

ГОРЕНИЕ ТОПЛИВА

Выполнил: Обиженный барбус Захаров
Е.А.

Горение

Горение - самоподдерживающийся процесс быстрого окисления топлива.



Условия горения

Условия возникновения горения



повышением температуры и
быстротой реакции

вещества, способные то и
другое. К примеру, в
катализаторе автомобиля
угарный газ окисляется

Виды горения

горение газов;

горение жидкостей и плавящихся твердых веществ;

Виды горения

По фазовому составу компонентов.

гомогенное горение;
гетерогенное горение;

горение разнородных веществ

Виды горения

По подготовленности горючей смеси:

- диффузионное горение (пожар);
- кинетическое горение (взрыв)

Виды горения

По степени сгорания горючего вещества:

- полное;
- неполное.

Виды горения

По характеру движения газов:

- ламинарное;
- турбулентное.

Виды горения

пламени:

- нормальное;

подогривающее

По фазовому составу

КОМПОНЕНТОВ

Гомогенное горение — это горение, при котором горючее вещество и окислитель газообразны.

Гетерогенное — это горение, при котором в реакции участвуют газы, твердые вещества, а также жидкая фаза.

Гетерогенное горение сопровождается выделением тепла. Фронт горения распространяется по нормали к горячей поверхности со скоростью от нескольких мм/с до нескольких м/с в зависимости от фазового состава.

Жидкое горение

Горение жидких топлив всегда происходит в паровой фазе, поэтому процессу горения капли всегда предшествует процесс испарения.



Жидкое горение

Капля жидкого топлива окружена некоторой зоной насыщенной его парами, на внешней границе которой химическая реакция

происходит с окислителем. Если окислитель достаточно велика, капли топлива зависит от температуры, так что толщина зоны горения не

параметров испарения топлива: чем выше температура горения и

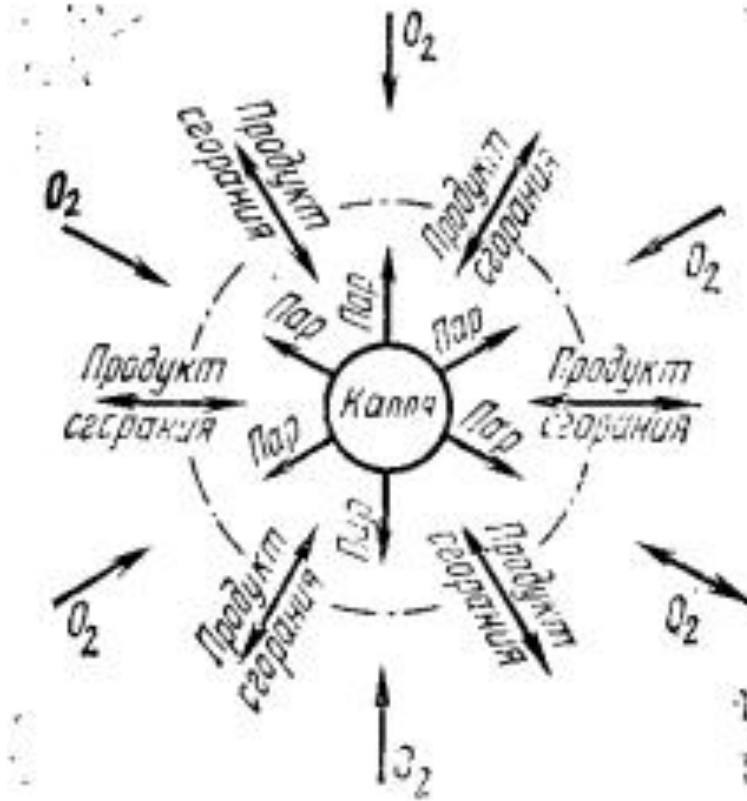


Рис. 2.16. Схема горения каплям жидкого топлива

Жидкое горение

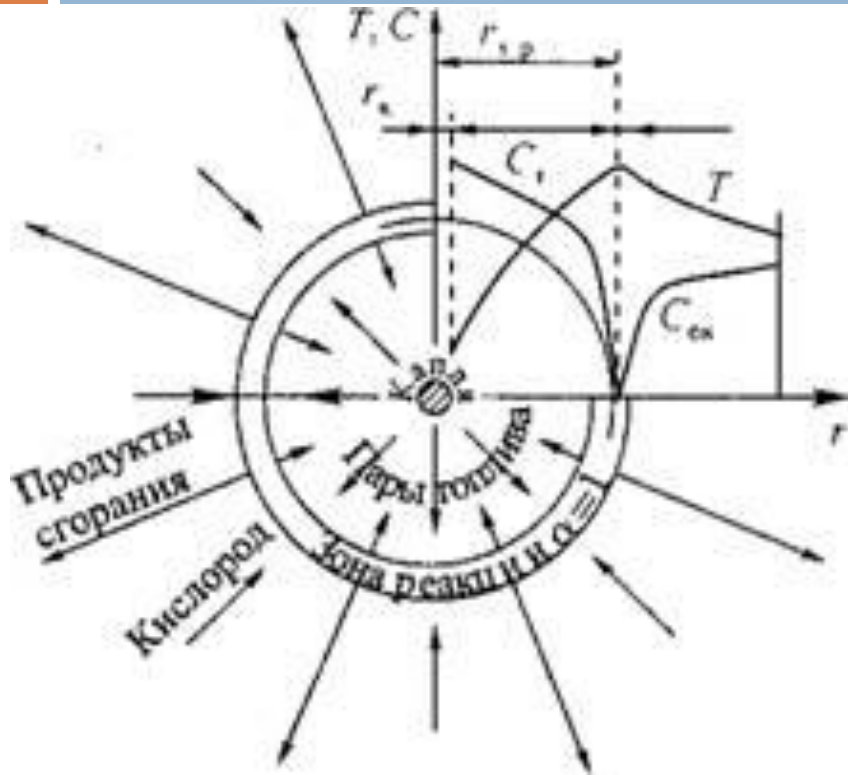


Рис. Механизм горения капли жидкого топлива: r_k — радиус капли; r_{ip} — радиус зоны реакции; C_t , $C_{ок}$ — объемная концентрация топлива (пары) и окислителя (кислород).

Теплота, необходимая для испарения топлива, передается

поверхности капли из зоны горения. Горение капли жидкого топлива в

диффузионном режиме может быть рассчитано на основании теплового

Горение газа

Основным условием для горения газа является наличие кислорода (а следовательно, воздуха). Без присутствия воздуха горение газа невозможно.



Горение газа

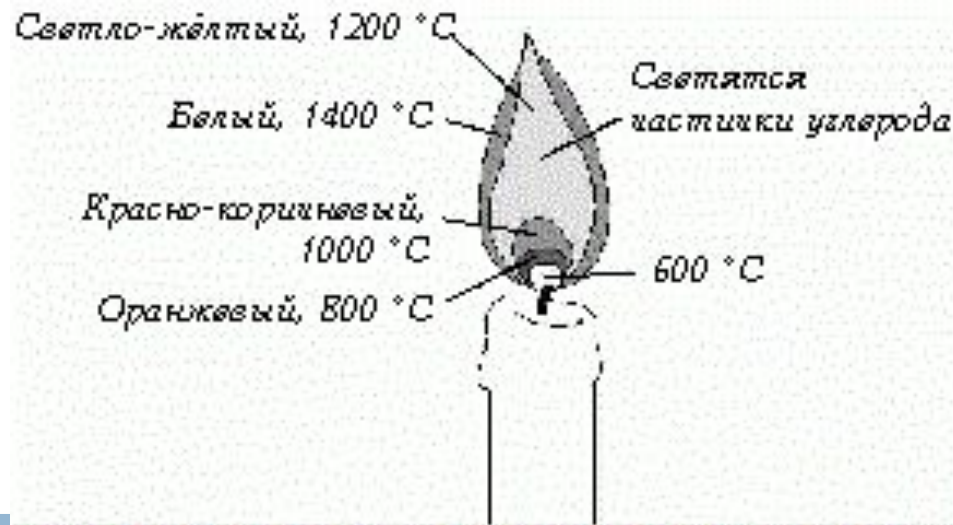
В процессе горения газа происходит химическая реакция

соединения кислорода воздуха с углеродом и водородом топлива. Реакция происходит с выделением тепла и света.



В зависимости от количества воздуха, участвующего в процессе горения газа, происходит полное или неполное его сгорание.

Горение газа



зависит от количества поступившего кислорода. Поступление воздуха в пределах нормы *окрашивает пламя в синий цвет*. Если топливовоздушная смесь несбалансированная (преобладает газ), *пламя желтеет, а со временем краснеет и белеет*. Вызвано это повышенной подачи газа в основную горелку. В результате чего топливо расходуется неправильно

Полное сгорание газов

Объемный состав сухого воздуха принимается: $O_2 \approx 21\%$, $N_2 \approx 79\%$, из этого след., что

1 м^3 кислорода содержится в $4,76\text{ м}^3$ ($\approx 5\text{ м}^3$) воздуха.

Вывод: для сжигания

- 1 м^3 метана необходимо 2 м^3 кислорода или около 10 м^3 воздуха,
- 1 м^3 пропана – 5 м^3 кислорода или около 25 м^3 воздуха.

Неполное сгорание газов

Неполное сгорание газов.

Причиной неполного сгорания газа является недостаточное количество воздуха.

Продуктами неполного сгорания газов являются оксид углерода или угарный газ (CO), несгоревшие горючие углеводороды ($C_n H_m$) и атомарный углерод или сажа.

Для природного газа $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + CO + CH_4 + C$

Для СУГ (Сжиженные углеводородные газы) $C_n H_m + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + CO + C_n H_m + C$

Наиболее опасным является появление угарного газа, который действует на организм человека отравляюще. Образование сажи придает пламени желтую окраску.

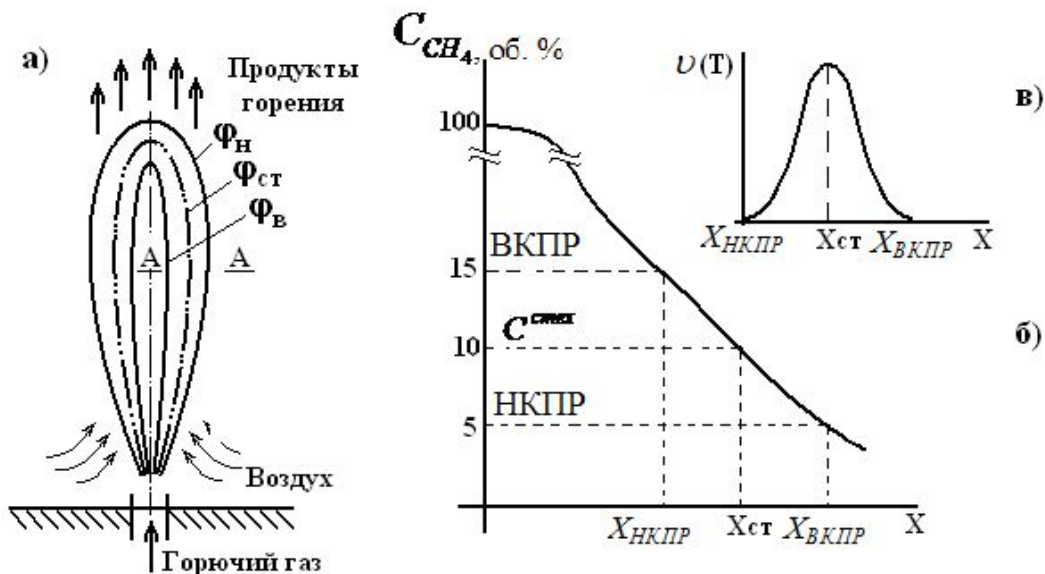
Неполное сгорание газа опасно для здоровья человека (при содержании 1% CO в воздухе 2-3 вдоха для человека достаточно, чтобы отравиться со смертельным исходом).

