

# Лекция 10

# Теория горения и взрывов

доктор технических наук, профессор

---

Лепешкин Олег Михайлович

# **Тема 3: Классификация процессов горения газов, жидкостей и твердых веществ**

## **3.2. Переход горения в детонацию. Взрыв**

### **Учебные вопросы**

- **ВЗРЫВ**
-



## Учебная литература:

- 1. Зинченко А.В. Теория горения и взрыва, 2016.  
URL:  
[http:// elib.spbstu.ru/dl/2/s16-138.pdf](http://elib.spbstu.ru/dl/2/s16-138.pdf)**
-

# Типы взрывов

---



Взрывчатые вещества – индивидуальные вещества или смеси, способные под влиянием какого-либо внешнего воздействия (нагревание, удар, трение, взрыв другого ВВ) к быстрой самораспространяющейся химической реакции с выделением большого количества энергии и образованием газов.

Для взрывчатых веществ характерны два режима химического превращения – детонация и горение.

Детонация – распространение со сверхзвуковой скоростью зоны быстрой реакции в результате передачи энергии посредством ударной волны. Материалы, находящиеся в контакте с зарядом детонирующего ВВ, сильно деформируются и дробятся (местное или бризантное действие взрыва), а образующиеся газообразные продукты при расширении перемещают их на значительное расстояние (фугасное действие).

Бризантность – способность ВВ при взрыве производить дробление среды в непосредственной близости к заряду. Чем мельче осколки, тем более бризантное вещество.

---

# ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

**Иницирующие**

Гремучая ртуть  
Азиад свинца  
Тетразен

**Дробящие**

Тротил  
Мелинит  
Гексоген

**Метательные**

Порох (дымный,  
бездымный)

**Пиротехнические**

Зажигательные  
и трассирующие  
составы

**применяются**


капсюли –  
воспламенители,  
капсюли –  
детонаторы

разрывные заряды  
мин, снарядов, при  
взрывных  
работах

для метания  
пуль,  
снарядов,  
мин

в осветительных  
ракетах,  
трассирующих  
пулях, гранатах,  
снарядах






Иницирующие ВВ применяются для возбуждения в других ВВ взрывчатого превращения в виде горения или детонации. Поэтому их используют для снаряжения средств инициирования: капсулей-детонаторов, капсулей-воспламенителей и др.

Важнейшим представителем ИВВ являются однородные вещества: гремучая ртуть, азид свинца, ТНРС и др., а также некоторые механические смеси, содержащие ИВВ и ряд других добавок: ударные, накольные, воспламенительные и другие составы. ИВВ очень чувствительны к тепловым и механическим внешним воздействиям.

---



Бризантные ВВ служат для целей дробления и разрушения. Применяются в качестве зарядов в инженерных и других боеприпасах. Они сравнительно мало чувствительны к внешним воздействиям (удару, трению, тепловому воздействию, прострелу пулей) и для возбуждения в них взрывчатого превращения применяются ИВВ. Поэтому, иногда инициирующие ВВ называют первичными, а бризантные - вторичными.

Основной вид взрывного превращения БВВ - детонация. Бризантные ВВ могут представлять собой однородные вещества: тротил, гексоген, тэн, тетрил и др. и неоднородные вещества, к которым относятся смеси и сплавы веществ (МС, ПВВ-4, ТГ-40 (60), ПВВ-7, ЭВВ-11 и др.). Применение смесей и сплавов вызвано тем, что индивидуальные ВВ не всегда удовлетворяют всем техническим и производственно-экономическим требованиям, предъявляемым к БВВ. Кроме того, применение сплавов и смесей расширяет сырьевую базу БВВ.

---



**Метательные ВВ** – под действием начального импульса горение в детонацию не переходит. К ним относится порох и твердое ракетное топливо. В ствольных системах используют порох на основе нитрата целлюлозы: пироксилиновые и баллиститы. В ракетных системах в основном применяют композиции, содержащие небольшое количество полимерного связующего, окислитель, горючее (алюминий), а иногда и мощные индивидуальные ВВ.

