

# Санкт – Петербургский университет ГПС МЧС России

## КАФЕДРА СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

для слушателей обучающихся по направлению дополнительное профессиональное образование, повышение квалификации  
«ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПЕРЕПОДГОТОВКА МЛАДШИХ ИНСПЕКТОРОВ ГРУППЫ (ОТДЕЛЕНИЯ) ПРОФИЛАКТИКИ ПОЖАРОВ»

Раздел № 3.1. Пожарная безопасность технологических процессов и производств

Тема № 3.1.1: Основы обеспечения пожарной безопасности технологических процессов

Лекция № 1.2: Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, используемых в технологических процессах

Вопросы:

1. Показатели, характеризующие пожаровзрывоопасность веществ и материалов
2. Общие сведения о горении веществ и материалов.

# Литература

## Основная:

1. Артамонов В.С., Демёхин В.Н, Крейтор В.П, Б.Б. Серков и др.« Здания , сооружения и их устойчивость при пожаре» , учебник, часть I «Строительные материал, их пожарная опасность и поведение в условиях пожара». Санкт-Петербург 2007г.
2. Пожарная безопасность технологических процессов: Учебник / С.А. Горячев, С.В. Молчанов, В.П. Назаров и др.; Под общ. ред. В.П. Назарова и В.В.Рубцова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 221 с.
3. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Взрывобезопасность: Учебник/ под редакцией В.С.Артамонова. – СПб.: Астерион, 2006.- 392с.: ил.-(Серия Вузовский учебник).
4. Моторыгин Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров. – СПб. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2011. – 175с.

## Дополнительная:

1. Справочник «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов», в 2-х томах, под редакцией А.Н. Баратова, А.Я. Корольченко и др. М. Химия, 1990г.
2. Малинин В.Р., Хорошилов О.В. «Методика анализа пожаровзрывоопасности технологий» Учебное пособие,СПб.: Санкт-Петербургский университет МВД России, 2000г.
3. Аникеев С.В., Найденов О.Н., Собурь С.В. «Справочник инспектора пожарного надзора»ч.1,2, Москва, ПожКнига, 2013.

## Нормативные правовые акты:

1. ФЗ №123-ФЗ от 22.07.2008г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» с изм. (в редакции от10.07.2012г. №117).
2. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».
- 3.ГОСТ Р 12.3.047 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».
- 4.СП2.131.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».
- 5.СП4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты»

# Вопрос 1: Показатели, характеризующие пожаровзрывоопасность веществ и материалов.

**Пожарная опасность** – это возможность возникновения и быстрого развития пожара, заключенная в веществе или процессе.

Взрывопожароопасными являются такие вещества или материалы, свойства которых благоприятствуют возникновению горения с последующим взрывом или пожаром.

Оценка пожарной опасности веществ и материалов, регламентирована ГОСТом 12.1.044 "ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения".

## Определяющие характеристики веществ.

газы	жидкости	твердые в-ва	пыли
вещества, давление насыщенных паров которых при стандартных условиях выше 101,3 кПа	вещества, давление насыщенных паров которых при стандартных условиях меньше 101,3 кПа. К жидкостям относят также твердые плавящиеся вещества, температура плавления или каплепадения которых ниже 50°C	вещества с температурой плавления или каплепадения выше 50 °С, а также вещества, не имеющие температуру плавления (например, древесина, ткани и пр.)	диспергированные (измельченные) вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм

## Вещества и материалы, подлежащие оценки по пожароопасности

индивидуальные химические вещества	смеси индивидуальных химических веществ	природные, искусственные и синтетические материалы	технические промежуточные и побочные продукты и отходы производства
выпускаются по стандарту или техническим условиям	выпускаются в соответствии со стандартами или техническими условиями	неопределенного химического строения не представлено, имеются утвержденные стандарты или технические условия	выделяются и накапливаются в количествах, создающих пожарную опасность