Неполное сгорание неэкономично (сажа препятствует процессу передачи тепла, при неполном сгорании газа мы недополучаем тепло, ради которого сжигаем газ).

Для контроля полноты сгорания обращают внимание на цвет пламени, которое при полном сгорании должно быть голубым, а при неполном сгорании – желтовато-соломенным. Наиболее совершенный способ контроля полноты сгорания – анализ продуктов сгорания с помощью

Диффузионное горение газа

происходить только в интервале концентраций от



трубопроводов, на аварийной фонтанирующей морской или сухопутной

Горение угля

осложняется

сопутствующим ему



Структура

Горение твердого топлива

топлива на горящий кокс происходит его тепловая подготовка (прогрев, испарение

неподвижно лежащего на колосниковой решетке, при верхней

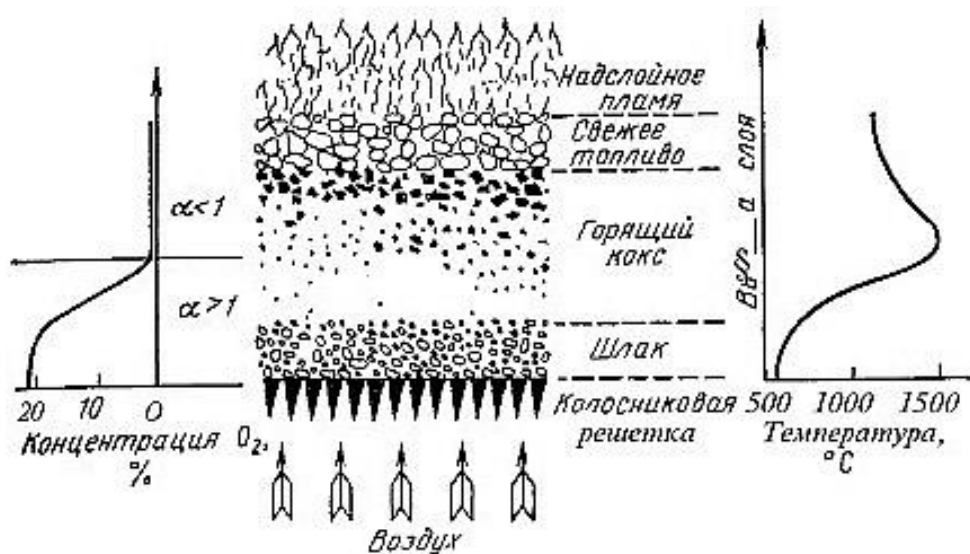
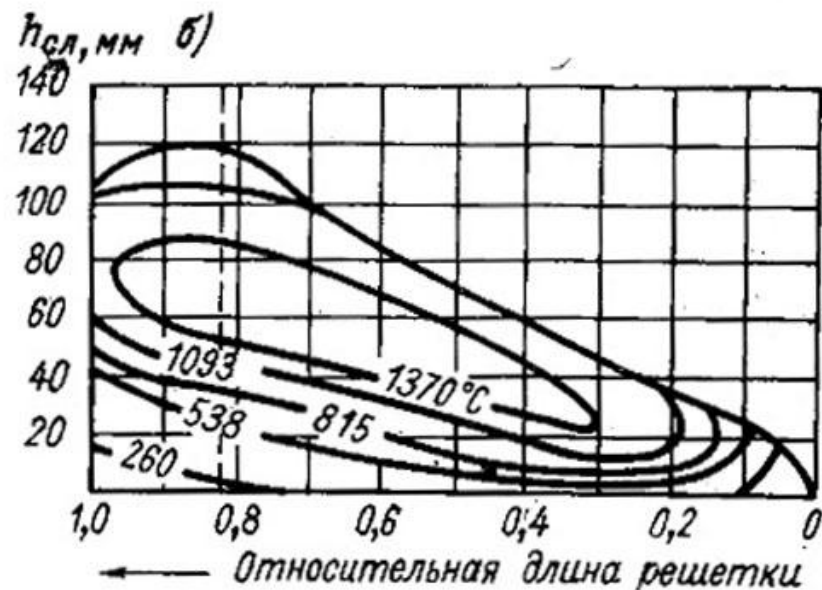


Рис 6.2. Структура горящего слоя твердого топлива

Горения угля

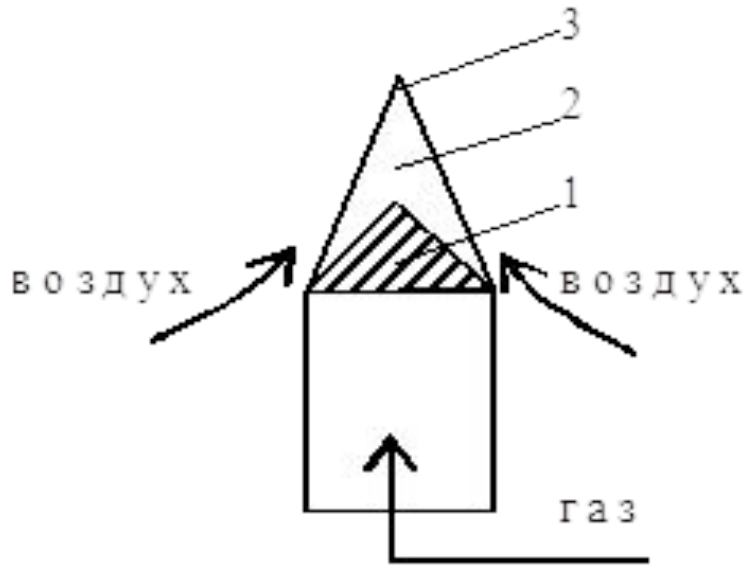


Сжигание каменных и бурых углей подвижного слоя в топке с механическими забрасывателями при разной влажности бурого угля: а - влажность топлива $W^p=11\%$; б) - то же $W^p=28,7\%$.

Горение газов в газовой горелке.

температуры самовоспламенения); 2 –
свещающаяся зона фронта пламени; 3 –

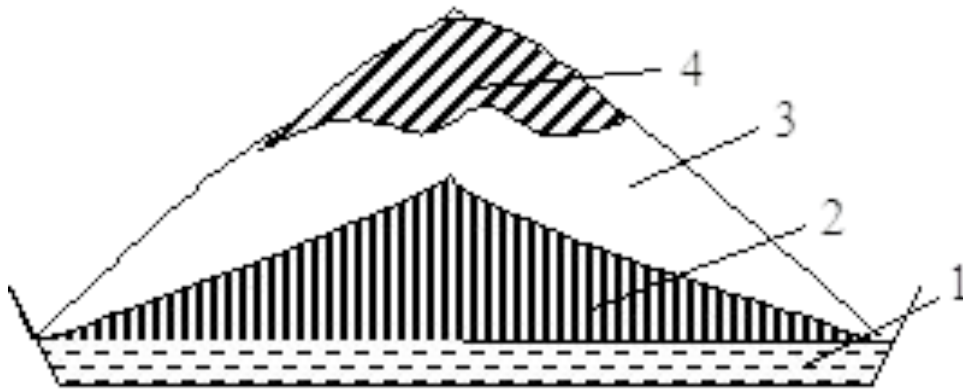
продукты сгорания (бывают почти
невидимы при полном сгорании газов и,
особенно при горении водорода, когда не



Горение жидкостей в открытом сосуде

имеются 4 зоны

1 – жидкость;
2 – пары жидкости (темные

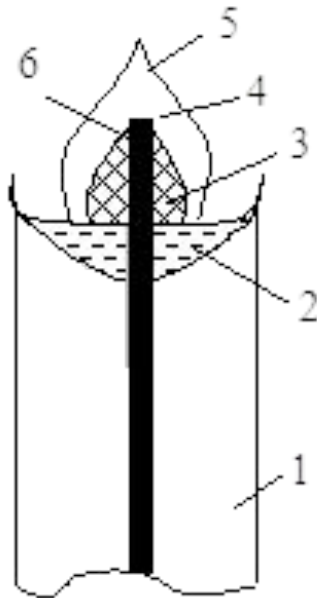


Ширина фронта пламени в этом случае больше, т.е. реакция протекает медленнее.

Горение плавящихся твердых веществ.

наблюдается 6 зон.

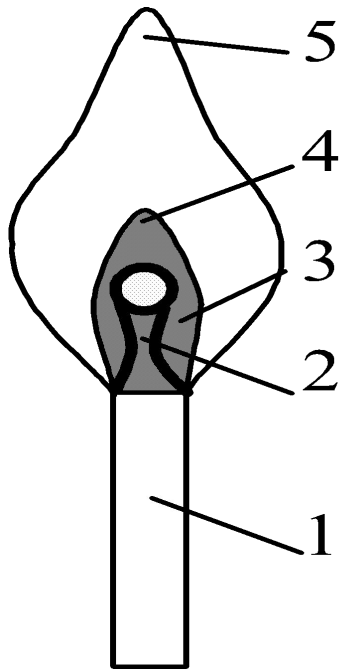
Горение свечи: 1 – твердый воск; 2 – расплавленный (жидкий) воск; 3 – темный прозрачный слой паров; 4 – фронт



Горящий фитиль служит для стабилизации горения. В него впитывается жидкость, поднимается по нему, испаряется и горит. Ширина фронта пламени увеличивается, что увеличивает площадь светимости, так как используются более сложные углеводороды, которые, испаряясь, распадаются, а потом уже вступают в реакцию

Горение неплавящихся твердых веществ.

спичка

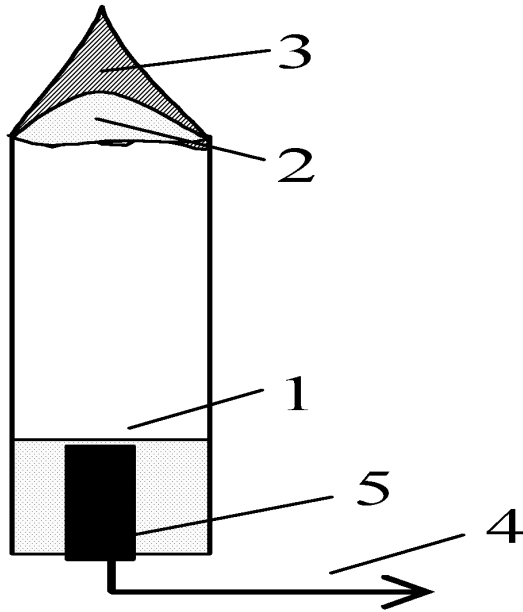


Этот вид горения рассмотрим на примере горения спички и сигареты. Здесь также имеется 5. Горение спички: 1 – свежая древесина; 2 – обугленная древесина; 3 – газы (газифицированные или испарившиеся летучие вещества) – это темноватая прозрачная зона; 4 – фронт пламени; 5 – продукты сгорания (дым).

Видно, что обгоревший участок спички намного тоньше и имеет черный цвет. Это значит, что часть спички обуглилась, т.е. осталась нелетучая часть, а летучая часть испарилась и сгорела. Скорость горения угля значительно медленнее, чем газов, поэтому он не успевает полностью выгореть.

Горение неплавящихся твердых веществ.

сигарета



Горение сигареты: 1 – исходная табачная смесь; 2 – тлеющий участок без фронта пламени; 3 – дым, т.е. продукт сгоревших частиц; 4 – втягиваемый в легкие дым, который представляет собой в основном газифицированные продукты; 5 – смола, сконденсировавшаяся на фильтре.

Курение сигар



Как правильно курить сигары.

