны; 3 — фаза сжатия; 4 — фаза разряжения

Избыточное давление измеряется в Па или в кгс/см².

1 Па = 1 Н/м² = 0,102 кгс/м² = 1,02×10⁻⁶ кгс/см²;

1 кгс/см² = 98,1 кПа, примерно равен 100 кПа.

Согласно **закону Хопкинса-Кранца** при взрыве двух зарядов ВВ одной формы, но разного размера (массы) в одинаковой атмосфере подобные взрывные волны будут наблюдаться на одинаковом приведенном расстоянии:

$$R^* = R (P_0/m)^{1/3}$$

где m – масса ВВ, кг (т): R - расстояние от эпицентра взрыва, м.
Если мы введем понятие **тротилового эквивалента**, то получим

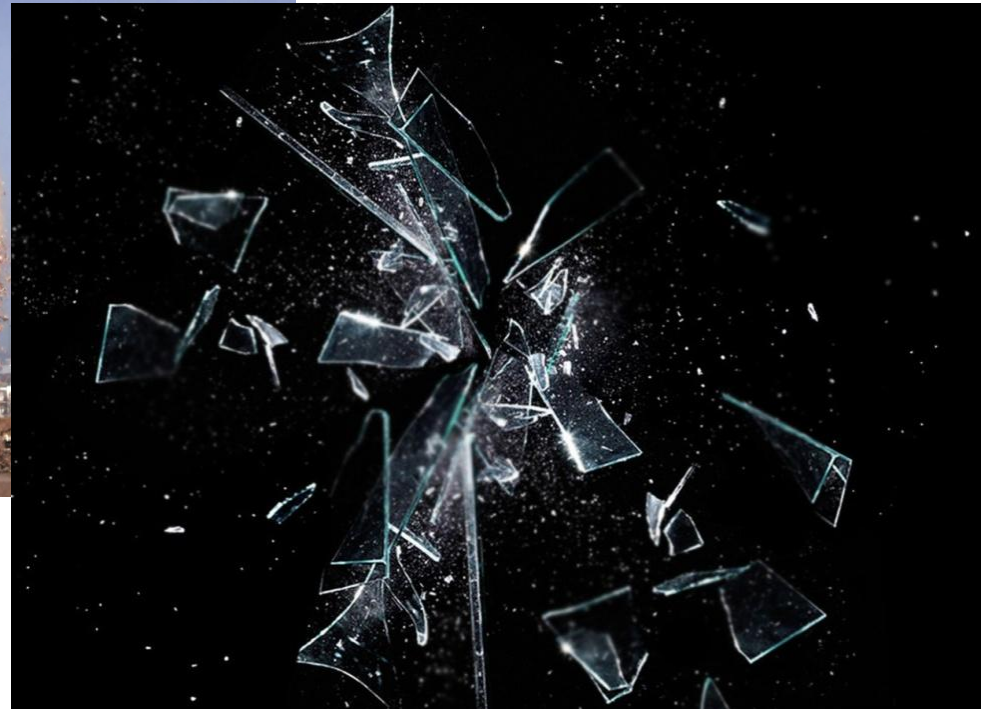
$$R^* = R m_{\text{ЭКВ}}^{-1/3}$$

Величину удельного импульса для фазы сжатия можно найти по формуле:

$$I \sim 0.4 m^{2/3} R^{-1/2}$$

Импульс фазы разряжения играет сравнительно меньшую роль, а его значение отрицательно.

Осколочные поля - летящие обломки строительных конструкций, оборудования, взрывных устройств, боеприпасов. Основным параметром, определяющим осколочные поля является количество обломков, их кинетическая энергия и радиус разлёта.



Вторичные поражающие факторы - явления и процессы, возникающие как следствие первичных факторов



Пожары

Загрязнение
атмосферы



Разрушение
зданий и
сооружений



ВЗРЫВЫ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ

Характеристики твердых ВВ

- Чувствительность к внешним воздействиям
- Энергия (теплота) взрывчатого превращения
- Скорость детонации
- Бризантность
- Фугасность
- Химическая стойкость
- Продолжительность и условия работоспособного состояния
- Нормальное агрегатное состояние
- Плотность

Характеристики твердых ВВ

- **Бризантность (мм)** – способность ВВ дробить, разрушать соприкасающиеся с ним предметы (металл, горные породы и т. п.). Величина бризантности говорит о том, насколько быстро образуются при взрыве газы. Чем выше бризантность ВВ, тем больше оно годится для снаряжения снарядов, мин, авабомб и пр, т.к. лучше дробиться при взрыве корпус снаряда, осколкам придается большее ускорение, создается более сильная УВ.
- С бризантностью непосредственно связана характеристика скорость детонации, т.е. насколько быстро взрывная волна распространяется по ВВ.
- Измеряется бризантность в мм Это условная единица.

