

Лекция 9

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)**
-

ВЗРЫВ

Взрывы за счет энергии фазового перехода «жидкость—кристалл»

Причины, вызывающие взрывы:

- вскипание расплава;
- быстрая (мгновенная) перекристаллизация расплава, т. е. быстрое образование кристалла.

Исследования механизмов таких взрывов показали, что их не удастся объяснить с позиции «вскипания» жидкости с последующим образованием метастабильного состояния. Энергия таких взрывов определяется энергией скрытого перехода в системе «жидкость-кристалл»>>.

Физическая детонация

При смешении горячей и холодной жидкостей, когда температура одной из них значительно превышает температуру кипения другой (например, при выливании расплавленного металла в воду), может возникать физическая детонация (physiral detonation, vapour explosion).

Механизм протекания физической детонации заключается в быстром (взрывном) испарении парожидкостной смеси, образовавшейся при смешении горячей и холодной жидкостей. При этом наблюдается процесс фрагментации капель расплава, обеспечивающий быстрый теплоотвод и перегрев холодной жидкости. В результате возникает ударная волна с избыточным давлением в жидкой фазе, достигающим тысячи атмосфер.

Физическая детонация происходит также при попадании холодных сред на нагретые до высоких температур поверхности.

Комбинированные взрывы

Взрывы комбинированные, т. е. взрывы, сопровождающиеся выделением энергии и образованием сжатых газов в результате последовательного протекания физического и химического взрывов (или сначала химического взрыва, затем физического), работа которых полностью или частично суммируется.

Комбинированные взрывы по природе механизма возникновения энергии подразделяют следующим образом:

- явление BLEVE;
 - ядерные взрывы;
 - термоядерные взрывы.
-

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) — взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости.

Сущность этого явления заключается в следующем: при наличии источника воспламенения происходит перегрев горючей жидкости или сжиженного горючего газа. Резкое падение давления в сосуде вызывает вскипание находящейся в нем жидкости и образование воздушной ударной волны. Ударная волна вызывает разрушения оборудования, выброс газо-, паровоздушного облака.

Причины, вызывающие явление BLEVE:

- емкости под давлением, наполненные легкокипящей жидкостью (чаще всего - сжиженным горючим газом), подвергаются внешнему нагреву;
- в процессе нагрева отмечается рост внутреннего давления.

BLEVE - термин, который используется для описания целой совокупности явлений, сопровождающих внезапное разрушение сосуда (баллона, резервуара) с перегретой горючей жидкостью или со сжиженным горючим газом при наличии источника воспламенения. Например, причиной аварий на объектах СУГ (сжиженных углеводородных элементов) является образование огненных шаров и взрывные явления типа BLEVE.

Стадии образования расширяющихся паров вскипающей горючей жидкости:

- действие пламени на сосуд, находящийся под давлением;
 - рост давления в сосуде;
 - перегрев и потеря прочности стенок, не смоченных жидкостью и, как следствие, их разрушение под действием внутреннего давления с образованием волны давления в окружающей среде;
 - выброс с одновременным диспергированием жидкости в окружающее пространство из сосуда и мгновенное ее испарение с образованием парового облака;
 - воспламенение этого облака с образованием волн давления и огненного шара.
-

Ядерные взрывы

Ядерный взрыв основан на способности определенных **изотопов тяжелых элементов урана или плутония** к делению, при котором ядра исходного вещества распадаются, образуя ядра более легких элементов. При делении всех ядер, содержащихся в 50 г урана или плутония, освобождается такое же количество энергии, как и при детонации 1000 т тринитротолуола.

Термоядерные взрывы

Существует другой тип ядерной реакции — **реакция синтеза легких ядер, сопровождающаяся выделением большого количества энергии**. Силы отталкивания одноименных электрических зарядов (все ядра имеют положительный электрический заряд) препятствуют протеканию реакции синтеза, поэтому для эффективного ядерного превращения такого типа ядра должны обладать высокой энергией. Такие условия могут быть созданы нагреванием веществ до очень высокой температуры. Процесс синтеза, протекающий при высокой температуре, называют термоядерной реакцией. При синтезе ядер дейтерия (изотопа водорода 2H) освобождается почти в три раза больше энергии, чем при делении такой же массы урана. Необходимая для синтеза температура достигается при ядерном взрыве урана или плутония.

Взрывы в средах

Взрывы происходят в различных средах. В зависимости от места первоначального выделения энергии взрывы подразделяются:

- воздушный взрыв — это взрыв заряда в газе в отсутствии отражающих поверхностей;
- подземный взрыв — взрыв заряда в грунте;
- подводный взрыв — взрыв заряда в воде;
- наземный взрыв — взрыв заряда на поверхности грунта (поверхностный).

Действие взрыва зависит от характеристик среды и от условий его осуществления, таких как глубина (высота) под или над границей раздела фаз.

Случайные взрывы

Неконтролируемые взрывы происходят случайно, поэтому их называют случайными.

Термин «случайный взрыв» включает широкий спектр взрывов, и каждый из них в отдельных своих проявлениях отличается от остальных. Причинами таких взрывов чаще всего являются процессы горения.

Случайные взрывы происходят:

- при изготовлении, хранении, транспортировке горючих, взрывоопасных веществ;
- нарушении технологических режимов, поломке оборудования.