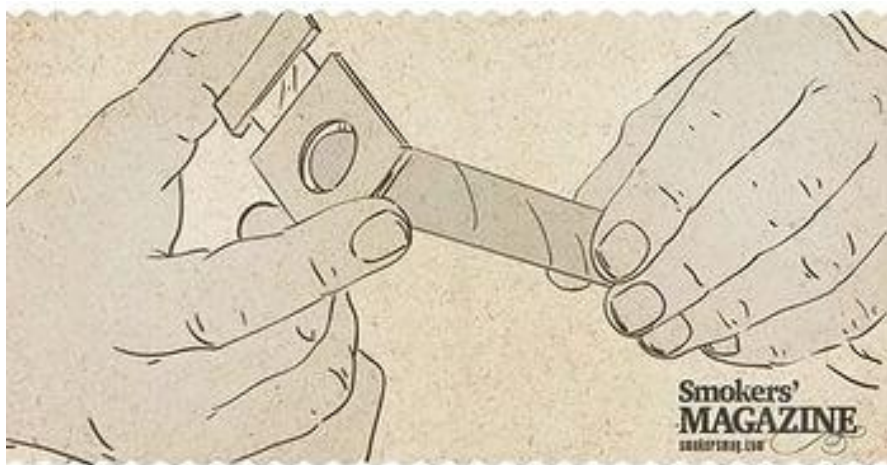
Сигары не рекомендуется курить натощак. Организм может не принять сигару, и вы почувствуете себя плохо. Самое лучшее время – после еды. Особенно, если еда была сытной и вкусной.

Правила этикета позволяют курить сигару за столом во время застолья, если это допустимо для данной компании.

Также сигара является хорошим дополнением к аперитиву, кофе, портвейну и коньяку. Не рекомендуется в сочетании с вином и пивом.

Как обрезать сигару?

Как вы можете заметить, и на прямых, и на «непрямых» сигарах срез можно расположить так, что диаметр



Как разжигать и раскуривать сигару?

Для раскуривания сигар хорошо подходят газовые зажигалки с обычным или «турбо»-пламенем. Стоит отказаться от эффектных внешне, но совершенно непрактичных прикуриваний от восковой или парафиновой свечи, а так же от раскуривания сигары от бензиновых зажигалок. Это испортит вкус сигары. Если вы раскуриваете сигару специальными сигарными спичками, то сначала дайте севе прогореть, дабы она тоже не

Как курить сигары?

Медленное курение позволяет вкусам и ароматам сигары развиваться плавно, без рывков и скачков. Нам спешить некуда и только медленное курение позволит в



Как курить сигары?

получаемых ощущений от вкуса и аромата сигары, сигарный дым можно немного подержать во рту и выпустить через нос. Уста держит подобный



Горение взрывчатых

веществ,

которых уже находител химический и механический
связанные горение и окислитель. Например,

у тринитротолуола (тротила)



Горение прямооточного факела жидкого топлива

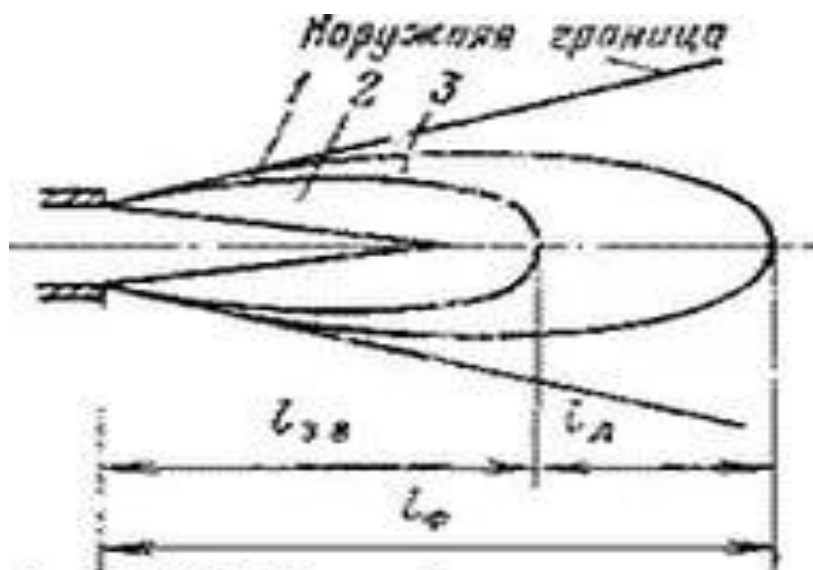


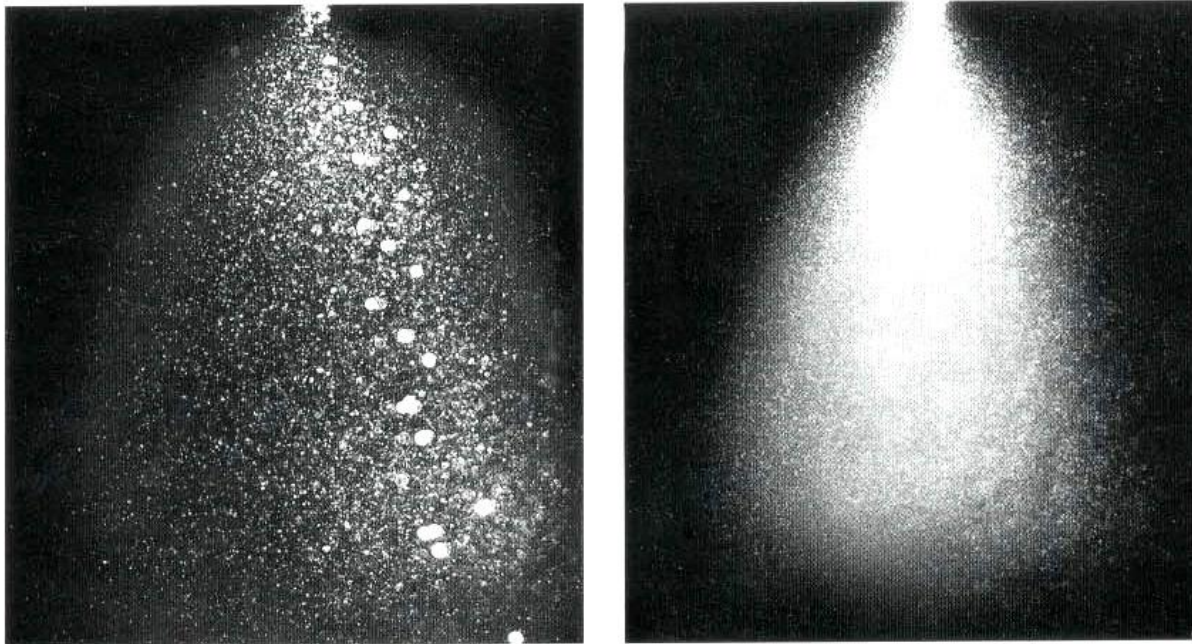
Рис. 10-2 Схема факела жидкого топлива.

наблюдается благодаря тому, что в турбулентном слое происходит быстрое испарение

капель. Пары горючего, смешиваясь с воздухом, создают

Факел распыла

Факел распыла механической форсунки KE-III Jetronic с дополнительным воздушным распылением (справа) и без (слева)



Струя жидкого топлива, вылетающая из соплового отверстия с околосвуковыми скоростями (150-400 м/с), под действием турбулентных пульсаций разбивается на большое число капель ($5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^7$) с широким спектром размеров от r_{\min} до r_{\max} (примерно от 5 до 200 мкм). Эта совокупность капель образует **факел распыла топлива**

Факел горения

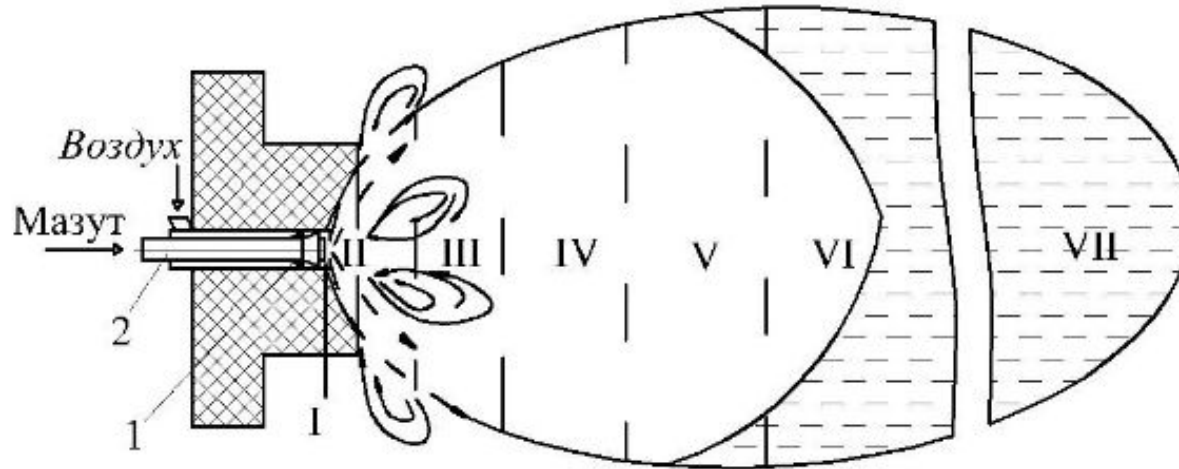


Рис. 1.25. Структура диффузионного факела:
1 – воздухозакручивающий аппарат; 2 – форсунка;
I ... VII – условные зоны факела

На рисунке показано, что дальность полета отдельной капли зависит от ее начальной скорости и диаметра. Если учесть что диаметр горячей капли уменьшается в полете, то в этом случае уменьшается дальность ее полета

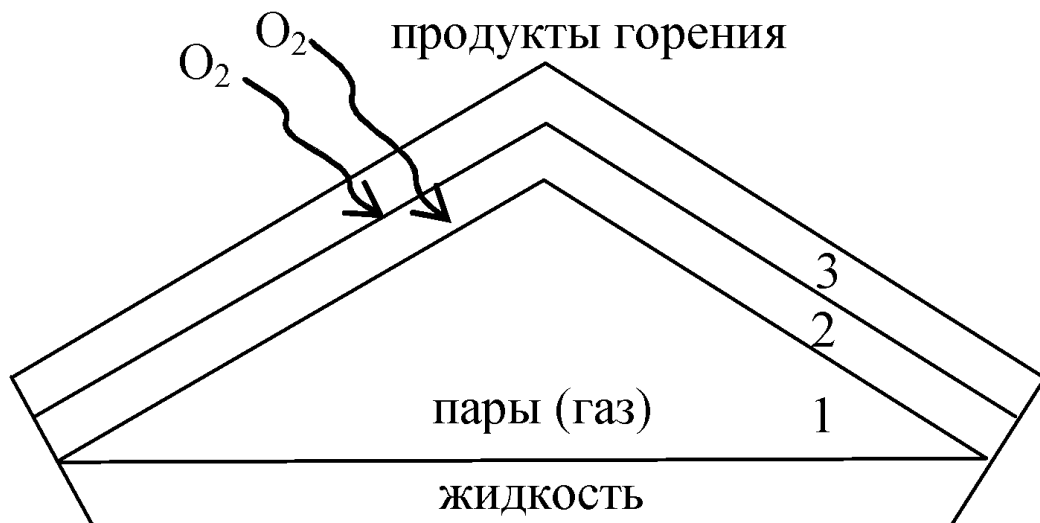
Факел горения

Приложение к рисунку

Номер зоны	Процесс, происходящий в зоне	Протяженность зоны (диаметр устья горелочного устройства в долях)
1	Турбулизация и подача воздуха	-
2	Распределение капель топлива в воздухе	0,5 D _г
3	Испарение и кинетическое горение	(0,75...0,1) D _г
4	Испарение и начало диффузионного горения	1,5 D _г
5	Диффузионное горение	(2...3) D _г
6	Диффузионное дожигание	(3...5) D _г
7	Зона движения продуктов сгорания по тракту установки	-

Структура пламени.