**Пиротехнические составы**- это механические смеси неорганического окислителя с органическими, металлическими горючими и цементаторами (регулирующими добавками), дающие при горении световые, тепловые, дымовые, звуковые и реактивные эффекты. Основным видом их взрывчатого превращения является горение, при известных условиях они способны к детонации и обладают сравнительно высокой чувствительностью к внешним воздействиям. Применяются они для получения соответствующего пиротехнического эффекта (сигнального, осветительного, трассирующего, зажигательного и др.)

---

## Сокращенные названия взрывчатых веществ:

ТНТ – тринитротолуол

ТЭН (пентолит) – тетранитропентозэритрит

ТГ – смесь или сплав тротила с гексогеном

ПВВ – пластичное взрывчатое вещество (пластит)

ГР – граммонит

ДИНА – диэтанолнитраминдинитрат

Тетрил – тринитрофенилметилнитрамин

Октоген – циклотетраметилентетранитрамин

Гексоген – 1,3,5-тринитро-3,5-триозоциклогексан

Окфол – флегматизированный октоген.



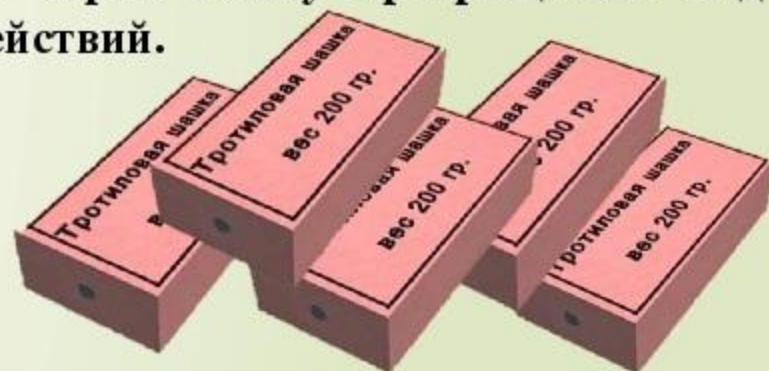
# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Скорость детонации - это скорость распространения фронта детонационной волны относительно исходного неподвижного вещества.



Чувствительностью ВВ - называется большая или меньшая способность к взрывчатому превращению под влиянием внешних воздействий.

Энергия взрывчатого превращения - это количество тепла, которое выделяется при взрыве 1 кг тротила.



Бризантность – это возможность ВВ дробить предметы, находящиеся рядом с ним. Бризантные ВВ подходят для снаряжения мин, бомб, снарядов, т.к. дают осколкам наибольшую скорость и ударную волну.

Фугасность – это способность разрушить и выбросить с заданной территории взрыва, находящиеся рядом материалы (кирпич, бетон и т.д.).





## Характеристики и свойства взрывчатых веществ

К основным характеристикам ВВ относятся:

- плотность ВВ -  $\rho_0$ , кг/м<sup>3</sup>;
- удельная энергия взрывного превращения -  $Q_0$ , ккал/кг;
- скорость детонации -  $DД$ , м/с;
- бризантность, мм;
- фугасность, см<sup>3</sup>;
- физическая стойкость;
- химическая стойкость.
- удельный объем образовавшихся при взрыве газов -  $V$ , м<sup>3</sup>/кг;
- температура взрыва –  $T$  (К, 0С).

**Плотность ВВ** - одна из основных характеристик. Плотность ВВ в значительной мере влияет на удельную энергию взрывного превращения и скорость детонации.

**Удельная энергия взрывного превращения** - одна из основных характеристик, рассчитывается теоретически на основе реакций взрывчатого превращения или определяется опытным путем при помощи специальной калориметрической установки, внутри которой взрывается (сжигается) определенное количество ВВ. По изменению температуры, зная массу и теплоемкость материала установки, а также вес испытуемого ВВ, вычисляют  $Q_0$ .

