



# Стерлитамакский филиал БашГУ

## Лекция

**Тема №1. Общие вопросы горения. Процесс горения в техносфере.**

**Преподаватель: Шафиков Рустам Минехаевич**



## Список источников

1. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ
2. С.А. Карауш. Учебник «Теория горения и взрыва». – М; Издательский центр «Академия», 2013.
3. Девисилов В. А., Дроздова Т. И. Теория горения и взрыва: практикум: учеб. пособие для вузов. – М.: Форум, 2012.
4. Кукин, П.П., Юшин В. В. – Теория горения и взрыва: учеб. пособие для бакалавров. – М.: Юрайт, 2013.
5. БиблиоТех»: <https://sspaedu.bibliotech.ru>
6. Университетская библиотека online»: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
7. Студенческая электронная онлайн библиотека: <http://yourlib.net/>



## Общие вопросы горения

**Горением** называется сложный физико-химический процесс, основой которого является быстро протекающая реакция окисления, сопровождающаяся выделением тепла и излучением света.



## Общие вопросы горения

Есть и другие трактовки термина «горение». Горением называется физико-химический процесс, для которого характерны три признака:

- химическое превращение;
- выделение тепла;
- излучение света.



## Общие вопросы горения

Например, «горение» электрической лампочки нельзя назвать горением, хотя при этом выделяются тепло и свет. В этом явлении нет одного из признаков горения - химического процесса. Свечение нити лампочки — это накаливание ее при пропускании электрического тока.

Горение представляет собой сложный физико-химический процесс превращения горючих веществ и материалов в продукты горения, сопровождающийся выделением тепла и света.



## Общие вопросы горения

Большинство веществ прекращают горение при снижении концентрации кислорода в воздухе до 12...14%, а тление — при 7...8% (водород, сероуглерод, оксид этилена и некоторые другие вещества могут гореть в воздухе при 5% кислорода).



# Таблица 1

Горючая система						
Горючее вещество		Окислитель		Источник зажигания		
Газы	Жидкости	Кислоты	Кислород	Температура	Химический	Электрический
Твердые вещества			Жащие	Ловкой	чес-	чес-
Аэрозоли	Металлы	Пластические массы	Органика (дрова, уголь)			



## Общие вопросы горения

Температура воспламенения дерева  
- 255 °С, бензина - около 200 °С,  
белого фосфора – 50 °С.



## Общие вопросы горения

Различают следующие виды процессов горения:

- самовозгорание;
- возгорание;
- воспламенение;
- вспышка.



## Основные понятия

При анализе начала процесса горения следует различать **самовозгорание** (вынужденное воспламенение — зажигание) и **самовоспламенение** (самопроизвольное воспламенение).



**Самовозгорание** — явление резкого увеличения скорости экзотермических реакций в системе, приводящее к горению вещества, материала или смеси от внесенного источника зажигания и продолжающееся в его отсутствии.

**Самовозгорание может быть:**

- тепловым;
- химическим;
- микробиологическим.



## Общие вопросы горения

При **тепловом** воздействии на материал (например, солнечная или тепловая энергия) может произойти его самовозгорание при достаточно низких температурах. Например, **температура самовозгорания**  $t_{вз}$  торфа и бурого угля составляет 50 — 60 °С, хлопка — 120 °С, бумаги — 100 °С, линолеума — 80 °С.



## Общие вопросы горения

Химическое самовозгорание связано со способностью веществ и материалов вступать в химическую реакцию с кислородом воздуха или другими окислителями при нормальных условиях с выделением теплоты, достаточной для возгорания: самовозгораются промышленная ветошь и фосфор на воздухе, легковоспламеняющаяся жидкость при контакте с марганцовкой, древесные опилки при контакте с кислотами. К самовозгоранию предрасположены и обычные химикаты, такие как скипидар, камфора, барий, пирамидон и др.



### Микробиологическое самовозгорание

связано с деятельностью мельчайших насекомых. Они в огромном количестве размножаются в спрессованных материалах, поедают все органическое и там же погибают. При их разложении выделяется теплота, которая накапливается внутри материала. Наиболее характерным примером является самовозгорание прошлогодних скирд сена.



## Общие вопросы горения

Под **самовоспламенением** горючих смесей понимается такой процесс, когда при нагреве замкнутого объема горючей смеси до некоторой температуры она самостоятельно спонтанно воспламеняется по всему объему.