Структура пламени диффузионного горения состоит из трех зон



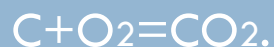
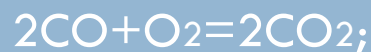
Структура пламени.

В 1 зоне находятся газы или пары. Горение в этой зоне не происходит. Температура не превышает 500°C . Происходит разложение, пиролиз летучих и нагрев до температуры самовоспламенения.

Во 2 зоне образуется смесь паров (газов) с кислородом воздуха и происходит неполное сгорание до CO с частичным восстановлением до углерода (мало кислорода):

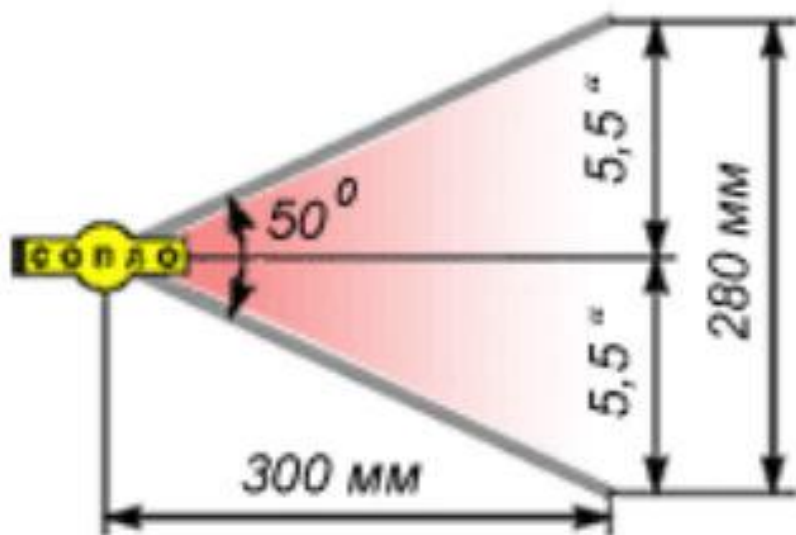


В 3 внешней зоне происходит полное сгорание продуктов второй зоны и наблюдается максимальная температура пламени:



Высота пламени пропорциональна коэффициенту диффузии и скорости потока газов и обратно пропорциональна плотности газа.

Ширина факела распыла

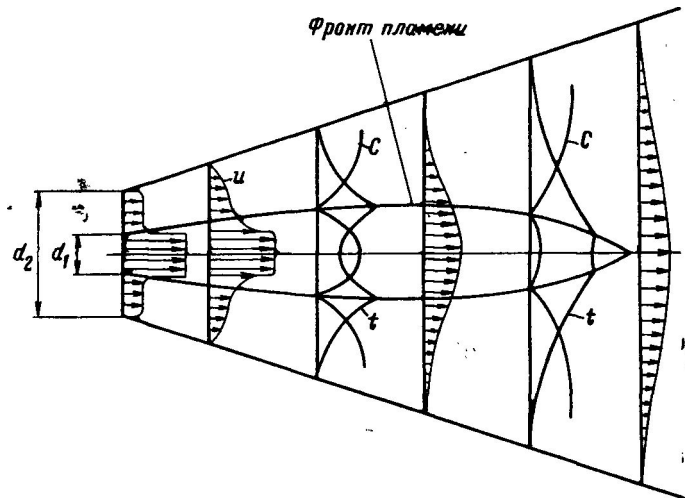
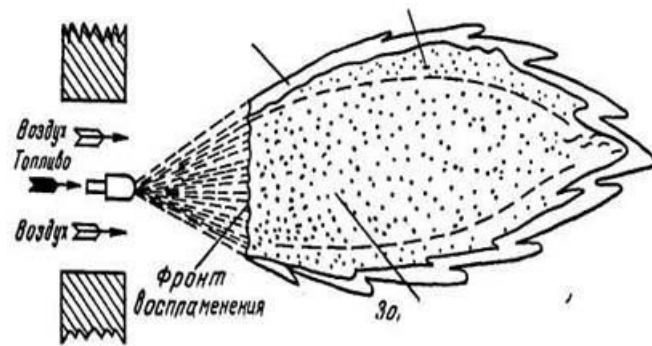


ширина факела
распыления: 280 мм,
угол распыления: 50°

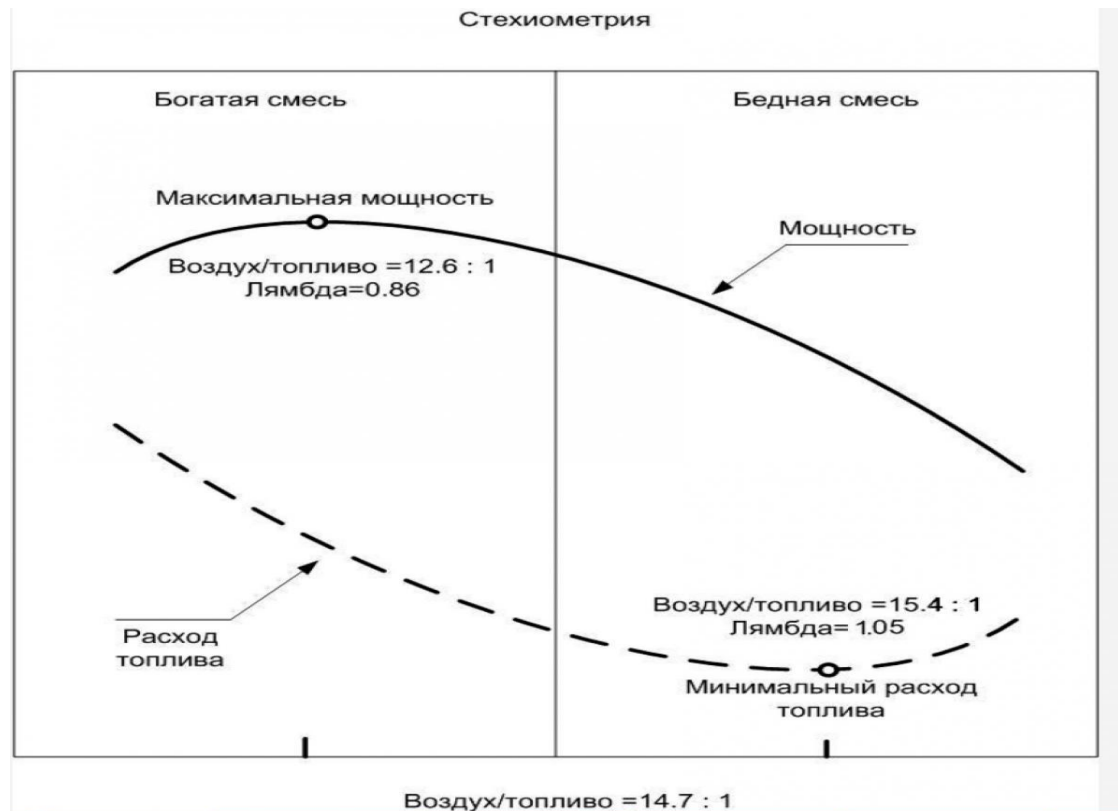
конструкции воздушного
распылителя, угла наклона,
ширину факела в различных
сечениях оценивают диаметром
окружности поперечного сечения,
через которое проходит 90–95 %

Структура факела

напыленного слоя по толщине и плотности. Изменения толщины носят постепенный характер, и образующая поверхность



Стехиометрическое соотношение

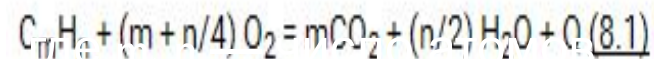


Стехиометрическое соотношение - это соотношение, которое соответствует соотношению молей реагирующих веществ в уравнении реакции т.е. это такое количество в-ва сколько требуется для реакции.

Стехиометрическое соотношение и теплота сгорания углеводородов

Газ	Реакция горения	Теплота сгорания					
		Молярная, кДж/кмоль		Массовая, кДж/кг		Объемная, кДж/м ³	
		высшая	низшая	высшая	низшая	высшая	низшая
Водород	$H_2 + 0,5O_2 = H_2O$	286,06	242,90	141 900	120 080	12 750	10 790
Оксид углерода	$CO + 0,5O_2 = CO_2$	283,17	283,17	10 090	10 090	12 640	12 640
Метан	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	880,90	800,90	55 546	49 933	39 820	35 880
Этан	$C_2H_6 + 3,5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$	1560,90	1425,70	52 019	47 415	70 310	64 360
Пропан	$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$	2221,40	2041,40	50 385	46 302	101 210	93 180
n-Бутан	$C_4H_{10} + 6,5O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$	2880,40	2655,00	51 344	47 327	133 800	123 570
Изобутан	$C_4H_{10} + 6,5O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$	2873,50	2648,30	51 222	47 208	132 960	122 780
n-Пентан	$C_5H_{12} + 8O_2 = 5CO_2 + 6H_2O$	3539,10	3274,40	49 052	45 383	169 270	156 630
Этилен	$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$	1412,00	1333,50	50 341	47 540	63 039	59 532
Пропилен	$C_3H_6 + 4,5O_2 = 3CO_2 + 3H_2O$	2059,50	1937,40	48 944	46 042	91 945	88 493
Бутилен	$C_4H_8 + 6O_2 = 4CO_2 + 4H_2O$	2720,00	2549,70	48 487	45 450	121 434	113 830

Общее уравнение реакции горения любого



молекуле; Q — тепловой эффект

Элементарный состав

Топливо в том виде, в каком оно сжигается, т. е. поступает в топку, называется «рабочим топливом». В состав рабочего топлива (твердого и жидкого) входят следующие компоненты: углерод С, водород Н, кислород О, азот N, сера S, зола Л и влага I.

$$C^D + H^D + O^D + N^D + S^D + A^D + W^D = 100\%$$

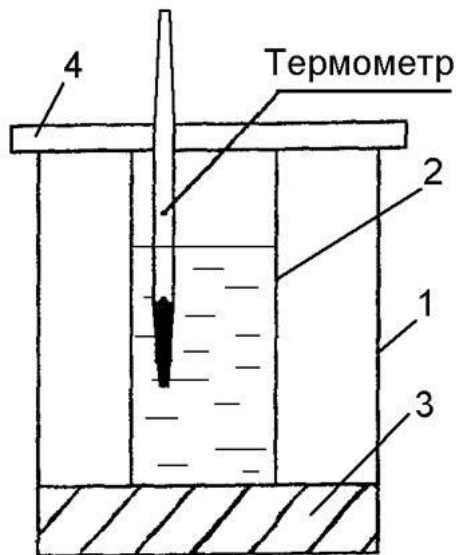
Топливо и сырье	Элементарный состав, мас. %				
	С	Н	N	S	O
Автомобильный бензин	85,5–86,0	14,4–14,0	0,0–0,03	0,01	–
Дизельное топливо	85,8–87,0	14,0–12,8	0,01–0,03	0,2–1,0	–
Нефть					
легкая	84,0–87,0	14,0–12,5	0,1–1,2	0,1–4,5	0,1–2,0
тяжелая	83,0–87,0	12,0–10,0	0,3–1,2	3,0–8,0	0,5–2,0
Природные битумы	80,0–86,0	11,0–9,0	0,3–0,8	2,5–10,0	0,6–3,0
Горючие сланцы*	56,0–80,0	6,0–10,0	0,3–2,5	0,2–12,0	11,0–24,0
Уголь*					
каменный	76,0–94,0	4,0–6,0	1,5–1,8	0,5–7,0	2,0–17,5
бурый	65,0–76,0	4,0–6,8	0,1–3,0	0,3–6,3	17,0–28,0
Биомасса (древесина)	48,0–53,0	5,5–7,5	0,01–0,3	0,0–0,4	38,0–44,0
Природный газ (метан)	75,0	25,0	–	–	–

Теплота сгорания , прибор изменения.