Негорючие вещества - не способны к горению в воздухе.	окислители	перманганат калия $\text{KMnO}_4$ , хлор $\text{Cl}_2$ , азотная кислота $\text{HNO}_3$ , сжатый и жидкий кислород $\text{O}_2$ , перекись натрия $\text{Na}_2\text{O}_2$ , перекись водорода $\text{H}_2\text{O}_2$ и др.
	Вещества, выделяющие горючие продукты при взаимодействии с водой и друг с другом	карбид кальция $\text{CaC}_2$ , гидросульфит натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - с водой, разбавленные кислоты (серная, соляная и другие) - с металлами и др.
	Вещества, взаимодействующие с водой или между собой со взрывом, воспламенением или с выделением значительного количества теплоты	карбиды щелочных металлов - лития, натрия, калия, и др. негашеная известь $\text{CaO}$
	Вещества, нагревание которых в закрытых сосудах сопровождается значительным повышением давления	баллоны со сжатыми и сжиженными газами (сжатый азот, сернистый ангидрид, сжиженный пропан $\text{C}_3\text{H}_8$ ), термически нестойкие вещества (карбонат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и др.).
	Взрывоопасные и взрывчатые - вещества, способные к взрывчатому превращению без участия кислорода воздуха	
Трудногорючие - способные возгораться при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления	Вещества, которые переходят в группу горючих в условиях пожара или аварии	
	Трудногорючие вещества, выделяющие пары или газы, имеющие определенную область воспламенения	разбавленные водные растворы спиртов, кетонов, карбоновых кислот, аммиака
Горючие - большинство пожаровзрывоопасных материалов. Наиболее опасны	Легковоспламеняющиеся - горючие вещества и материалы, способные воспламениться от кратковременного (до 30 сек) воздействия источника зажигания с низкой энергией.	Легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) - жидкости с температурой вспышки в закрытом тигле не более $61^\circ\text{C}$ или в открытом тигле не более $66^\circ\text{C}$ . Особо опасные - ЛВЖ с температурой вспышки $28^\circ\text{C}$ и ниже.
	Пирофорные - горючие вещества, которые в обычных условиях хранения способны самовозгораться при контакте с кислородом воздуха.	вещества с температурой самовоспламенения $T_{\text{св}} < 5^\circ\text{C}$ , например, белый фосфор, фосфористый водород $\text{PH}_4$ , пирит $\text{FeS}_2$ , металлоорганические соединения и др.
	Взрывчатыми называются вещества, способные к быстрому экзотермическому превращению с образованием сжатых газов (взрыв) без участия кислорода воздуха.	Взрывоопасные вещества (нитроглицерин, ацетилен, и др.), боевые и промышленные взрывчатые вещества, применяемые для производства взрывных работ (порох, динамит, аммонал и многие другие).

Все показатели пожароопасности можно условно разделить на три вида :  
 общие показатели пожароопасности, относящиеся к горючим веществам во всех четырех агрегатных состояниях;  
 индивидуальные, характеризующие только горючие вещества в конкретном агрегатном состоянии;  
 групповые, характеризующие горючие вещества, находящиеся в различном агрегатном состоянии.

Общие показатели пожароопасности			
Группа горючести			
Температура самовоспламенения			
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами			
Индивидуальные показатели пожароопасности			
Газы	Жидкости	Твердые вещества	пыли
	1.Температура вспышки		
	2.Скорость выгорания		
	3.Температурные пределы распространения пламени: -Нижний предел -Верхний предел		
		1.Кислородный индекс	
		2.Коэффициент дымообразования	
		3.Индекс распространения пламени	
		4.Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов	