Характеристики твердых ВВ

- **Фугасность (см^3)** – работоспособность ВВ, способность разрушить и выбросить из области взрыва окружающие материалы (грунт, бетон, кирпич и пр.). Эта характеристика определяется количеством образующихся при взрыве газов. Чем больше газов, тем большую работу способно выполнить ВВ.
- Измеряется фугасность в см куб.

Силу взрыва обычно оценивают в тротиловом эквиваленте.

Тротил – вещество, в котором чрезвычайно быстро происходит химическая реакция окисления с выделением тепла и продуктов горения. Мощность тротила условно принята за 1, а все остальные ВВ сравнивают с ним. Т.е. сколько надо было бы взять тротила, чтобы произвести такую же взрывную работу, что и данное ВВ.

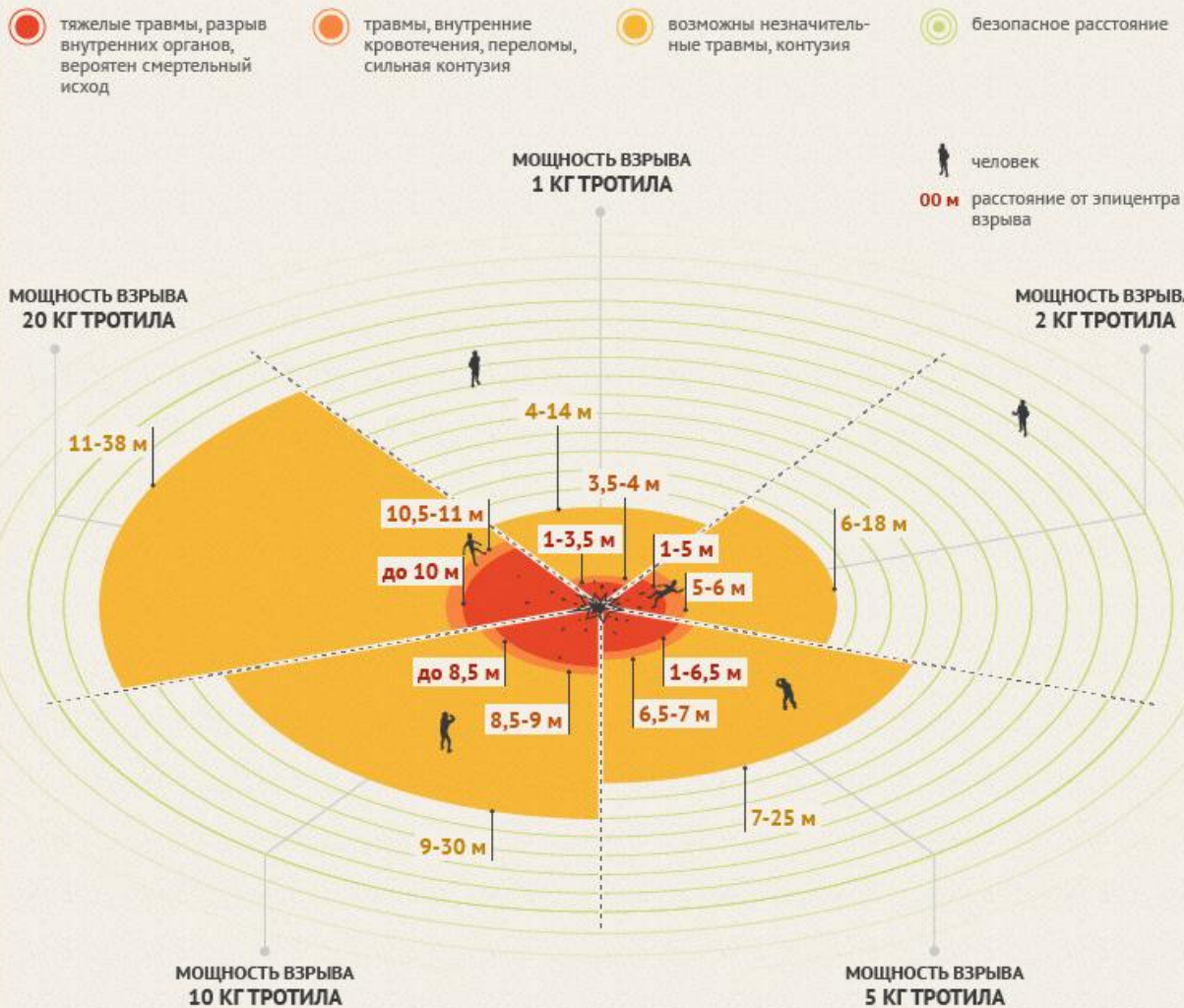


- Это сильно упрощенный способ сравнения различных ВВ. На самом деле все 9 характеристик тесно связаны друг с другом, изменение одной влечет за собой изменение остальных.
- Чаще всего, мощность различных ВВ сравнивают при помощи тротилового эквивалента. **100 гр гексогена = 125 гр тротила; 100 гр аммонита = 75 гр тротила.**
- Т.о. ясно, что для различных целей целесообразно использовать различные ВВ, обладающие различными свойствами.



ЧТО ПРОИЗОЙДЕТ ПРИ ВЗРЫВЕ

1, 2, 5, 10 И 20 КГ ТРОТИЛА?



Усилить эффект от взрыва могут поражающие элементы взрывного устройства – болты и металлическая арматура