Топливо	У.Т.С. ккал/ кг	У.Т.С. кДж/кг
Древесина	2960	12400
Торф	2900	12100
Бурый уголь	3100	13000
Каменный уголь	6450	27000
Антрацит	6700	28000
Кокс	7000	29300
Сланец	2300	9600
Бензин	10500	44000
Керосин	10400	43500
Дизельное топливо	10300	43000
Мазут	9700	40600
Сланцевый мазут	9100	38000
Сжиженный газ	10800	45200
Природный газ*	8000	33500
Сланцевый газ*	3460	14500

Калориметр — прибор для измерения количества теплоты, выделяющейся или поглощающейся в каком-либо физическом, химическом или биологическом процессе. Калориметр состоит из наружной (1) и внутренней (2) стаканов. Внутренний стакан ставится на теплоизолирующую подставку.

Наружный теплоотдачи.



Коэффициент избытка воздуха

и меньше воздуха
Отношение действительного
количества воздуха,

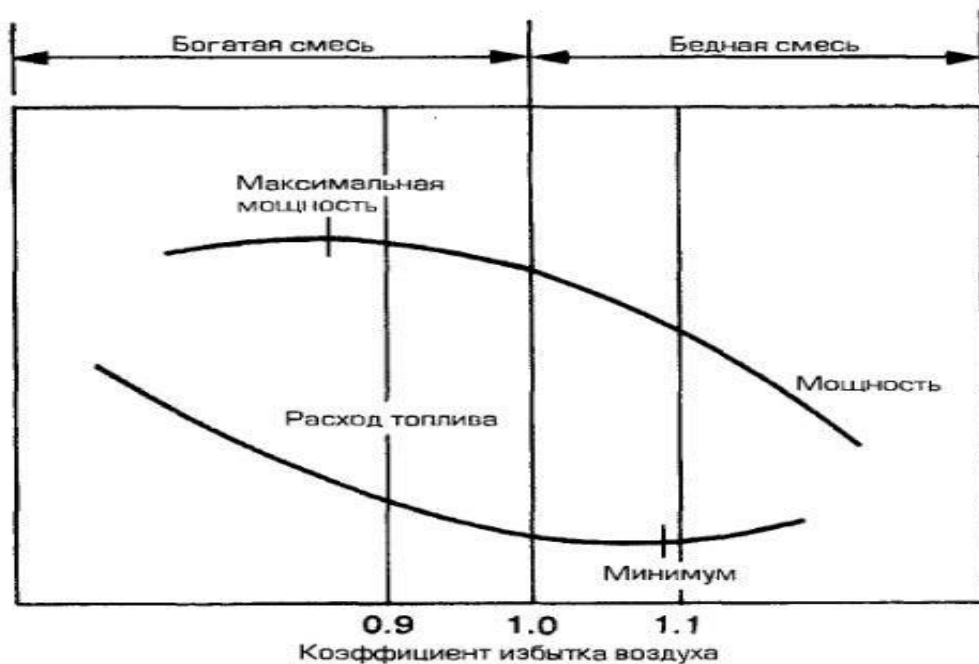
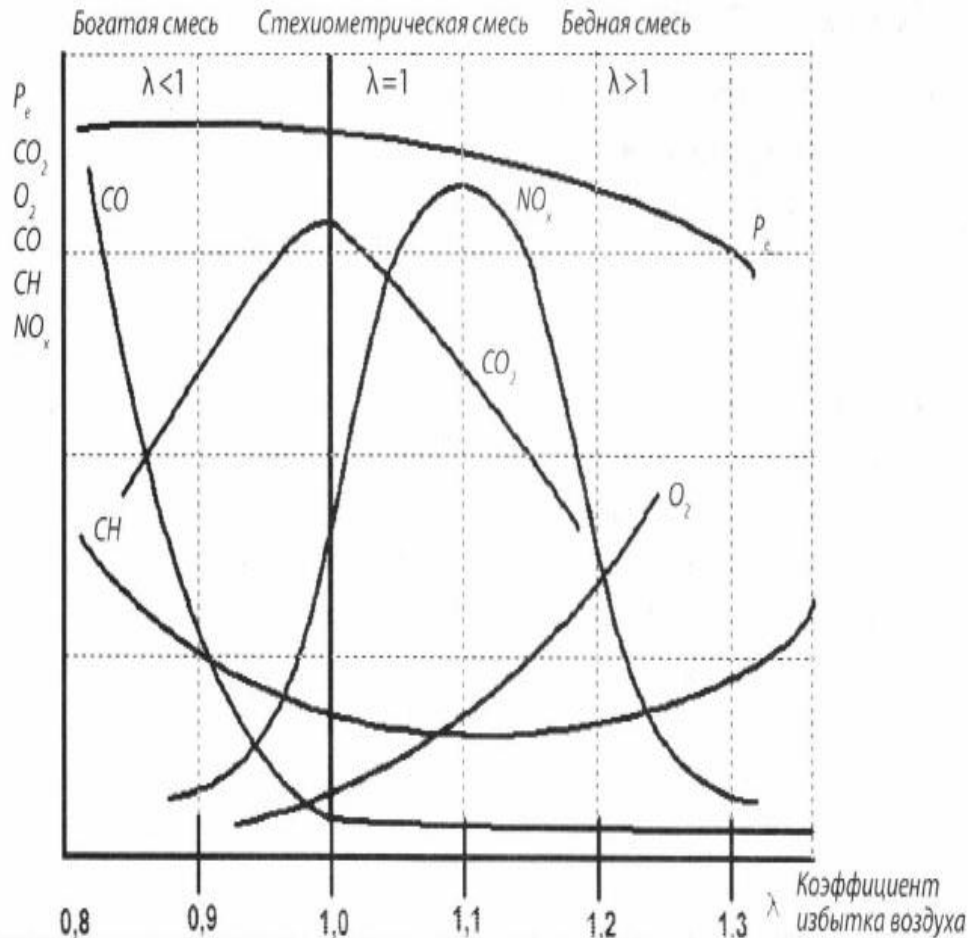


Рис. 7.41. Зависимость расхода топлива и выходной мощности от коэффициента лямбда

количеством воздуха является

Коэффициент избытка воздуха



атмосферного воздуха и жидкого топлива происходит при включении инверсной фазы насыщения жидкого топлива воздушной массой. Когда это происходит, это смесь, в которой воздуха содержится меньше, чем требуется, а бедная смесь имеет ТВС со сниженным содержанием бензина и с повышенным —

Значение коэффициента избытка воздуха

Значение коэффициента избытка воздуха различно в зависимости от вида сжигаемого топлива и составляет для

- газообразного 1,05—1,2,
- жидкого 1,15—1,25,
- пылевидного 1,2—1,25
- твердого кускового 1,3—2,0.

Меньшие значения a для газообразного, жидкого и пылевидного топлива по сравнению с твердым кусковым объясняются лучшим смешиванием этих видов топлива с воздухом при их сжигании. Сгорание топлива в топках, за исключением особых случаев, должно протекать полностью. С этой целью для каждой конструкции топки и в зависимости от вида сжигаемого топлива устанавливают предельное значение коэффициента избытка воздуха. При заданном a расход воздуха увеличивается пропорционально его значению.

Коэффициент избытка воздуха

для обеспечения в эксплуатации оптимальных условий горения топлива и минимума присосов воздуха необходим постоянный контроль над избытками воздуха в газовом тракте

$$O_2 = \frac{0,21(\alpha - 1)V_B^0}{V_{сг}} 100.$$

Пересчет процентного содержания кислорода на значения избытка воздуха производят следующим образом. Если пренебречь незначительным увеличением объема продуктов сгорания за счет освобождения азота из топлива, тогда объем сухих газов $V_{сг} = V_B$. Следовательно что коэффициент избытка воздуха равен

$$\alpha = 21/(21 - O_2)$$

где O_2 - содержание кислорода в продуктах сгорания, %.

Если ввести коэффициент p , учитывающий различие в объёмах влажного и сухого газа, тогда формула для определения избытка

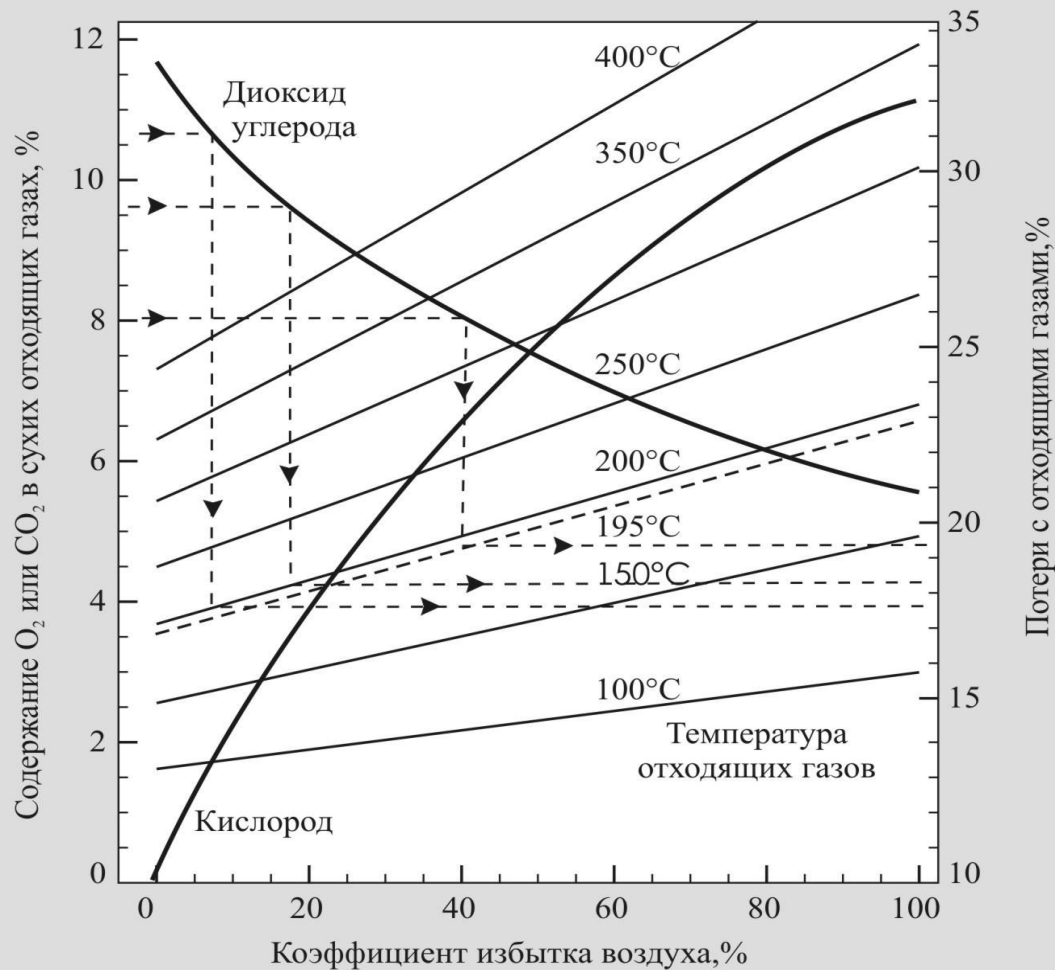
$$\alpha = (21 - pO_2)/(21 - O_2).$$

Влияние избытка воздуха на потери газа

(справа - температура
уходящих газов, °C)

