

# Чувствительность взрывчатых систем к внешним воздействиям

Наличие у ВВ взрывчатых свойств определяет лишь потенциальную возможность их взрывчатого превращения. Чтобы эта возможность реализовалась, необходимо произвести на ВВ воздействие, способное вызвать в нем горение или взрывчатое превращение.

Такие воздействия называют начальными или инициирующими импульсами. Способность ВВ реагировать на внешние воздействия возникновением химического превращения в форме горения или взрыва называется **чувствительностью ВВ** к внешним воздействиям.

Чувствительность ВВ - важнейшая характеристика, определяющая нередко как принципиальную возможность технического применения ВВ, так и области применения.

К оценке чувствительности подходят с двух позиций:

- с точки зрения безотказности возбуждения ВВ конкретным начальным импульсом, в случаях, когда возбуждение носит преднамеренный характер;
- с точки зрения оценки степени опасности обращения с конкретной ВС в случаях, когда внешнее воздействие носит случайный характер.

Требования по чувствительности ВС с позиций безотказности и безопасности прямо противоположны, поэтому требования по чувствительности, предъявляемые к различным ВВ с учетом их назначения, различны. Таким образом ВС должны обладать оптимальной чувствительностью к внешним воздействиям.

## Виды начальных импульсов

В качестве начальных импульсов могут выступать различные виды воздействий, т.е. различные формы энергии:

- тепловая (контактный нагрев, открытый огонь)
- механическая (статический удар, трение, накол)
- электрическая
- энергия излучения (лазерное, инфракрасное, рентгеновское)
- детонационный импульс, т.е. энергия взрыва ВВ
- ударно-волновое воздействие
- ультразвуковые волны
- энергия ядерных частиц
- механические динамические воздействия (сверхзвуковой удар)
- и др.

Любое внешнее воздействие сводится к тому, что ВВ получает из вне энергию.

ВВ обладают **избирательной** чувствительностью к различным начальным импульсам, например, азид свинца более чувствителен к механическим воздействиям, чем гексоген, но менее чувствителен к контактному нагреву ( $T_{всп}$ ) по сравнению с гексогеном. Поэтому чувствительность к внешним воздействиям классифицируют по видам начального импульса т.е. рассматривают чувствительность к удару, лучу огня, ударной волне и т.д.

## **Чувствительность к механическим воздействиям**

Механические воздействия: удар, трение, накол. Чувствительность к механическим воздействиям - способность ВС к химическим превращениям в форме горения или взрыва при воздействии удара, трения, накола.

Чувствительность к удару и трению порохов, СТРТ, БВВ исследуется только с целью оценки степени опасности обращения с ними в условиях производства, переработки, снаряжения, транспортировки и т.п., где избежать механического воздействия практически невозможно.

Чувствительность ИВВ к механическим воздействиям исследуется как для оценки уровня их опасности, так и для оценки безотказности их срабатывания от удара, трения, накола.

**Механическое воздействие - самый распространенный вид случайного воздействия на ВВ.**

## Механизм возбуждения ВС в условиях механических воздействий

Существует тепловая и нетепловая теории возбуждения взрыва при механических воздействиях.

Согласно нетепловой теории (Г. Каст, В. Тейлор, А. Уиль, А. Убеллоде и др) взрыв происходит в результате активации молекул ВВ без тепловой стадии. По одной модели активация происходит под влиянием критических напряжений всестороннего сжатия, за счет которого разрушатся молекула ВВ - теория критических напряжений. По другой модели активация молекул происходит на поверхностях трения, где в условиях механических воздействий за счет возникающих сдвиговых напряжений происходит разрушение внутримолекулярных связей - трибохимическая гипотеза.

По современным представлениям, невозможность реализации трибохимических реакций обусловлена тем, что внутримолекулярные связи значительно прочнее межмолекулярных. Поэтому при возникновении в заряде сдвиговых напряжений в первую очередь разрушаются межмолекулярные связи, при этом никакой активации за счет разрыва внутримолекулярных связей произойти не может.

Что касается теории критических напряжений, то по данным Бриджмена ВВ могут выдерживать колоссальные статические давления всестороннего сжатия (до сотен тысяч атмосфер) не возбуждаясь при этом, а при ударе и трении взрываются от давлений не превышающих десятков тысяч атмосфер.