Групповые показатели пожарной опасности

Газа	Жидкости	Твердые вещества	пыли
	1. Температура воспламенения	1. Температура воспламенения	1. Температура воспламенения
1. Концентрационные пределы распространения пламени: Нижний предел Верхний предел	2. Концентрационные пределы распространения пламени: Нижний предел Верхний предел		2. Концентрационные пределы распространения пламени: Нижний предел
		2. Температура тления	3. Температура тления
		3. Условия теплового самовозгорания	4. Условия теплового самовозгорания
2. Минимальная энергия зажигания	3. Минимальная энергия зажигания		5. Минимальная энергия зажигания
3. Нормальная скорость распространения пламени	4. Нормальная скорость распространения пламени		
4. Минимальное взрывоопасное содержание кислорода	5. Минимальное взрывоопасное содержание кислорода		6. Минимальное взрывоопасное содержание кислорода
5. Минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора	6. Минимальная флегматизирующая концентрация		7. Минимальная флегматизирующая концентрация
6. Максимальное давление взрыва	7. Максимальное давление взрыва		8. Максимальное давление взрыва
7. Скорость нарастания давления при взрыве	8. Скорость нарастания давления при взрыве		9. Скорость нарастания давления при взрыве



Показатели	Обозначение	Агр.состояние	Единицы измерения	Определение показателя	примеры
Группа горючести	-	Г Ж ТВ П	-	Горючестью называется способность вещества или материала к распространению горения или тления	
Температура самовоспламенения		Г Ж ТВ П	°С	Самая низкая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающихся пламенным горением	
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами	-	Г Ж ТВ П	-	Качественный показатель, характеризующий особую пожарную опасность некоторых веществ.	

Индивидуальные показатели пожароопасности

Температура вспышки		Ж	°С	Самая низкая температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для возникновения устойчивого горения	-
---------------------	--	---	----	--	---

Скорость В.Ш. выгорания	$U_B$	Ж	$\text{Кг/м}^2 \cdot \text{мин}$	Количество горючего, сгоревшего в в единицу времени с единицы площади
Температурные пределы распространения пламени: Нижний предел Верхний предел		Ж	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$	Температуры вещества, при которых его насыщенные пары образуют в конкретной окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему (нижний температурный предел) и верхнему (верхний температурный предел) концентрационным пределам распространения пламени.
Кислородный индекс	КИ	Тв	-	Минимальное содержание кислорода в кислородно- азотной смеси, при которой возможно свечеобразное горение материалов в условиях специальных испытаний
Коэффициент дымообразования	$D_{\text{max}}^m$	Тв	$\text{Нп} \cdot \text{м/кг} \cdot \text{м}^3$	Величина, характеризующая оптическую плотность дыма, образующегося при сгорании вещества (материала) с заданной насыщенностью в объеме помещения

Индекс распространения пламени	I	Тв	-	Условный безразмерный показатель, характеризующий способность веществ распространять пламя по поверхности
Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов -	$H_C$ L 50	Тв	г/ м <sup>3</sup>	Отношение количества материала, при сгорании которого выделяющиеся продукты вызывают гибель 50% подопытных животных, к единице объема замкнутого пространства

### Групповые показатели пожароопасности

Температура воспламенения		Ж Тв П	<sup>0</sup> С	Наименьшая температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары или газы с такой скоростью, что после их зажигания возникает устойчивое пламенное горение
Концентрационные пределы распространения пламени: Нижний предел Верхний предел			% (газы и пары) или г/м <sup>3</sup> (пыли)	Нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени – минимальное и максимальное содержание горючего в смеси, при которой возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания

Температура тления			$^{\circ}\text{C}$	Температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающиеся возникновением тления
Условия теплового самовозгорания			$^{\circ}\text{C}$	Экспериментально выявленная зависимость между окружающей средой, массой вещества и временем до момента его самовозгорания
Минимальная энергия зажигания	$S_{\text{и}}$		-	Наименьшее значение энергии электрического разряда, способной воспламенить наиболее легковоспламеняющуюся смесь газа, пара или пыли с воздухом
Нормальная скорость распространения пламени	$W_{\text{min}}$		м/с	Скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшей смеси в направлении, перпендикулярном его поверхности
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода			%	Концентрация кислорода в горючей смеси, ниже которой воспламенение и горение смеси становится невозможным