Типы конденсированных ВВ

ИНИЦИИРУЮЩИЕ

*Гремучая ртуть,
азид свинца,
тенерес (ТНРС)*

БРИЗАНТНЫЕ

повышенной мощности
(гексоген, тэн, тетрил)
нормальной мощности
(тротил, мелинит,
пластит)
пониженной мощности
(аммиачная селитра и ее
смеси)

МЕТАТЕЛЬНЫЕ

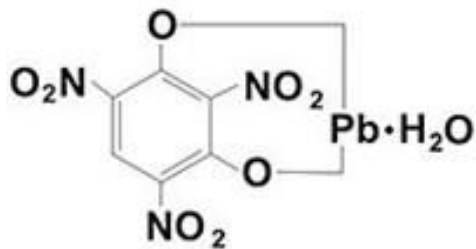
Различные пороха

ПОРОХ



для нарезных и гладкоствольных патронов

Иницирующие ВВ – гремучая ртуть, азид свинца, тенерес (ТНРС). Эти ВВ обладают высокой чувствительностью к внешним воздействиям. Их взрыв оказывает детонационное воздействие на бризантные и метательные ВВ, которые обычно к остальным типам внешнего воздействия не чувствительны вовсе или слабо чувствительны. Поэтому иницирующие ВВ применяют для возбуждения взрыва других ВВ, упаковывая их для безопасности в защитные приспособления – капсуль, взрыватель, детонатор и пр.



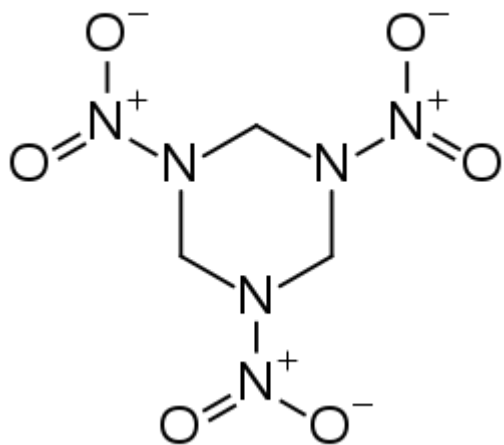
Бризантные ВВ. Именно этими ВВ снаряжают снаряды, мины, бомбы, ракеты и пр. Бризантные ВВ по их взрывным характеристикам делятся на:

- повышенной мощности (гексоген, тэн, тетрил)
- нормальной мощности (тротил, мелинит, пластит)
- пониженной мощности (аммиачная селитра и ее смеси)

ВВ повышенной мощности более чувствительны к внешним воздействиям и поэтому чаще применяются в смеси с флегматизаторами (веществами, понижающими чувствительность ВВ) или в смеси с ВВ нормальной чувствительности.