Согласно **тепловой** теории (Бертло, Харитон, Беляев, Боуден, Иоффе и др.) под влиянием механических воздействия происходит разогрев ВВ, вызывающий его химическое превращение. Тепловая теория опирается на теорию локальных разогревов, или, что то же самое, теорию "горячих точек". Последняя основывается на том, что заряд ВВ по своей структуре неоднороден. В нем имеются пустоты, области повышенной плотности, частицы ВВ различной формы и размера, примеси, добавки и т.п. В условиях механических воздействий из-за неоднородности заряда возникает неоднородное поле напряжений, в результате чего энергия распределяется не равномерно по всему заряду, а концентрируется в отдельных его точках, в которых и возникают локальные очаги разогрева ВВ. В этих "горячих точках" происходит термическое разложение ВВ, которое по достижении критических условий завершается тепловым взрывом.

По оценкам Боудена и Иоффе размер "горячих точек", приводящих к взрыву, составляет  $10^{-3}$  -  $10^{-5}$  см, а температура соответственно  $T = 700 - 900^{\circ}$  К. При этом продолжительность воздействия должна быть больше времени задержки воспламенения в "горячей точке".

## **Механизм образования локальных очагов разогрева**

В зависимости от природы ВВ и условий деформации заряда при механических воздействиях возможна реализация различных механизмов образования "горячих точек".

## **Механизм адиабатического сжатия газовых включений**

Этот механизм может реализоваться в жидких, пластичных и эластичных ВВ, в литых зарядах поликристаллических ВВ, т.е. в ВС, которые могут содержать внутри заряда замкнутые газовые включения, нередко заполнение парами ВВ.

При ударе по заряду ВВ происходит адиабатическое сжатие газовых включений, их разогрев и, по достижении критических условий теплового взрыва, возбуждение взрывного процесса.

## **Механизм разогрева при вязком истечении ВВ**

Этот механизм может реализоваться в жидких, пластичных и низкоплавких ВС при их быстром истечении через узкие зазоры между поверхностями, или через узкие фильеры в процессе ударного воздействия.

## Механизм сухого трения между кристаллами ВВ

Этот механизм наиболее вероятен для поликристаллических ВС. При механических воздействиях происходит прочностное разрушение заряда. При этом на поверхности разрыва в результате сухого трения образуются локальные очаги разогрева. Возбуждение взрывного процесса может произойти лишь в том случае, если среднее давление всестороннего сжатия ( $\bar{P}$ ) в заряде достигает некоторого критического значения ( $\bar{P}_{кр}$ ), при котором температура плавления ВВ будет равна или больше критической температуры возбуждения взрыва в локальном очаге.

Температура плавления, как известно, является функцией давления

$$T_{пл p} = T_{пл p=1} + a \cdot P, \quad (3.1)$$

где  $a \approx 2 \cdot 10^{-2} \text{ град/атм}$ .

В условиях механических воздействий за счет развивающегося давления температура плавления существенно возрастает и вспышка наступает раньше, чем плавление вещества. Поэтому первое критическое условие возбуждения взрыва записывается в виде неравенства

$$\bar{P} \geq \bar{P}_{крит}, \quad (3.2)$$

это соотношение называется "условием критических напряжений".

Если это условие не выполняется, то происходит прочностное разрушение заряда ВВ, без вспышки.

Кроме того, давление  $\bar{P}$ , развивающееся в заряде при механическом воздействии должно быть, по крайней мере, равным давлению разрушения заряда,  $\bar{P}_{пр}$ , таким образом вторым критическим условием возбуждения взрыва является неравенство:

$$\bar{P} \geq \bar{P}_{пр}, \quad (3.3)$$

$$P_{прочн} = \sigma_{пр} \cdot \left( 1 + \frac{D}{3\sqrt{3} \cdot h} \right), \quad (3.4)$$

где  $\sigma_{пр}$  - предел прочности заряда;

$h$  - высота заряда;

$D$  - диаметр заряда.

Неравенство (3.3) называется “условием прочности”. Если не выполняется условие прочности, при ударе происходит упругое сжатие заряда без разогрева. Взрыв при ударе заряду ВВ возникает только при одновременном выполнении обоих условий:  $\bar{P} \geq \bar{P}_{крип}$   
 $\bar{P} \geq \bar{P}_{пр}$ .