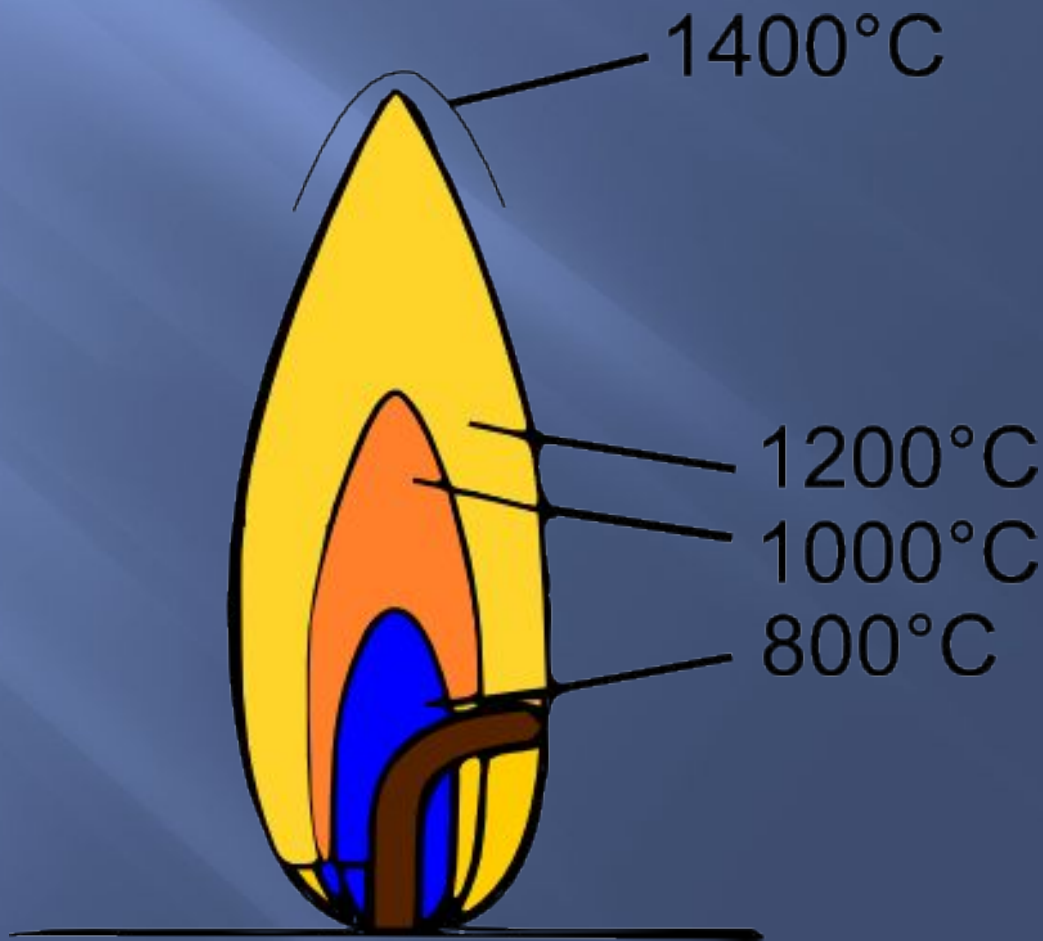
Минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора			%	
Максимальное давление взрыва	давление $p_k$		кПа	Наибольшее давление, возникающее при дефлаграционном взрыве газо-, паро- или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении горючей смеси 101,3 кПа
Скорость нарастания давления при взрыве			кПа/с	Производная давления взрыва по времени на восходящем участке зависимости давления взрыва газо-, паро- или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде от времени



## Вопрос 2: Общие сведения о горении веществ и материалов.

*Пламя* - это часть газового пространства, где протекают все физико-химические процессы, связанные с горением

Наиболее высокотемпературная поверхность пламени, где протекают окислительно-восстановительные реакции, называется реакционной зоной или фронтом пламени.