**Самовоспламенение** – это возгорание, вызванное резким увеличением скорости экзотермических реакций, при нагреве материи сопровождающееся пламенем. возникает от нагревания всей (или части) массы горючего вещества при отсутствии внешнего дополнительного источника зажигания.



## Общие вопросы горения

Для большинства технических горючих жидкостей она находится в пределах 250 — 700 °С, а твердых горючих веществ — от 140 до 700 °С.

Температура самовоспламенения  $t_{\text{св}}$  всегда выше температуры самовозгорания  $t_{\text{вз}}$ , а их разность представляет собой температурный интервал саморазогрева системы, предшествующий самовоспламенению.



## Общие вопросы горения

Источником воспламенения называется любое тело, имеющее температуру и запас тепла, достаточный для нагревания некоторого объёма горючей системы до возникновения в ней горения.

К источникам воспламенения относятся:

- 1) источники тепла (пламя, искра, нагретое тело);
- 2) тепловое проявление видов энергии:
  - а) химической (экзотермическая реакция);
  - б) механической (удар, сжатие, трение);
  - в) электрической (электрический разряд).



## Общие вопросы горения

В качестве окислителя, помимо кислорода (воздуха), могут участвовать в процессе горения **хлор (Cl), фтор (F), сера (S), бром (Br)**, а так же кислородосодержащие вещества: **перманганат калия ( $\text{KMnO}_4$ ), селитры ( $\text{KNO}_3, \text{NaNO}_3, \text{NH}_4\text{NO}_3$ ), бертолле́това соль ( $\text{KClO}_3$ ), азотная кислота ( $\text{HNO}_3$ ).**

Необходимо отметить, что магний (Mg) горит в углекислом газе ( $\text{CO}_2$ ).



# Общие вопросы горения

Горючие системы бывают химически:

- однородными;
- неоднородными.

**К химически однородным** относятся системы, в которых горючее вещество и воздух равномерно перемешаны друг с другом, например, смесь горючих газов, паров или пылей с воздухом.

**К химически неоднородным** относятся системы, в которых горючее вещество и воздух не перемешаны друг с другом и имеют поверхности раздела, например, твердые горючие материалы и жидкости, находящиеся на воздухе, струи горячих газов и паров, поступающие в воздух. При горении химически неоднородных горючих систем кислород воздуха непрерывно диффундирует сквозь продукты сгорания к горючему веществу и затем вступает с ним в реакцию.



## Общие вопросы горения

К особому виду горения относится **тление**, для которого характерны как накал конденсированной фазы, так и близко примыкающее к твердой поверхности галогенное пламя. Сущность этого вида горения изучена недостаточно. Наиболее часто с ним встречаются при горении целлюлозных материалов (древесина, хлопок). По видимому, к тлению склонны также материалы, которые имеют в составе своих молекул небольшое (по сравнению с массой остальных элементов) количество кислорода. Нередко под тлением понимают беспламенное горение. Это определение является недостаточно точным, поскольку известны не подверженные тлению, но способные беспламенно (в виде накала) гореть материалы (например, некоторые металлы).



## Общие вопросы горения

Очевидно, только высокопористые неплавящиеся горючие материалы, в порах которых имеется некоторое количество кислорода, достаточное для окисления некоторой части газообразных продуктов пиролиза, склонны к тлению. Режим горения в виде тления занимает, очевидно, промежуточное положение между режимами сугубо гетерогенного горения (в виде накала поверхности материала) и обычного диффузионного горения. Основным условием горения материалов в виде тления является недостаток поступающих к горящему материалу кислорода и тепла.



## Общие вопросы горения

**Кинетическим горение** называется заранее приготовленной горючей смеси, скорость которого не зависит от диффузии кислорода в зону горения и определяется только скоростью передачи тепла теплопроводностью от зоны горения к негорящей ещё смеси. Поэтому скорость кинетического горения характеризуется нормальной скоростью распространения пламени, которая не превышает нескольких метров в секунду. Горение с такой скоростью в замкнутом объеме представляет собой взрыв, поэтому смеси паров, газов и пыли с воздухом называют взрывоопасными.