**Кавитационный механизм реализуется только в маловязких ЖВВ.**

При любом механизме образования локальных очагов разогрева возбуждение взрывного процесса может произойти при условии деформации заряда ВВ, причем деформация должна протекать за сравнительно короткий промежуток времени,  $\tau = 10^{-3}$  с и менее.



## Зависимость чувствительности к механическим воздействиям от различных факторов

Чувствительность ВВ к механическим воздействиям зависит от их состава и строения, кинетических характеристик ВВ, теплофизических и механических характеристик заряда, размера и дефектности кристаллов, в некоторых случаях от кристаллической модификации и др.

Чрезвычайно значительную роль при этом могут играть случайные примеси и различного рода технологические добавки. Примеси и добавки в зависимости от их природы могут повышать или понижать чувствительность ВВ к механическим воздействиям. Вещества, повышающие чувствительность, принято называть СЕНСИБИЛИЗАТОРАМИ, а понижающие чувствительность - ФЛЕГМАТИЗАТОРАМИ.

**Сенсибилизаторами**, как правило, являются вещества с высокой температурой плавления и большой твердостью (кварцевый песок, битое стекло, металлические порошки, опилки, стружки и т.п.). Важную роль при этом играют размер и форма такого рода частиц: особую опасность представляют частицы с острыми рваными краями. Подобные примеси способствуют увеличению неоднородности структуры заряда, повышают коэффициент трения, тем самым способствуют увеличению числа "горячих точек" с критическими параметрами, т.е. увеличивают вероятность возникновения взрыва.

Необходимо иметь в виду, что особую опасность представляют инертные примеси, которые в условиях локального очага разогрева химически взаимодействуют с ВВ с значительным тепловыделением. К числу таких примесей относятся порошки химических активных металлов, таких, например, как цирконий, гафний, а также окислители, вводимые в состав БВВ.

**Флегматизаторы** - это мягкие вещества с низкой температурой плавления, такие, как парафин, церезин, воски, каучуки, масла, ПАВы и т.п.

Обволакивая частицы ВВ тонкой пленкой, они снижают коэффициент трения между частицами ВВ, делают заряд более однородным, отбирают на себя часть тепла, тем самым снижая вероятность образования локальных очагов разогрева с критическими параметрами.

Существует направление химической флегматизации, когда в состав ВВ вводятся добавки, химически связывающие активные центры в "горячих точках".

## **3.2. Чувствительность ВС к тепловым воздействиям**

Тепловое воздействие - один из весьма распространенных видов внешнего воздействия, который часто встречается в процессе производства, переработки, снаряжения и применения ВС. Оно может проявляться в форме контактного нагревания, или в форме действия открытого пламени на ВВ.

### **Чувствительность ВВ к нагреванию (контактный нагрев)**

ВВ при нагревании термически разлагаются с выделением тепла. Если при этом теплоприход будет превышать скорость отвода тепла вследствие теплопроводности, температура в массе ВВ начнет повышаться и реакция пойдет с ускорением вплоть до возникновения вспышки. Наиболее вероятным при этом является тепловой механизм ускорения реакций. Таким образом, вспышке предшествует период самоускорения реакций, который принято называть ПЕРИОДОМ ИНДУКЦИИ или ПЕРИОДОМ ЗАДЕРЖИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ.

Температура, при которой химическая реакция вследствие самоускорения принимает характер взрывчатого превращения, называется **ТЕМПЕРАТУРОЙ ВСПЫШКИ**.

Температура вспышки не является константой данной ВС, она зависит от условий испытаний. Поэтому условия испытаний при определении температуры вспышки строго регламентируются.

В России приняты два варианта испытаний:

- Температуру вспышки определяют при 5-секундной задержке воспламенения (метод ЛТИ)
- Температуру вспышки определяют при 5-минутной задержке воспламенения (метод артиллерийской академии).

**Методика ЛТИ:** навеска ВВ (ИВВ-0.02 г.; БВВ, ТРТ - 0.05-0.1 г.) помещается в гильзу, которая вводится в сосуд с теплоносителем, нагретым до заданной температуры. В момент введения гильзы в теплоноситель включается счет времени, в момент вспышки выключается. Снимается зависимость времени задержки вспышки от температуры в интервале температур, включающем температуру, соответствующую стандартной задержке воспламенения.