Метательные ВВ. Это различные пороха – черный дымный, бездымные пироксилиновые и нитроглицериновые, пиротехнические смеси для фейерверков, сигнальных ракет, осветительных снарядов, авиабомб и пр.





Некоторые характеристики ВВ

ВВ	Фугасность, см ³	Бризантность, мм
Гексоген	490	24
Тротил	285	19
Пластит	280	21
Аммонит 6ЖВ	360	14

Взрыв большинства конденсированных ВВ протекает в режиме **детонации**. Скорость детонации от 1,5 до 8 км/с, давление взрывов достигает 20-38 Гпа.

Избыточное давление свободно распространяющейся воздушной УВ при взрыве конденсированных ВВ определяется по формуле **М.А. Садовского**:

$$\Delta P_{\phi} = (0.084 / R^*) + (0.27/R^{*2}) + (0.7/R^{*3})$$

Энергия взрыва различных ВВ Q_v МДж/кг отличается от энергии взрыва тротила ($Q_{vтр} = 4,52$ МДж/кг), то для конденсированных ВВ:

$$m_{\text{ЭКВ}} = m_{\text{ВВ}} \times Q_{v\text{ВВ}} / Q_{v\text{тр}}$$

$m_{\text{ВВ}}$ – масса ВВ, кг.

ВЗРЫВЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СЖАТЫМИ НЕГОРЮЧИМИ ГАЗАМИ

□ При взрыве сосудов под давлением могут возникать сильные ударные волны, образуется большое число осколков, что приводит к серьезным нарушениям и травмам. Изменение избыточного давления во фронте УВ, образующейся при взрыве сосуда со сжатым газом, высоких давлениях и температурах подобно изменению этой величины в зоне, генерируемой взрывом конденсированных ВВ. Однако, при взрыве сосуда со сжатым газом только 40-60 % энергии идет на образование УВ, остальное тратиться на образование и разлет осколков.

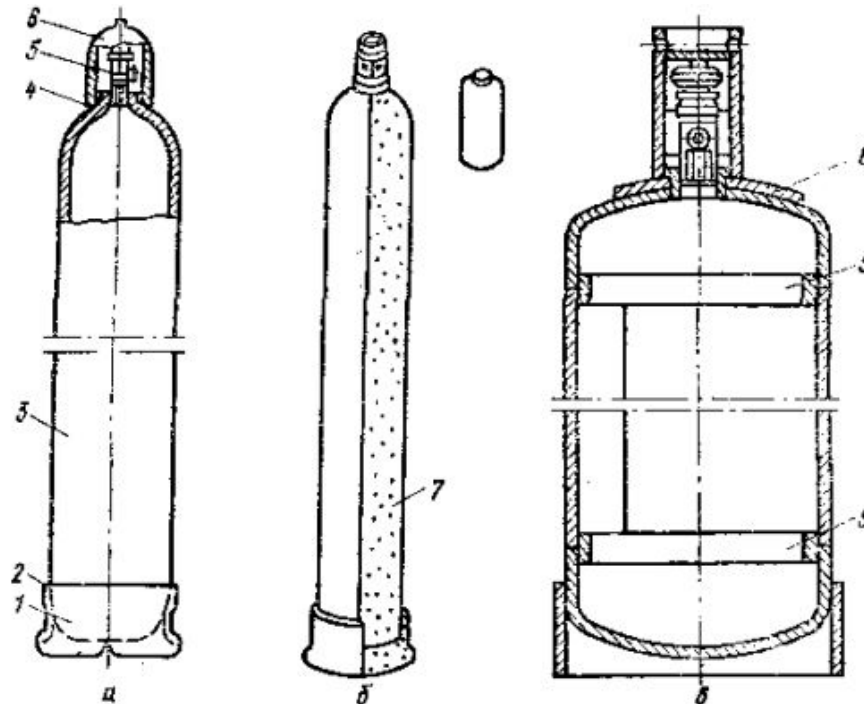
Общая энергия взрыва определяется как:

$$E = [(P_1 - P_0)/(k_r - 1)]V_1, \text{ кДж}$$

P_1 - начальное давление в сосуде, кПа

V_1 - объем сосуда, м³

k_r - показатель адиабаты газа, для воздуха 1,4



ВЗРЫВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПЕРЕГРЕТЫМИ ЖИДКОСТЯМИ

- К **I категории** отнесены вещества с критической температурой ниже окружающей среды (криогенные вещества – сжиженный природный газ (СПГ), азот, кислород).
- Ко **II категории** отнесены вещества с критической температурой выше, а точкой кипения ниже, чем температура окружающей среды (сжиженный нефтяной газ (СНГ), пропан, бутан, аммиак, хлор).
- **III категорию** составляют жидкости, у которых критическая температура выше температуры окружающей среды (вещества, находящиеся в обычных условиях в жидком состоянии, например, вода, бутан – в холодную погоду).
- **IV категория** – вещества, содержащиеся при повышенных температурах - водяной пар в котлах, циклогексан, и другие жидкости под давлением и температуре, превышающей их точку кипения при атмосферном давлении.

Возможные сценарии развития аварий с перегретыми жидкостями

Жидкости I категории - возникает кипение жидкости с интенсивностью, пропорциональной скорости подвода теплоты, может возникнуть «беспламенный взрыв»

Жидкости II категории:

В случае **полного разрушения сосуда** пары образуют полусферическое облако (пар + жидкость), которое может воспламениться с образованием *огневого шара*.

При нарушении герметичности сосуда **выше уровня жидкости** (трещины, коррозия, усталостные явления, механические повреждения и т.п.) происходит истечение пара (паро-жидкостной смеси), может возникнуть *струевое пламя* или образующееся облако пара может воспламениться с образованием *огневого шара*.

При пробое сосуда **ниже уровня жидкости** возникает однофазная струя, мгновенно испаряющаяся вне сосуда.

Возможные сценарии развития аварий с перегретыми жидкостями

Жидкости III категории: сценарий развития аварии зависит от вида и места нарушения герметичности сосуда.

Жидкости IV категории - мгновенное испарение либо частичная конденсация выброшенного пара (в случае низких температур ОС).

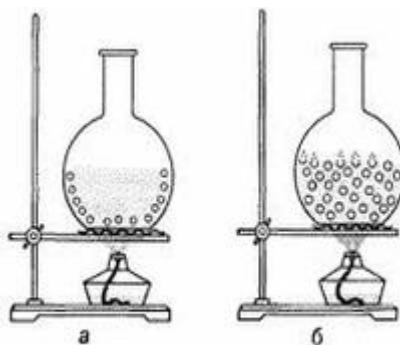


Рис. 82



ВЗРЫВЫ ПАРОГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Дефлаграционное горение - продукты сгорания нагреваются до температуры 1500-3000 °С и генерируют ударные волны с $\Delta P_{\text{ф}} = 20-100$ кПа.

Детонационный процесс - скорость распространения пламени достигает 1-5 км/с, $\Delta P_{\text{ф}}$ в пределах детонирующего облака может достигать 2 МПа.

Граница ударной волны в пределах ГПВ облака $R_0 = 0,78V_0^{1/3}$

Скорость распространения ударной волны $D = [2(k^2 - 1)Q_m]^{1/2}$

Время полной детонации облака $T = \frac{R_0}{D}$

Давление во фронте ударной волны $\Delta P_1 = 4(k - 1)Q_m \rho_{\text{ctx}} - P_0$

$$\Delta P_2 = \frac{1}{2} \Delta P_1$$

m_r - масса горючей компоненты ПГВС, кг

m_r – молекулярная масса горючей компоненты, кг/моль

$C_{стx}$ – концентрация горючей компоненты в ПГВС при стехиометрическом соотношении топливо-воздух

v – коэффициент, зависящий от способа хранения продукта,
1,0 для газов при атмосферном давлении,
0,5 для газов в сжиженном состоянии,
0,02-0.07 при растекании легко воспламеняющихся жидкостей

Q_m – теплота взрыва, Дж/кг

- При повышенном давлении в сосуде со сжатым газом или перегретой жидкостью, постороннем механическом воздействии и т.п. в стенке сосудов возникают напряжения, которые при достижении определенной величины могут привести к разрушению сосуда.
- Разлетающиеся осколки сосудов или оболочек взрывчатых веществ являются основными источниками вторичных эффектов.
- К ним относятся разрушения зданий и сооружений, детонация взрывоопасных веществ, поражение оборудования осколками, воспламенение пожароопасных материалов и веществ, объединяемое общим термином «Эффект домино».
- Размеры зон возникновения вторичных эффектов определяется границами зон поражения соответствующих поражающих факторов.