В зависимости от агрегатного состояния компонентов горючей смеси различают гомогенное и гетерогенное горение.

*Гомогенное горение* - это процесс взаимодействия горючего и окислителя, находящихся в одинаковом агрегатном состоянии. Наиболее широко распространено гомогенное горение газов и паров в воздухе, последние могут быть предварительно перемешаны или же нет.

*Однородная смесь* - это предварительно перемешанная смесь горючего с окислителем. Процесс горения гомогенной однородной (предварительно перемешанной) горючей смеси называется также *кинетическим горением*.

Скорость горения такой смеси определяется только скоростью окислительных реакций.

*Диффузионное горение* - это процесс горения неоднородной (предварительно не перемешанной) горючей смеси. При диффузионном горении существенную роль играют процессы диффузии окислителя к фронту пламени.

Гомогенное горение характерно для всех газообразных и большинства жидких и твердых горючих материалов. Отличительным признаком такого горения является наличие пламени над поверхностью конденсированного горючего вещества.

*Гетерогенное горение* - это горение твердых горючих материалов непосредственно на их поверхности. Характерной особенностью гетерогенного горения является отсутствие пламени. Примерами его являются горение кокса, древесного угля, нелетучих металлов.

Беспламенное горение в ряде случаев называют *тлением*.

Часто на пожарах гомогенное горение твердых горючих материалов на заключительной стадии после выгорания летучих веществ переходит в

*Газодинамические параметры горения. По газодинамическим параметрам различают ламинарное и турбулентное горение (пламя).*

*Ламинарным* называется спокойное, безвихревое пламя устойчивой геометрической формы.

*Турбулентным* называется беспокойное, закрученное вихрями пламя постоянно меняющейся формы.

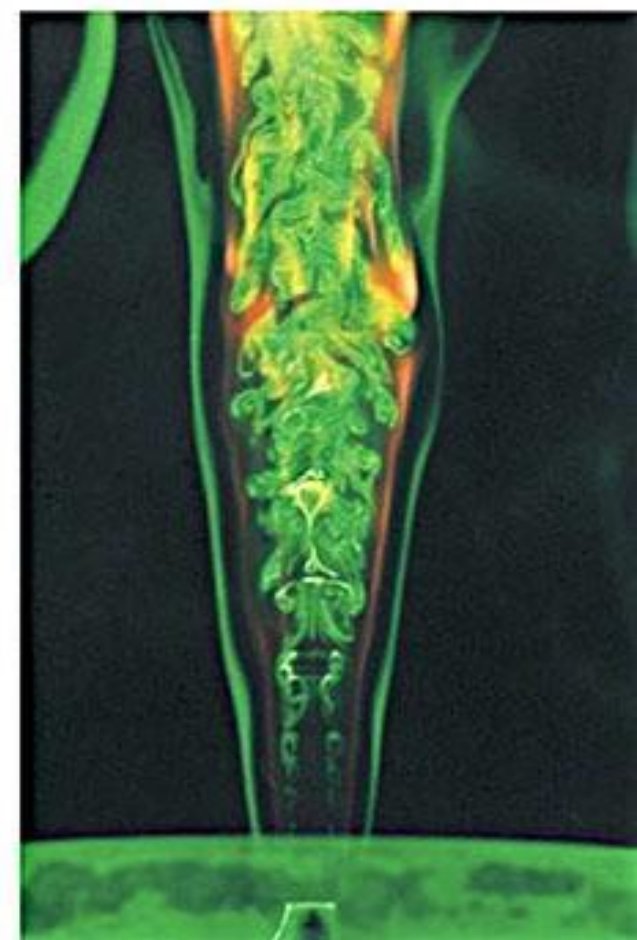
$Re = 408$



$Re = 1867$



$Re = 6420$





Газодинамический режим горения зависит от линейной скорости горючего вещества или смеси и характеризуется критерием Рейнольдса (мера отношения сил инерции и внутреннего трения в потоке):

$$Re = \frac{vd\rho}{\mu}$$

где  $v$  - линейная скорость газового потока, м/с;