Температура (Т)- регистрируется термопарой, время задержки (τ) - электросекундомером.

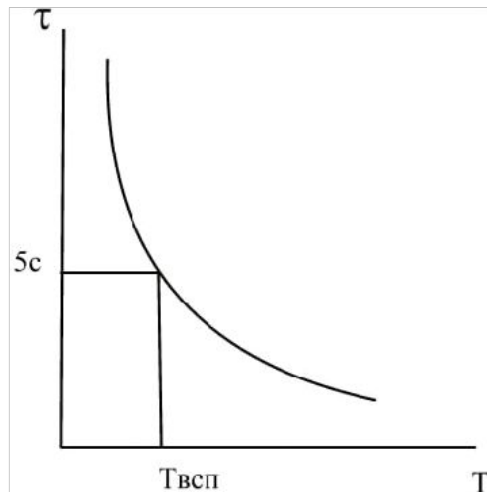


Рис. 3.10. Зависимость температура - время в методе ЛТИ

По экспериментальным данным  $\tau(T)$  строят графическую зависимость (рис. 3.10), из которой находят температуру вспышки. Зависимость периода задержки воспламенения от температуры описывается уравнением Семенова-Тодеса:

$$\tau = B \cdot e^{\frac{E}{RT}},$$

где  $B$  - предэкспонента, определяемая видом ВВ и условиями опыта,  $B = 10^{-8} - 10^{-14}$  с. Из этого уравнения можно рассчитать энергию активации термораспада. Конденсированные ВВ воспламеняются в диапазоне  $T = 125 - 400$  °С.

Чувствительность к нагреванию определяется только для оценки безопасности обращения с ВВ в условиях нагрева.

### Чувствительность к лучу огня (ЧЛО)

Для ИВВ этот вид чувствительности связан как с вопросами безотказности действия, так и с техникой безопасности, для БВВ только с техникой безопасности.

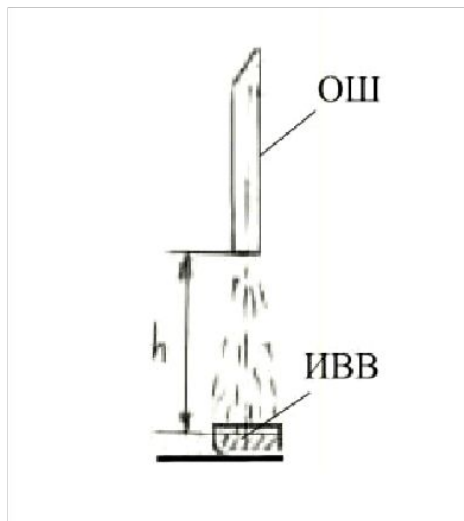


Рис. 3.11. Схема определения ЧЛО

При определении ЧЛО лучом огня служит форс пламен огнепроводного шнура, а воспламеняющим агентом являются горящие порошинки. Вероятность воспламенения при попадании раскаленных частичек пороха на поверхность заряда ВВ зависит от большого числа факторов: химической природы ВВ, характер поверхности заряда, размера горящих частиц, и т.д.

Методика для определения ЧЛО ИВВ: навеска ИВВ (0,02 г.) помещается в стандартный латунный колпачок. На определенной высоте над зарядом закрепляется отрезок ОШ (см. рис 3.11). При поджигании ОШ луч огня попадает на поверхность заряда ВВ и в зависимости от высоты и сложившихся условий дает взрыв или отказ. Чувствительность характеризуют либо нижним  $h_0$ , либо верхним  $h_{100}$  пределом чувствительности, рис. 3.12.

Чувствительность к лучу огня БВВ обычно исследуют, помещая заряд (1-2 г.) в стеклянную пробирку, в которую вводят отрезок ОШ и поджигают. При этом регистрируют характер поведения ВВ.