# Общие вопросы горения

При горении химически неоднородных систем время проникновения кислорода к горючему веществу сквозь продукты сгорания (диффузия) несоизмеримо больше времени протекания химической реакции, таким образом определяет общую скорость процесса. Такое горение называется **диффузионным**. Примерами диффузионного горения (рис.) является горение каменного угля, кокса (продукты горения препятствуют диффузии кислорода в зону горения). Концентрация кислорода в объеме воздуха  $C_1$  значительно больше его концентрации вблизи зоны горения  $C_0$ . При отсутствии достаточного количества  $O_2$  в зоне горения химическая реакция тормозится (и определяется скоростью диффузии).

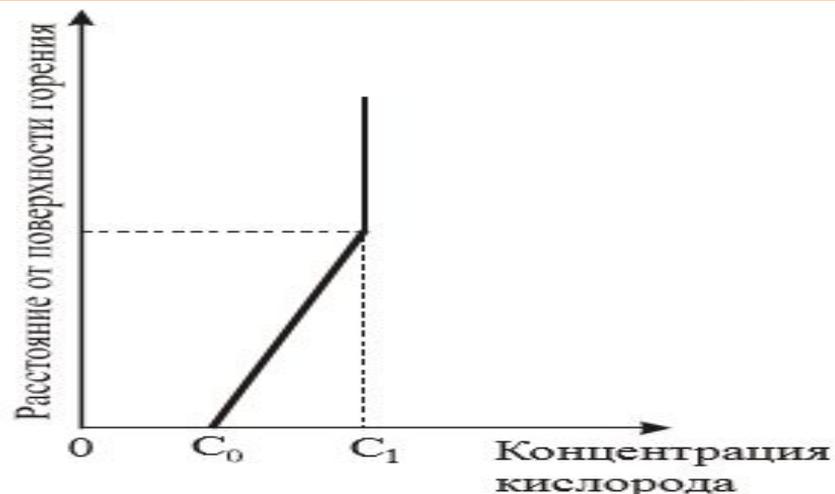
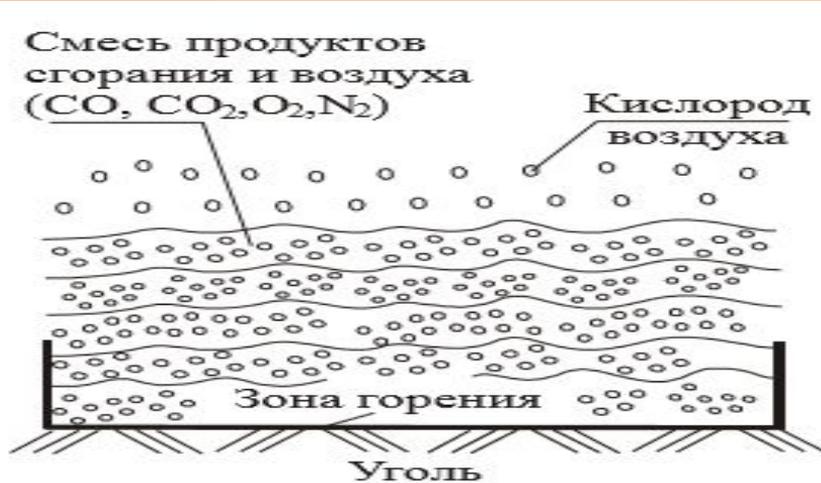


Рис. 1.4. Схема диффузии кислорода в зону горения твердого вещества (гетерогенное горение)



## Общие вопросы горения

**Вспышка** — быстрое сгорание горючей смеси, не сопровождающееся образованием сжатых газов.

**Температура вспышки** — самая низкая температура горючего вещества, при которой над его поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения.

**Взрыв** — это процесс освобождения большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени. Характерный признак взрыва — мгновенный рост высокой температуры и высокого давления газов в месте взрыва.