Базовое топливо -

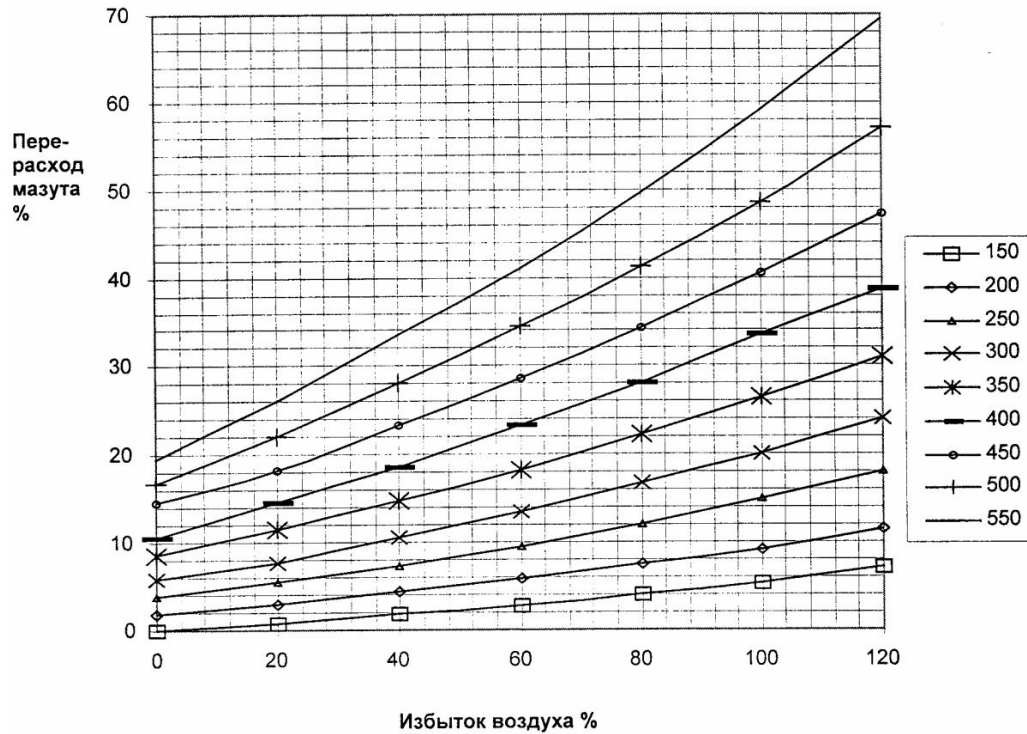
Рис. 3 Влияние избытка воздуха на эффективность



Влияние избытка воздуха на перерасход мазута

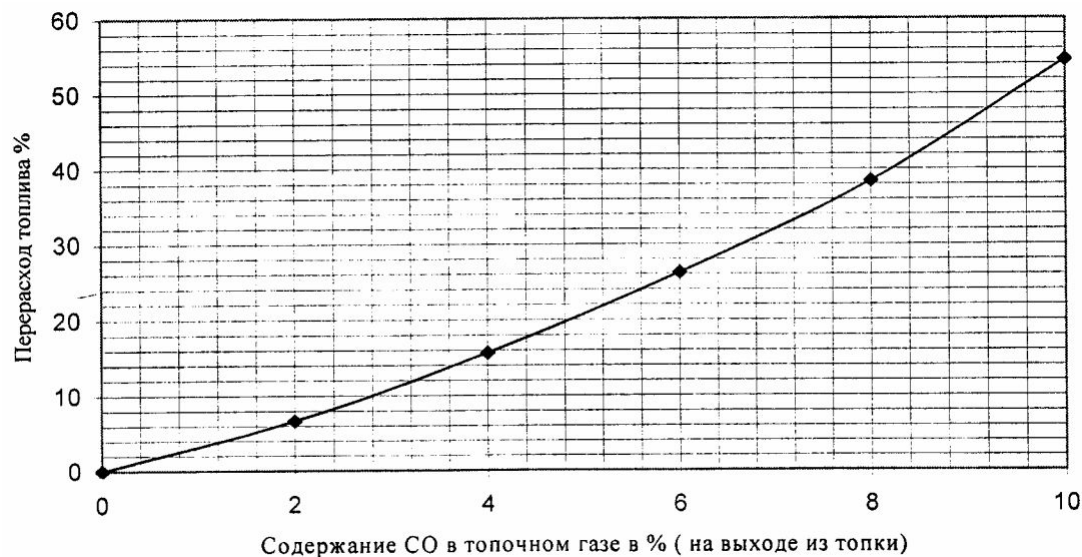
(справа - температура

уходящих газов $\theta_{\text{г}}$
Базовое топливо – C_4H_5 , $t_{\text{ух.}}$
150°C



Влияние содержания СО

Влияние содержания



недожег)
в топочном газе на

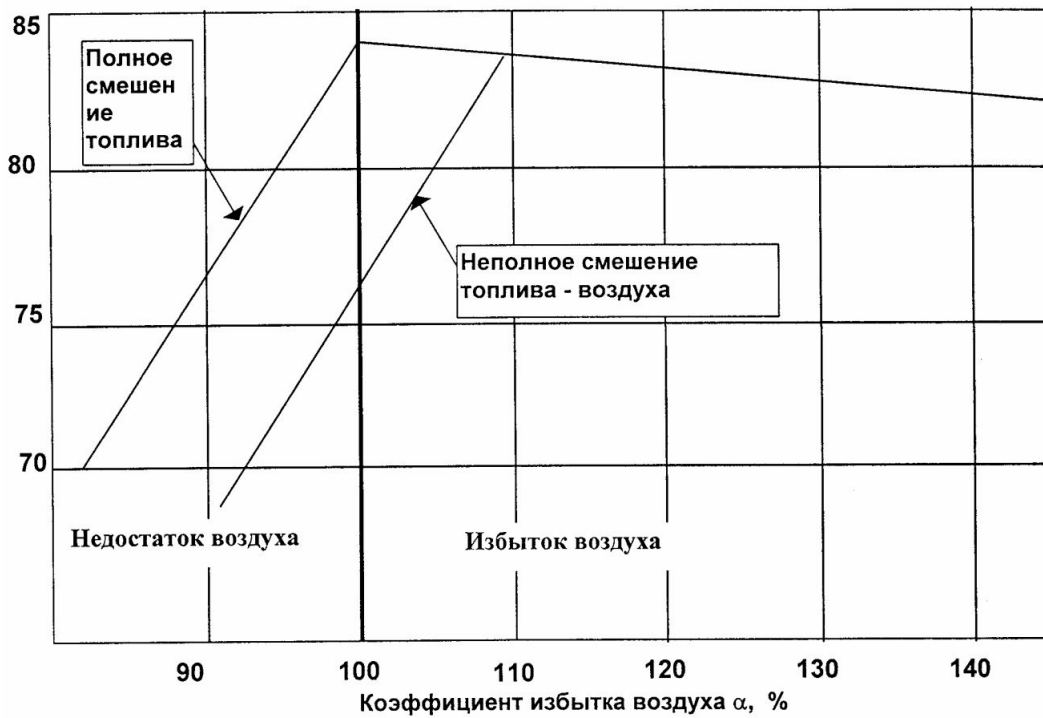
балансовых испытаний котельных агрегатов, которые проводятся специальными лицензированными организациями. Испытания ограничиваются 3 - 4 наиболее характерными режимами: 50, 70, 90 и 100% номинальной производительности при соблюдении заданных

Влияние процессов

смесеобразования и

коэффициента избытка
воздуха

КПД процесса
горения, %



Теплота сгорания топлива

удельная теплота сгорания

величина, показывающая, какое количество теплоты выделяется

удельная теплота сгорания
измеряется в Дж/кг (Дж/м³) или

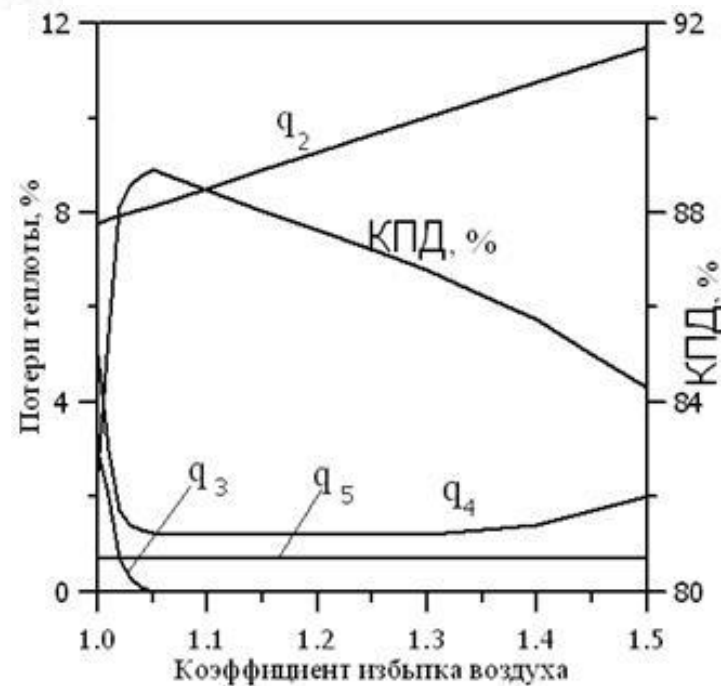
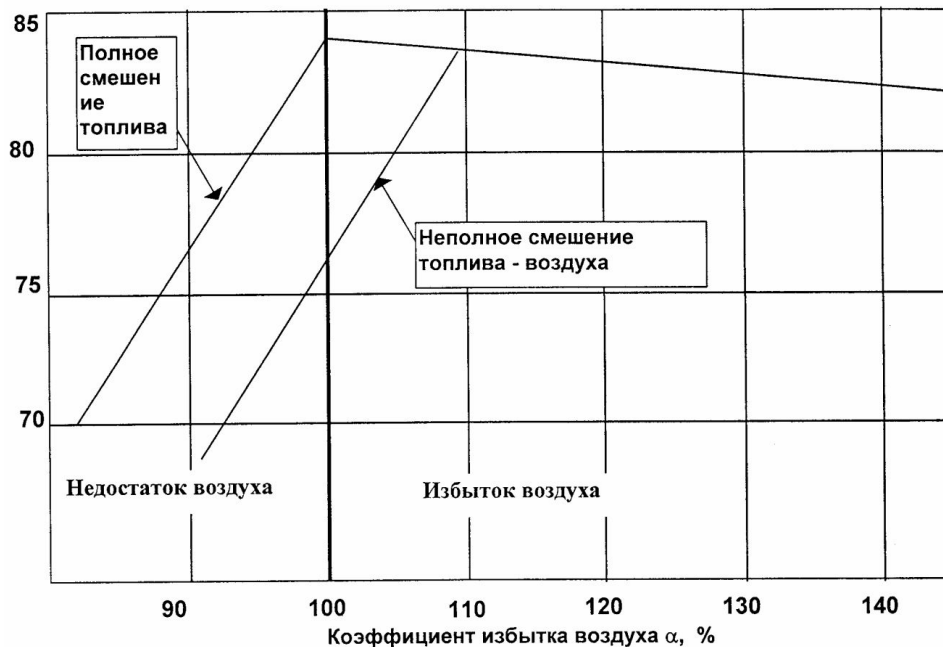
Топливо	У.Т.С. ккал/ кг	У.Т.С. кДж/кг
Древесина	2960	12400
Торф	2900	12100
Бурый уголь	3100	13000
Каменный уголь	6450	27000
Антрацит	6700	28000
Кокс	7000	29300
Сланец	2300	9600
Бензин	10500	44000
Керосин	10400	43500
Дизельное топливо	10300	43000
Мазут	9700	40600
Сланцевый мазут	9100	38000
Сжиженный газ	10800	45200
Природный газ*	8000	33500
Сланцевый газ*	3460	14500