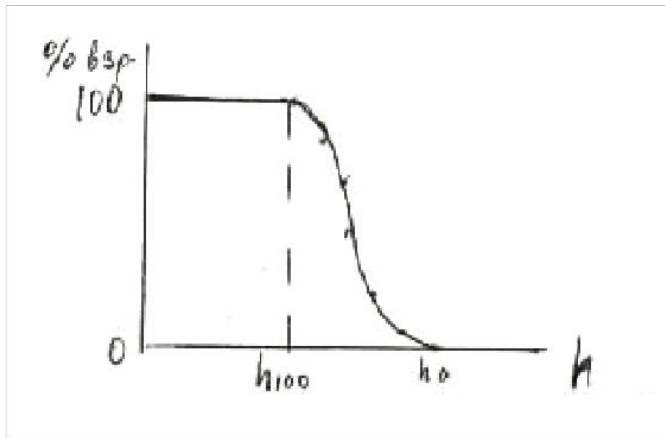


Рис. 3.12. Зависимость % взрывов от расстояния ВВ- ОШ

Примечание: для новых ВВ полезна предварительная проба: на раскаленную до красна металлическую пластину бросают ~0,005г ВВ, при этом возможны следующие варианты поведения:

- вспышка с резким звуковым эффектом, характерна для ИВВ
- вспышка без звука, характерна для некоторых ИВВ и мощных БВВ
- сравнительно медленное сгорание, характерно для некоторых БВВ
- разложение без воспламенения, характерно для некоторых БВВ

## Электризация ВВ. Чувствительность ВС к электрическому импульсу

подавляющее большинство ВВ - это диэлектрики, способные к электризации. Статическая электризация возникает при трении поверхностей диэлектриков друг о друга или о поверхности металла, при механическом разрушении диэлектриков, при распылении твердых и жидких аэрозолей, при движении частиц в газовом потоке. Внедрение в технологию производства ВВ таких процессов, как сушка в кипящем слое, пневмотранспортировка ВВ и т.п. усугубили проблему электризации ВВ на стадии производства.

За счет электризации ВВ могут возникать технологические помехи, такие как налипание ВВ на стенки аппаратов и трубопроводов, что ведет к ухудшению теплообмена, сужению каналов трубопровода; наэлектризованные порошкообразные ВВ комкуются, затрудняется их пересыпание и просеивание. Главная же опасность состоит в том, что накопленный на оборудовании или продукте заряд может превзойти электрическую прочность окружающей среды; возникший при этом электрический разряд может вызвать воспламенение и даже детонацию ВВ.

Фактическая электризация ВВ существенно зависит от условий, в которых она протекает: скорости движения частиц (чем больше скорость, тем выше электризация), дисперсности частиц (чем они мельче, тем выше электризация), влажности (чем она выше, тем ниже электризуемость) и др.



Меры защиты от электризации:

1. Непрерывный отвод образующихся зарядов путем заземления оборудования.

2. Если диэлектрические свойства ВВ высоки, кроме заземления принимаются меры для повышения объемной и поверхностной проводимости:

- увлажнение поверхности частиц, поддержание в рабочем помещении высокой относительной влажности (выше 65%);

- если повышение влажности неэффективно или недопустимо, в состав ВВ вводят антистатические добавки (ПАВы);

- используются электропроводящие добавки: металлы, графит и т.п.

Обслуживающий персонал должен быть в электропроводной одежде и обуви. (Человек, изолированный от земли, может накопить на себе заряд до 15000 вольт).

В условиях производства в наиболее опасных с точки зрения электризации узлах устанавливаются приборы, непрерывно регистрирующие фактический уровень электризации

### Чувствительность ВВ к искровому электрическому разряду

Искровой разряд может возникнуть от блуждающих токов, от статической электризации и других причин.

В момент пробоя в разрядном промежутке образуется тонкий токопроводящий канал с плотностью тока порядка  $10^4$ - $10^5$  А/см<sup>2</sup>. При этом за время  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  с воздух прогревается до температуры порядка 10000°К, в результате чего в разрядном канале образуется ударная волна.