Взрыв Газа в Москве 10 мая 2009г.



Взрыв газа произошел в Москве 10 мая 2009г. около полуночи на Озерной улице. За ним последовал пожар, высота пламени достигала, по разным оценкам, от 200 до 300 метров. В результате пострадали пять человек: водители и пассажиры машин, проезжавших по МКАДу недалеко от места инцидента. Из района эвакуированы около 130 машин, 14 автомобилей сгорели. Авария повредила телефонную связь в двух районах Москвы — Солнцево и Новопеределкино. Связь была восстановлена в понедельник. Потушен через 15 часов после возникновения

Расчёт степени разрушения
промышленных объектов при взрыве
топливо-воздушной смеси (ТВС)

Причиной взрывов и пожаров часто является образование топливо-воздушных смесей. Такие взрывы возникают как следствие разрушение ёмкостей с газом , коммуникаций, агрегатов, трубопроводов или технологических линий. При разрушении агрегатов или коммуникаций возможно истечение газов или углеводородных продуктов, что приводит к образованию взрыво- или пожароопасной смеси. Взрыв такой смеси происходит при определённой концентрации газа в воздухе. Например, если в 1 м³ воздуха содержится 21 л пропана, то возможен взрыв, если 95 л – возгорание.

Значительное число аварий связано с разрядами статического электричества, которое является следствием электролиза жидкостей и сыпучих веществ при их транспортировке по трубопроводам, когда напряжённость электрического поля может достичь величины 30кВ/см. Разность потенциалов между телом человека и металлическими частями оборудования может достигать десятков киловольт.

Сильным взрывам пылевоздушной смеси (ПлВС), как правило, предшествуют локальные хлопки внутри оборудования, при которых пыль переходит во взвешенное состояние с образованием взрывоопасных концентраций. В закрытых аппаратах создаётся инертная среда, обеспечивается достаточная прочность аппарата и противоаварийная защита. До 90 % аварий связано со взрывом парогазовых смесей (ПрГС), при этом до 60 % таких взрывов происходит в закрытой аппаратуре и трубопроводах.

При взрыве ТВС образуется очаг поражения с ударной волной и световым излучением (огненный шар). В очаге взрыва ТВС выделяются три сферические зоны (рис.1).

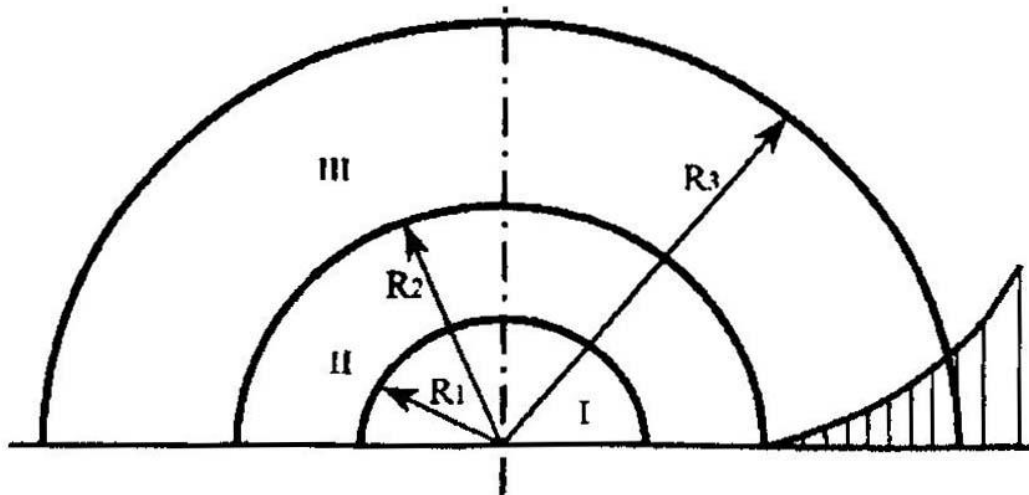


Рис.1. Зоны в очаге поражения
 R_1 , R_2 , R_3 – радиусы внешних границ соответствующих зон