**Скорость детонации** - является одной из важных характеристик ВВ. Она определяет давление продуктов взрыва до начала их разлета. Чем выше скорость детонации, тем больше мощность взрыва и его местное действие.



## ИНИЦИИРУЮЩИЕ ВВ

(от латинского initium - начало)

Такие ВВ, которые обладают очень высокой чувствительностью и взрываются от незначительного внешнего воздействия, всегда детонируют и вызывают детонацию других ВВ.

ВВ этой группы используются для инициирования (вызова взрыва) бризантных ВВ, для взрыва которых необходимо мощное воздействие.

Применяются в капсулях-воспламенителях и в капсулях-детонаторах

К инициирующим взрывчатым веществам относятся:

а) соли гремучей кислоты и тяжелых металлов - ФУЛЬМИНАТЫ

- гремучая ртуть  $\text{Hg}(\text{ONC})_2$

- гремучее серебро  $\text{AgONC}$

б) соли азотисто-водородной кислоты - АЗИДЫ

- азид свинца  $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$

- азид серебра  $\text{AgN}_3$

- циануриазид  $\text{C}_3\text{N}_3(\text{N}_3)_3$

в) соли тяжелых металлов и стифниновой кислоты:

- стифнат свинца  $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{PbH}_{20}$

г) ТНРС (тринитрорезорцинат свинца)  $\text{C}_6\text{H}(\text{O}_2\text{Pb})(\text{NO}_2)_2\text{H}_2\text{O}$

д) тетразен  $\text{C}_2\text{H}_8\text{ON}_{10}$



## **Иницирующие взрывчатые вещества (ИВВ)**

Иницирующие ВВ отличаются от других групп ВВ тем, что они горят неустойчиво и при поджигании их горение практически мгновенно переходит в детонацию.

Было установлено, что даже при малых давлениях ИВВ горят с большой скоростью, которая резко возрастает с увеличением давления до значений, при которых горение становится неустойчивым. Однако это не единственная возможная причина неустойчивого горения ИВВ.


ИВВ характеризуются большой скоростью полного сгорания, что обуславливает достижение высокой температуры продуктов сгорания; вследствие этого новые слои ИВВ легко воспламеняются и повышается массовая скорость горения.

---



# Иницирующие взрывчатые вещества (первичные ВВ)





При наличии значительной пористости пламя легко проникает вглубь, что сопровождается резким увеличением поверхности горения, а следовательно, и увеличением массовой скорости горения, которая быстро становится больше предела, при котором еще возможно устойчивое горение.

Повышение массовой скорости горения в указанных случаях приводит к неустойчивому горению и, следовательно, к быстрому переходу в детонацию.

Под действием начального импульса на взрывчатое вещество скорость возникающего при этом превращения достигает своего предельного для данных условий значения не сразу, а лишь спустя некоторый промежуток времени. Нарастание скорости детонации можно характеризовать также толщиной слоя ВВ, при прохождении которого достигается предельная (устойчивая) скорость детонации. Толщину этого слоя ВВ называют участком разгона детонации.

---



*Основными параметрами, характеризующими процесс взрыва в замкнутом объеме газа-, паравоздушных смесей являются:*

- максимальное давление взрыва;
- скорость нарастания взрыва;
- температура взрыва;
- время достижения максимального давления взрыва.

В зоне А происходят интенсивный подогрев горючей смеси, диффузия активных центров и протекание химической реакции. Эта зона характеризуется распространением фронта пламени по горючей газа-, паравоздушной смеси. Фронт пламени часто рассматривают как поверхность, разделяющую холодную горючую смесь и горячие продукты сгорания.

Скорость перемещения фронта пламени по горючей смеси определяет интенсивность процесса горения и является его важнейшей характеристикой.

В зоне Б наблюдается резкое изменение давления до  $P_{\max}$  за счет образования большого количества газообразных продуктов в результате химической реакции. При достижении максимального давления возникает взрыв, причем  $P_{\text{взрыва}} > P_{\max}$ .

---