Чаще всего взрывы имеют место в химической, нефтеперерабатывающей промышленности, при утечке природного газа и т. д.

Классификация случайных взрывов

Случайные взрывы объединены в группы, каждая из которых имеет отличительные особенности.

Случайные взрывы подразделяются:

- на взрывы газов, паров и пыли в замкнутых объемах без избыточного давления;
 - взрывы сосудов с газом под давлением;
 - взрывы, вызванные горением;
 - взрывы емкостей с перегретой жидкостью;
 - взрывы неограниченных облаков пара;
 - физические (паровые) взрывы и др.
-

Взрывы паров горючего и пыли в замкнутых объемах

Для возникновения таких взрывов необходимы следующие условия:

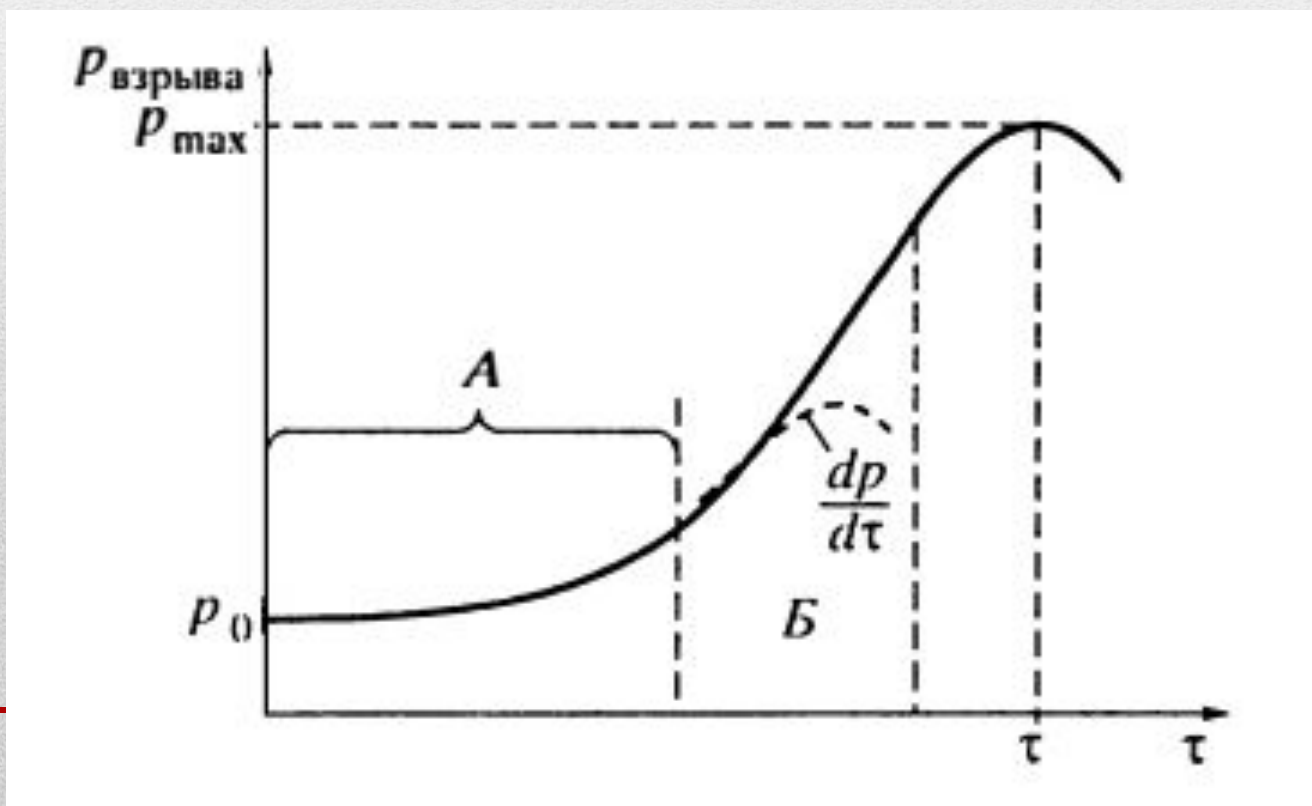
- высокая концентрация пыли в замкнутых объемах (помещениях реакторов, топочных устройствах, трубопроводах и пр.);
- спонтанное воспламенение пыли.

Для того чтобы облако пыли взорвалось, необходима такая концентрация пыли, при которой характерное расстояние поглощения и рассеяния света составляет примерно 0,2 м. Подобные облака, как правило, непрозрачны, и концентрация пыли в них выше переносимой человеком. Такие условия могут достигаться лишь внутри трубопроводов и специального оборудования, т. е. в закрытых объемах.

Взрывы пыли склонны к спонтанному воспламенению. Воспламенение возникает от источника зажигания (искра, открытый огонь и т. д.) при нижнем или верхнем концентрационных пределах воспламенения.

Параметры взрыва в замкнутом объеме

Одним из основных свойств горения газообразных смесей является самопроизвольное распространение волны химической реакции в результате передачи теплоты и диффузии активных центров. Активные центры представляют собой промежуточные продукты реакции в виде свободных атомов и радикалов, которые обладают высокой реакционной способностью. Активность этих центров усиливается, если происходит взрыв в замкнутом объеме.



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 $P_{\text{взрыва}} > P_{\max}$.