$d$  - характерный размер потока, м;

$\rho$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  - динамический коэффициент вязкости, Н·с/м<sup>2</sup>

Ламинарный режим наблюдается при  $Re < 2300$ , при  $2300 < Re <$

$10000$  режим переходный, а при  $Re > 10000$  -

турбулентный. Во всех

случаях толщина  $\delta$  зоны горения (фронта) пламени

*Химические процессы в пламени. Процессы, протекающие на подходе к зоне горения:*

- термическое разложение исходных веществ с образованием более легких продуктов (водорода, оксидов углерода, простейших углеводов, воды и т.д.);

*Процессы, протекающие во фронте пламени:*

- термоокислительные превращения с выделением теплоты и образованием продуктов полного (диоксида углерода и воды) и неполного горения (оксида углерода, сажи, копоти, смол и др.);
- диссоциация продуктов горения,
- ионизация продуктов горения.

*Физические процессы в пламени:*

- теплоперенос во фронте пламени;
- процессы, связанные с испарением и доставкой летучих горючих веществ в зону горения.



**ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Полное время горения  $\tau_r$  складывается из  
длительности физических и химических  
процессов:

$$\tau_r = \tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{х}}.$$

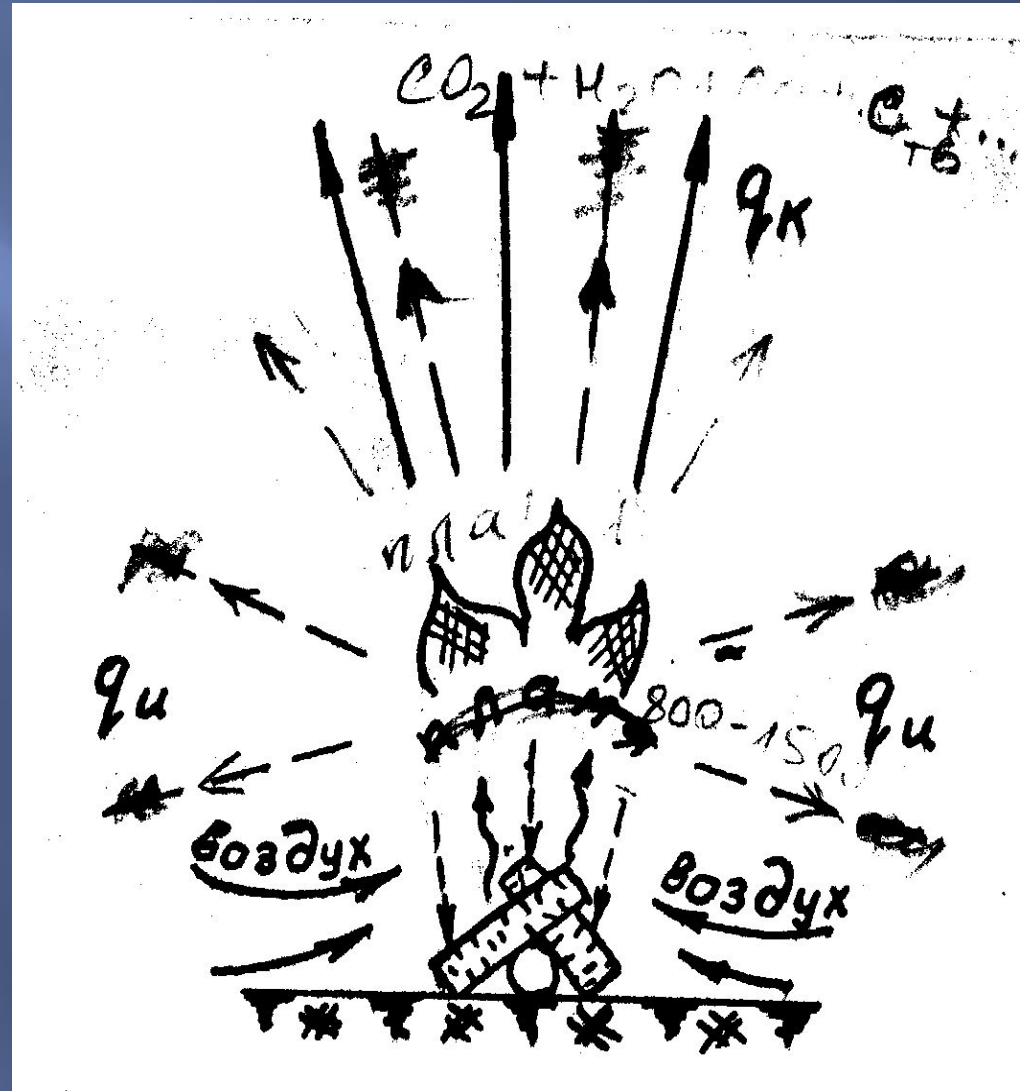
*Кинетический режим горения* характеризуется длительностью  $\tau_r \approx \tau_{\text{х}}$ , поскольку в этом случае физических процессов подготовки (перемешивания) не требуется, т.е.  $\tau_{\text{ф}} \approx 0$ .