КПД горения

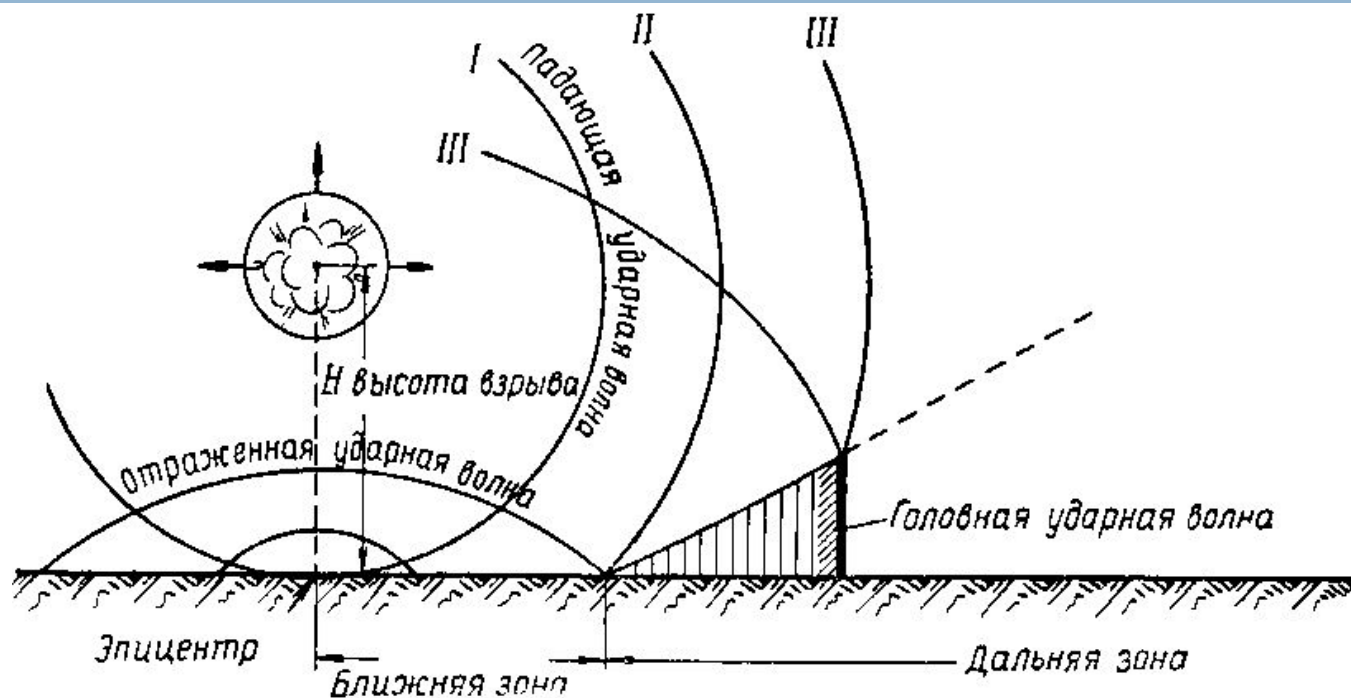
КПД горения - это соотношение между тепловой энергией, выделенной в результате горения и первичной энергией, затраченной на горение.

$$\eta = \frac{\text{Энергия, выделенная при горении}}{\text{Затраченная первичная энергия}} \cdot 100(\%)$$

КПД процесса горения, %



Взрыв



Взрывом называется чрезвычайно быстрое химическое (взрывчатое) превращение вещества, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить механическую работу.

Кинетическое горение



горючего газа, пара или пыли с окислителем. В этом случае скорость горения зависит только от физико-химических свойств горючей смеси (теплопроводности, теплоемкости, турбулентности, концентрации веществ, давления и т.п.). Поэтому скорость горения резко возрастает. Такой вид

Турбулентное горение

Турбулентное горение – вихревое движение газов, при котором интенсивно перемешиваются сгорающие газы, и фронт пламени размывается.

Границей между этими видами служит критерий Рейнольдса, который характеризует соотношение между силами инерции и силами трения в потоке:

$$Re = \frac{U \cdot l}{\nu}$$

где:

U - скорость газового потока;

ν - кинетическая вязкость;

l – характерный линейный размер.

Число Рейнольдса, при котором происходит переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный называется критическим $Re_{кр}$, $Re_{кр} \sim 2320$.

Турбулентность увеличивает скорость горения из-за более интенсивной передачи тепла от продуктов горения в свежую смесь.

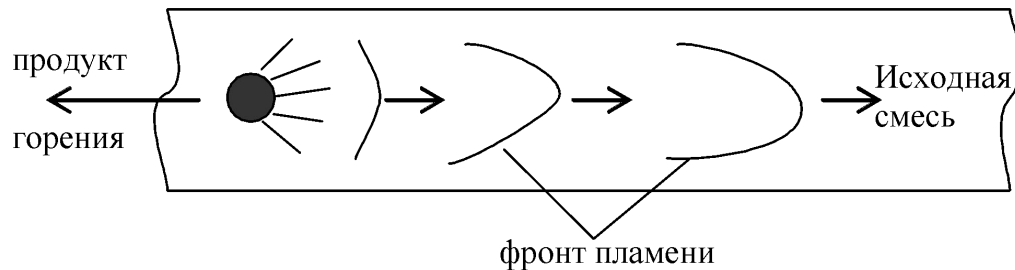
Нормальное горение.

пламени происходит при его гетвиль внешних возмущениях
(турбулентности или изменения давления газов)

Оно зависит только от природы горючего вещества, т.е. теплового эффекта, коэффициентов теплопроводности и диффузии. Поэтому является физической константой смеси определенного состава.

Дефлаграционное (взрывное) горение.

Схема возникновения взрывного горения.



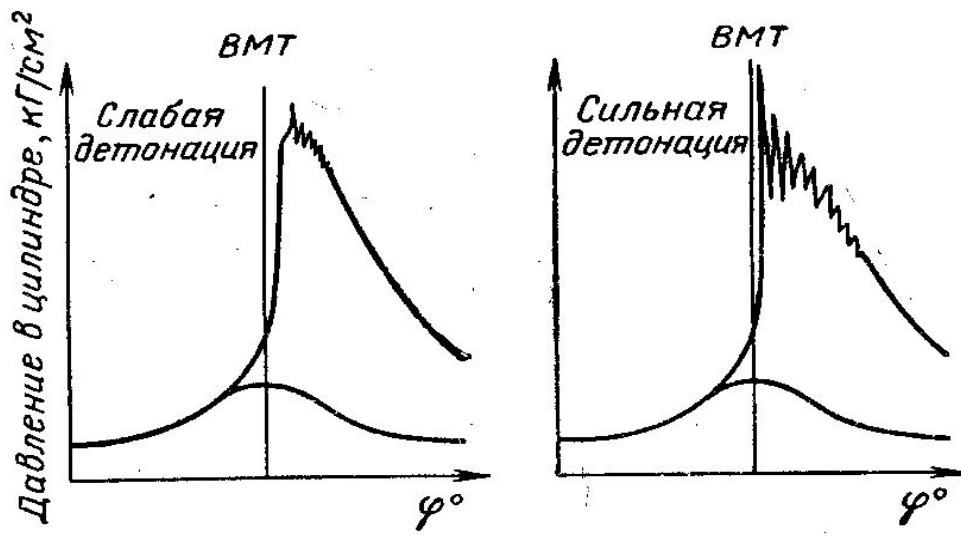
Процесс распространения пламени по горючей газовой смеси, при котором самоускоряющаяся реакция горения распространяется вследствие разогрева путем теплопроводности от соседнего слоя продуктов реакции, называется **дефлаграцией**.

Дефлаграционное (взрывное) горение.

Нормальное горение неустойчиво и в закрытом пространстве склонно к самоускорению. Причиной этому является искривление фронта пламени вследствие трения газа о стенки сосуда и изменения давления в смеси.

Давление смеси не изменяется. Длительность равномерного распространения пламени зависит от диаметра трубы, рода горючего и его концентрации. По мере продвижения фронта пламени внутрь трубы продукты реакции, имея больший объем по сравнению с исходной смесью, не успевают выйти наружу и их давление возрастает. Это давление

Детонация



поддерживается в экзотермических реакциях тепла.

Комплекс, состоящий из ударной волны и зоны экзотермических химических реакций за ней, распространяется по веществу со сверхзвуковой скоростью и называется детонационной волной.

выделяющегося в

Детонационное горение.

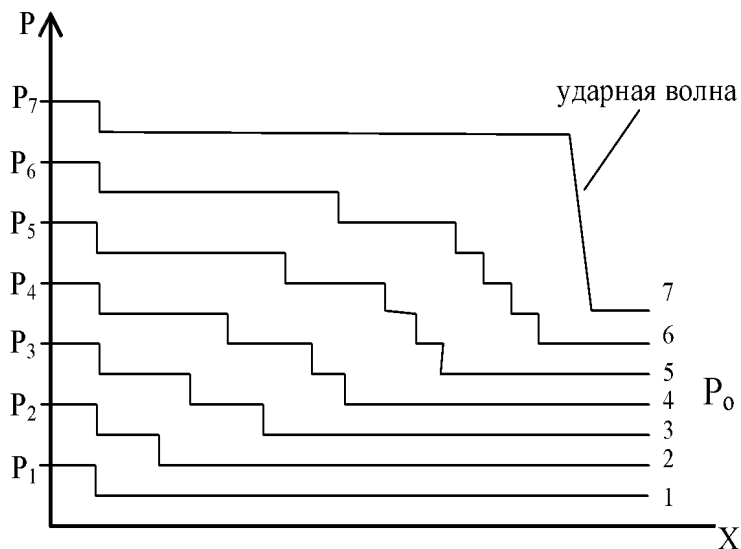


Схема образования детонационной волны: $P_0 < P_1 < P_2 < P_3 < P_4 < P_5 < P_6 < P_7$; 1-7 – нарастание давления в слоях с 1-го по 7-ой.

В ударной волне в результате **адиабатического сжатия** мгновенно увеличивается плотность газов и повышается температура до T^0 самовоспламенения. В результате происходит зажигание горючей смеси ударной волной и возникает **детонация**

Детонационная волна не гаснет, т.к. подпитывается ударными волнами от движущегося вслед за ней пламени.

Особенность детонации – она происходит с определенной для каждого состава смеси сверхзвуковой скоростью 1000-9000 м/с, поэтому является физической константой смеси. Она зависит только от калорийности горючей смеси и теплоемкости продуктов сгорания.

Встреча ударной волны с препятствием ведет к образованию отраженной ударной волны и еще большему давлению.

Детонация – самый опасный вид распространения пламени, т.к. имеет максимальную мощность взрыва ($N=A/\tau$) и огромную скорость. Практически «обезвредить» детонацию можно лишь на преддетонационном участке, т.е. на расстоянии от точки зажигания до места возникновения детонационного горения. Для газов длина этого участка от 1 до 10 м.

Вспышка



Вспышка — быстрое сгорание газопаровоздушной смеси над поверхностью горючего вещества, сопровождающееся кратковременным видимым свечением, см. температура вспышки.

Солнечная вспышка

Вспышки так или иначе охватывают все слои солнечной

Необходимо отметить, что солнечные вспышки и корональные выбросы массы являются различными и независимыми явлениями солнечной активности.

Энерговыделение мощной солнечной вспышки может достигать

Солнечная вспышка

Продолжительность импульсной фазы солнечных вспышек обычно не превышает нескольких минут, а количество энергии, высвобождаемой за

это время, может достигать миллиардов мегатонн в тротиловом эквиваленте.