## Общие вопросы горения

Не меньшие потери приносят и взрывы. К таким катастрофам следует отнести взрыв трех вагонов с промышленной взрывчаткой на станции Арзамас в июне 1988 г. (разрушены вокзал и 185 близлежащих зданий) и др. Очень травмоопасной остается добыча угля. От взрывов метана и угольной пыли в забоях ежегодно гибнут сотни шахтеров. Так, в 1906 г. вспышка нескольких динамитных патронов привела к взрыву угольной пыли на французском руднике «Курьер» — это была самая крупная катастрофа за всю историю горного дела. Взрыв охватил почти все выработки, имевшие общую протяженность свыше 100 км. Погибли 1 099 чел., многие были тяжело ранены. Еще более тяжелая авария произошла 26 апреля 1942 г. на шахте «Хонкейко» (Манчжурия — Япония (Китай)), когда при взрыве погибли 1 549 чел. При взрыве угольной пыли на шахте «Миикэ» в Японии в ноябре 1963 г. погибли 458 чел. и были тяжело ранены 742 шахтера. В марте 2007 г. произошел взрыв на шахте «Ульяновская» в городе Новокузнецке, который унес жизни 110 горняков, а в ноябре 2007 г. при взрыве метана на шахте имени Засядько в г. Донецке на Украине погиб 101 шахтер.



# Общие вопросы горения

Ущерб от пожаров и взрывов на потенциально опасных производствах растет во всех индустриально развитых странах, включая Россию.

## Причинами этого являются:

- расширение производств и усложнение технологических процессов;
- повышение объемов производства материалов и изделий, что влечет накопление в технологиях большого количества пожаровзрывоопасных материалов и веществ;
- перегрузки человеческого организма, приводящие к ошибкам обслуживающего персонала, и др.



# Общие вопросы горения

## ГОРЕНИЕ ГАЗОВ

При нормальном давлении и температуре среднее расстояние между молекулами в газе приблизительно в 10 и более раз больше, чем в жидкостях и твердых телах, поэтому плотность газов значительно ниже плотности жидкостей и твердых веществ.

Все смеси горючего с воздухом до точки «А» не способны воспламеняться – это область безопасных концентраций. Называется **нижним концентрационным пределом воспламенения (НКПВ)**

Та наивысшая концентрация горючих газов или паров в смеси, при которой смесь еще воспламеняется от постороннего источника зажигания с распространением горения по всему объему смеси, называется **верхним концентрационным пределом воспламенения (ВКПВ)**. Диапазон концентраций газа или пара в воздухе между НКПВ и ВКПВ называется областью воспламенения. Концентрации горючих газов и паров с воздухом выше ВКПВ называются пожароопасными.