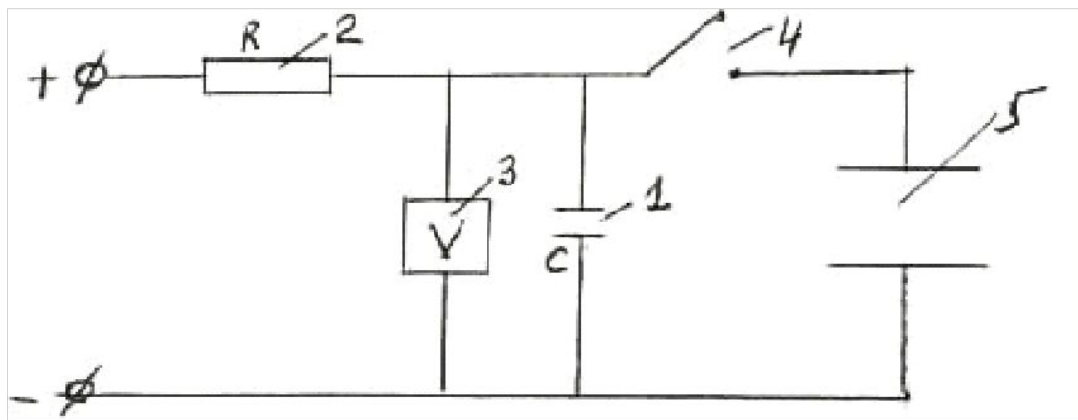


Рис. 3.13. Схема определения чувствительности ВВ к электрическому разряду (пояснения в тесте)

Если в разрядном промежутке оказывается ВВ в виде пыли или порошка, оно может воспламениться и даже детонировать. Для оценки вероятности воспламенения определяют чувствительность ВВ к искровому разряду.

Схема установки по определению чувствительности к искровому разряду приведена на рис 3.13.

Методика: накопительный конденсатор 1 заряжается через зарядное сопротивление напряжение на конденсаторе контролируется осциллографом 3. При замыкании цепи происходит разряд конденсатора через искровой зазор 5, в котором находится испытуем ВВ.

В зависимости от напряжения конденсатора и сложившихся условий происходит воспламенение ВВ или отказ. Для оценки чувствительности строят зависимость  $\%взр=f(E)$

$$E = \frac{CU^2}{2} \text{ (Дж) , (3.4)}$$

где E - энергия искрового разряда;

C- емкость конденсатора;

U- напряжение на конденсаторе.

Чувствительность характеризуют энергией искрового разряда, соответствующей нижнему пределу чувствительности ( $E_0$ ), см рис. 3.14.

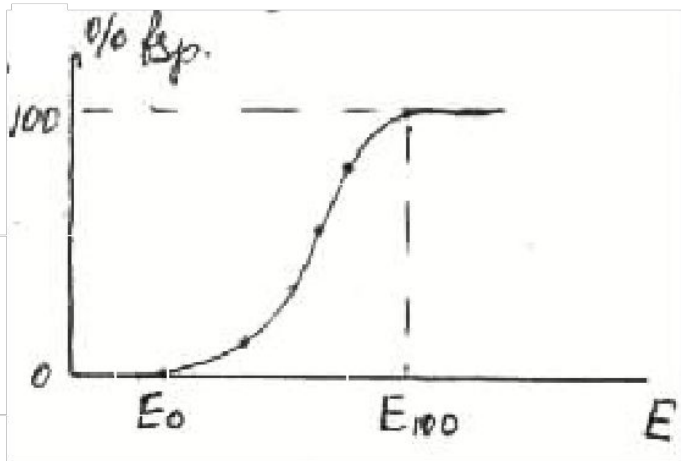


Рис. 3.14 Зависимость % взрывов - энергия искрового конденсатора

Чувствительность к искровому разряду зависит от влажности продукта, его плотности, размера частиц и др.

Чрезвычайно чувствительны к искровому разряду ИВВ. Из БВВ наибольшей чувствительностью в насыпном виде обладает гексоген, в виде пыле-воздушной смеси высокой чувствительностью отличается гексоген и ТНТ.

Допустимая электризация на том или ином участке оборудования или продукте определяется неравенством :

$$E_n \leq E_0 \cdot K_\sigma \quad , \quad (3.5)$$

- где  $E_n$  - допустимая энергия искрового разряда с наэлектризованного продукт или участка оборудования;  
 $E_0$  - энергия, соответствующая нижнему пределу чувствительности;  
 $K_\sigma$  - коэффициент безопасности, в зависимости от условий от 0.4 до 0.1.