*Диффузионный режим горения*, наоборот, зависит в основном от скорости подготовки однородной горючей смеси, т.е. длительность его  $\tau_r \approx \tau_{\text{ф}}$ . В этом случае  $\tau_{\text{ф}} \gg \tau_{\text{х}}$  и поэтому последним можно пренебречь. Если  $\tau_{\text{ф}} \approx \tau_{\text{х}}$ , т.е. они соизмеримы, то горение протекает в так называемой промежуточной области.

Существует также "контролируемое горение", специально организованное человеком с соблюдением мер безопасности для удовлетворения своих потребностей в тепловой энергии (костры, печи, топки и т.п.).

Основные явления, протекающие на пожаре, представлены на рис. 1.

В основе процессов горения лежат высокоскоростные и высокотемпературные реакции окисления. При горении образуются нагретые до высокой температуры летучие продукты:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  и др. Плотность раскаленных продуктов горения в 3-5 раз меньше плотности окружающего воздуха. Поэтому они вытесняются свежим воздухом вверх, т.е. над очагом горения существует непрерывно поднимающийся вверх поток горячей парогазовой смеси продуктов горения, который называется конвективным.



Между очагом пожара и окружающей средой происходит обмен теплотой и газом в результате образования и движения конвективного потока продуктов горения. Этот процесс называется *конвективным тепло- и газо(массо-)обменом на пожаре*. Часть теплоты реакции горения выделяется в виде световых и невидимых инфракрасных волн - светового и теплового излучения.

*Лучистый тепловой поток* распространяется во все стороны от очага пожара. Большая его часть воспринимается окружающими предметами и людьми. Часть



Нагреваясь под воздействием лучистого теплового потока, горючее вещество разлагается и испаряется с выделением горючих летучих продуктов, которые непрерывно поступают в зону горения, смешиваясь при этом со свежим воздухом. Эта зона горения получила название пламя.

Пламя - это своего рода газовый химический реактор, в который снизу поступает газообразное горючее, а сверху уходит продукты горения.





Любой пожар характеризуется следующими особенностями и явлениями (рис. 2.):

1. Наличием горючего вещества (твердого, жидкого, газообразного) и окислителя (в большинстве случаев - кислорода воздуха).
2. Наличием пламени, в котором протекают большинство подготовительных процессов, а также высокоскоростные и высокотемпературные (до 2000 °С) процессы окисления.
3. Пламя выделяет лучистую теплоту, а также конвективный поток теплоты и газов.
4. Часть лучистого теплового потока расходуется на предпламенные подготовительные процессы, в результате чего процесс горения