# Общие вопросы горения

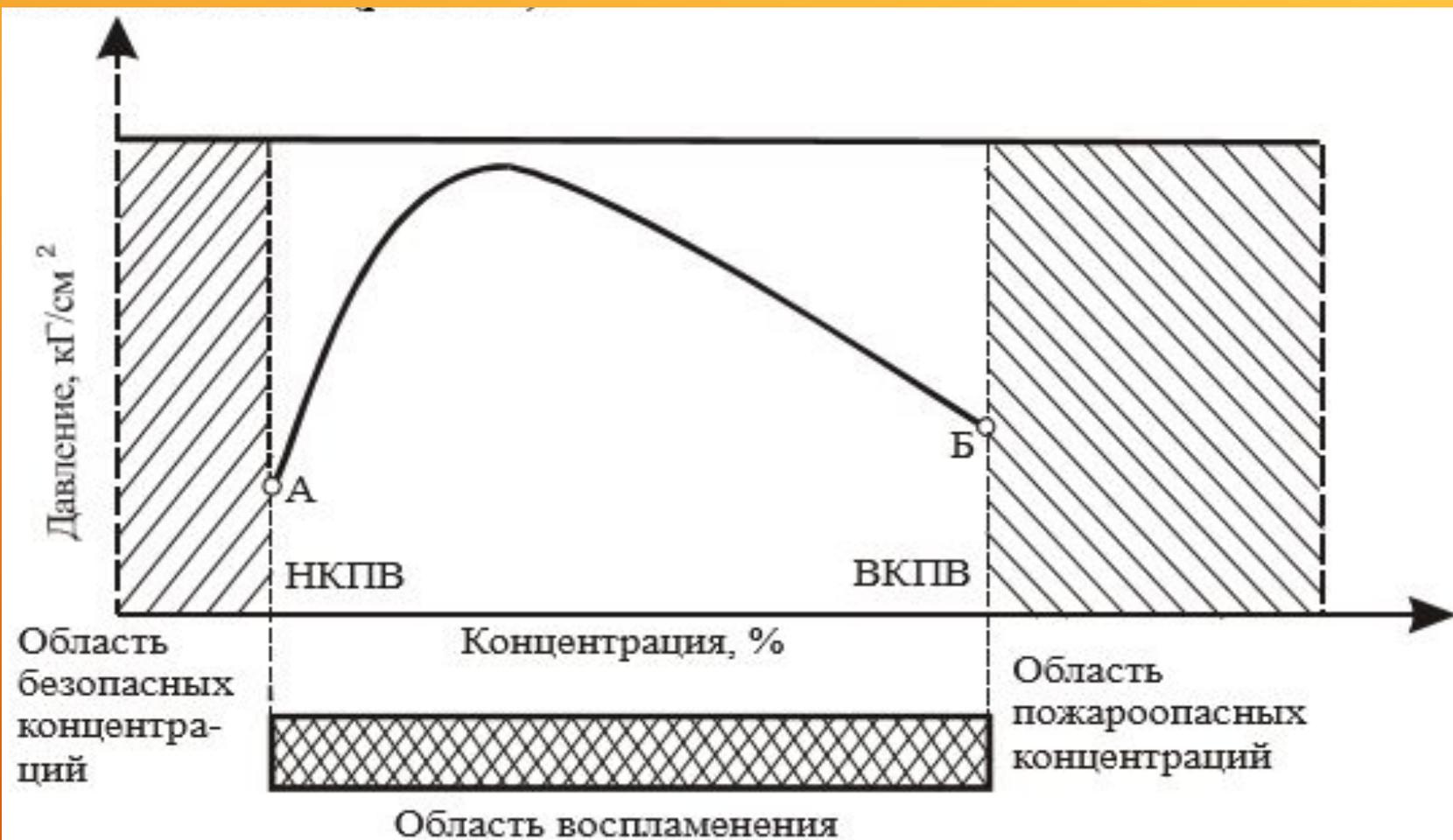


Рис. 2.1. Зависимость давления при взрыве горючих газопаровоздушных смесей от концентрации горючего в смеси



# Общие вопросы горения

## ГОРЕНИЕ ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

**Горючая пыль** – это дисперсная система, состоящая из твердых частиц размером, находящихся во взвешенном или осевшем состоянии в газовой среде, способная к самостоятельному горению в воздухе. Пыли по общей классификации коллоидно-дисперсных систем относятся к аэрозолям, в которых дисперсионная среда – воздух, а дисперсная фаза – твердое вещество в мелко раздробленном состоянии. Осевшая пыль называется **аэрогелем**, пыль во взвешенном состоянии – **аэрозоль**.





# Общие вопросы горения

## ГОРЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

**Жидкости** – вещества в конденсированном агрегатном состоянии, промежуточном между твердым и газообразным. В жидкостях расстояние между молекулами – порядка размеров самих молекул, а силы межмолекулярного взаимодействия весьма значительны. Процесс горения жидкостей начинается с воспламенения паровоздушной смеси. Стационарный процесс горения устанавливается только при определенной температуре жидкости, однако, и при более низких температурах жидкости уже могут представлять пожарную опасность, так как над поверхностью их может создаться взрывоопасная концентрация паров. Горение жидкостей характеризуется двумя взаимосвязанными процессами – испарением и собственно сгоранием паро-воздушной смеси над поверхностью жидкости. Зоной горения является тонкий светящийся слой газов, в который с поверхности жидкости поступают горючие пары, а из воздуха диффундирует кислород. Все горючие жидкости способны испаряться и горение их происходит в паровой фазе. Количество пара зависит от состава и температуры жидкости. Процесс горения паров определяется областью воспламенения (интервал между НКПВ и ВКПВ), энергией источника зажигания, температурой горения и скоростью распространения пламени (по аналогии сгоранием газов).



# Общие вопросы горения

## ГОРЕНИЕ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

**Горение твердых веществ** отличается от горения газов наличием стадии разложения и газификации. Горение в среде газообразного окислителя чаще всего происходит в результате воспламенения летучих продуктов пиролиза и имеет многостадийный характер. Под воздействием тепла происходит нагрев твердой фазы → разложение и выделение газообразных (летучих) продуктов → они воспламеняются и горят → тепло нагревает поверхность твердого вещества, вызывая поступление в зону горения новых порций горючих газов.