Энергию вспышки традиционно определяют в видимом диапазоне электромагнитных волн по произведению площади свечения в линии

Солнечная вспышка

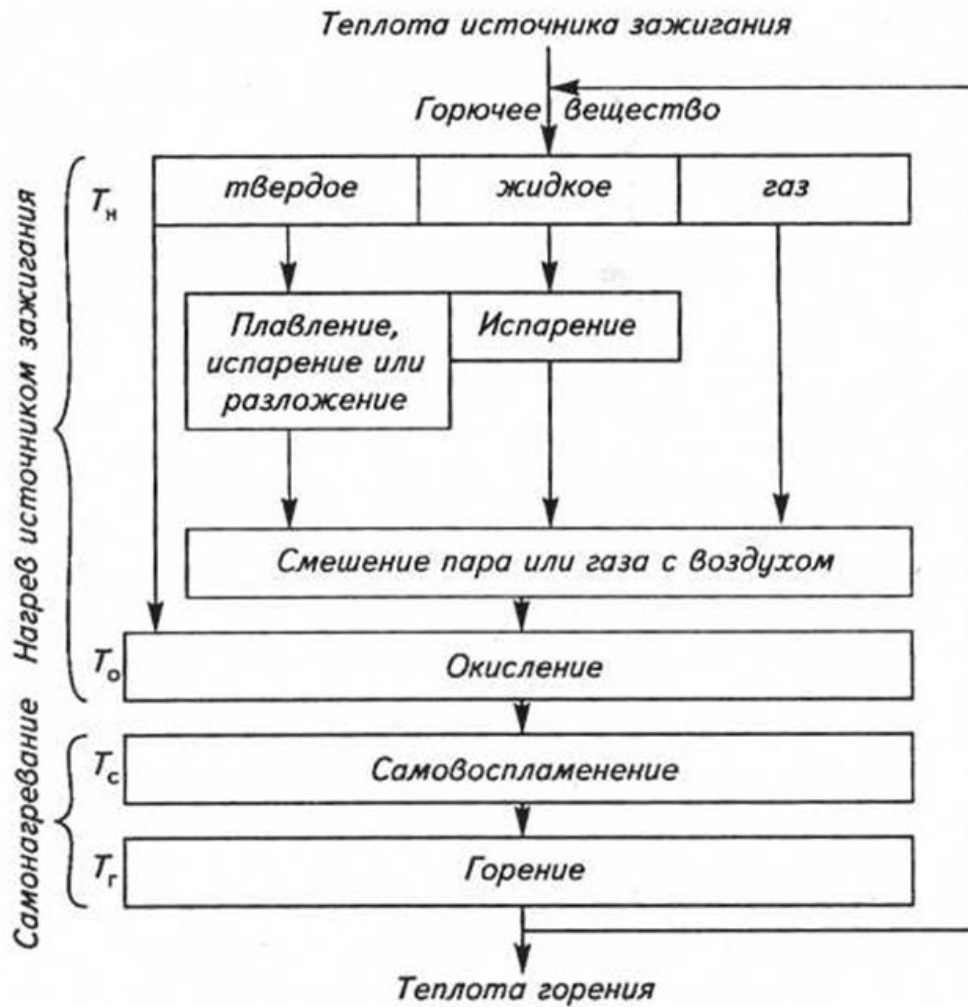
Фотография вспышки 1895 года.



Самовозгорание

увеличение скорости

приводящее к



Самовозгорание

Температура окружающей среды

Материалы способные к самовозгоранию имеют большую пожарную опасность из-за пористость, волокнистость,



Воспламенение

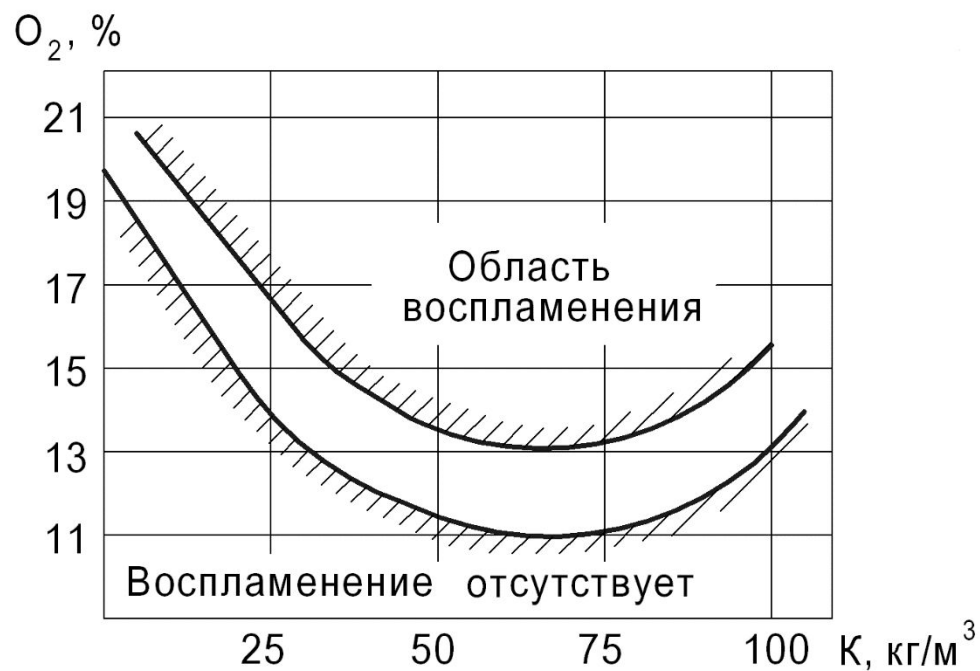


Температурой воспламенения называется наименьшая температура жидкости, при которой пламя над ее поверхностью не погаснет.

Воспламенение

воспламенения их от внешнего

источника зажигания вещество устойчиво горит.



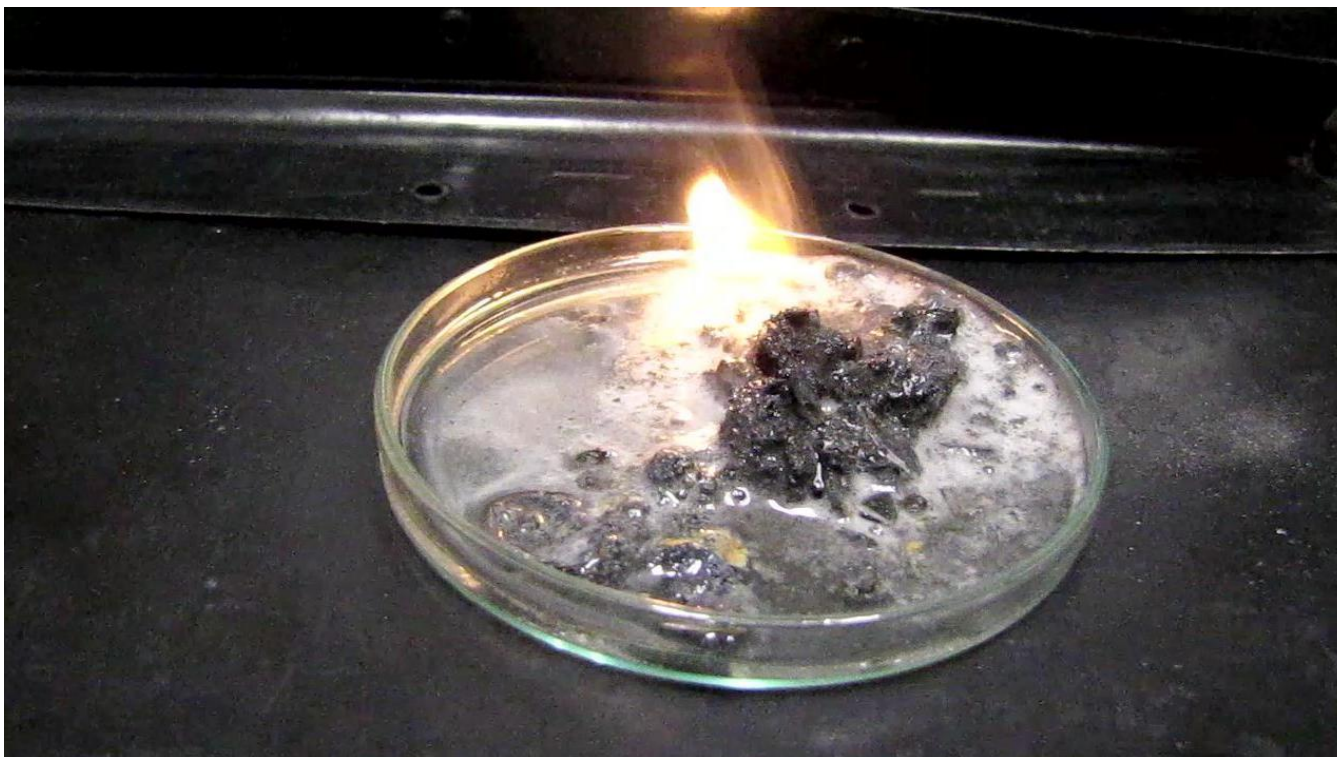
Область воспламенения

Вещество способно воспламеняться от источника зажигания с последующим распространением самостоятельного горения по смеси

Область воспламенения ограничена нижними и верхними концентрационными пределами воспламенения (КПВ). Значения КПВ зависят от рода веществ и окислительной среды, параметров состояния, направления распространения пламени, формы и размера сосуда, в котором заключена смесь.

Самовоспламенение

Самовоспламенение - это самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени.



Самовоспламенение

при которой наблюдают самовоспламенение.

Эта температура зависит от условий теплообмена как внутри реакционного сосуда, так и самого сосуда



Показатель применяется для определения допустимой температуры нагревания горючих веществ, электрического и технологического оборудования, а также для установления группы взрывоопасной смеси.

В-во	Температура самовоспламенения(°С)
Фосфор белый	20
Сероуглерод	112
Целлулоид	140-180
Сероводород	246
Масла нефтяные	250-400
Керосин	250
Бензин А-76	255
Мазуты	380-400
Каменный уголь	400
Ацетилен	406
Этиловый спирт	421
Древесный уголь	450
Нитробензол	482
Водород	530
Ацетон	612
Бензол	625
Окись углерода	644

Микробиологическое самовозгорание



Микробиологическое самовозгорание

- К микробиологическому самовозгоранию склонны, главным образом, материалы растительного происхождения. Они служат питательной средой для бактерий и грибов.

- Возможности развития микробиологического процесса ограничены, так как температура самонагревания материала не должна превышать 75°C . Поскольку при более высокой температуре микроорганизмы, как правило, погибают. Примерами микробиологического самовозгорания можно назвать обугливание пшеницы в буртах, самонагрев навозной кучи и т. п.

Основные показатели, характеризующие опасность самовозгорания веществ

1. температура самонагревания;
2. температура тления;
3. условия теплового самовозгорания;
4. способность взрываться и гореть при контакте с водой, кислородом воздуха и другими окислителями.

Последний показатель качественно характеризует особую пожарную опасность веществ, называемую пирофорностью.

Пирофорные вещества



- К пирофорным относятся вещества , имеющие температуру самовоспламенения ниже температуры окружающей среды

Три группы самовозгорающих веществ

- 1. Самовозгорающиеся при соприкосновении с воздухом: фосфор, сернистые металлы, порошок магнезия, уголь, сажа и др. Например, в трассирующих пулях, фейерверках используются самовозгорающиеся вещества.
- 2. Воспламеняющиеся при соприкосновении с водой – это щелочные металлы, их карбиды, и др. Например, карбид кальция, применяемый в ацетиленовых генераторах. Негашеная известь не горит, но выделяющееся при её реакции с водой тепло может нагреть материалы до температуры самовоспламенения.
- 3. К третьей группе относятся органические соединения, которые воспламеняются при контакте с кислородом и другими окислителями (хлором, бромом, окислами азота); это масла. Сюда относятся и вещества, получаемые в результате эндотермических реакций, например, ацетилен, которые при воздействии тепла или удара разлагаются с возможным возникновением взрыва.

Зажигание

Зажигание – это процесс инициирования начального очага горения в горючей смеси за счет ввода в смесь извне высокотемпературного источника тепловой энергии.

Поджигание заключается в быстром локальном разогреве горючей смеси, который приводит к резкому протеканию реакции в разогретом объеме.

Схема теплового воспламенения по Вант-Гоффу

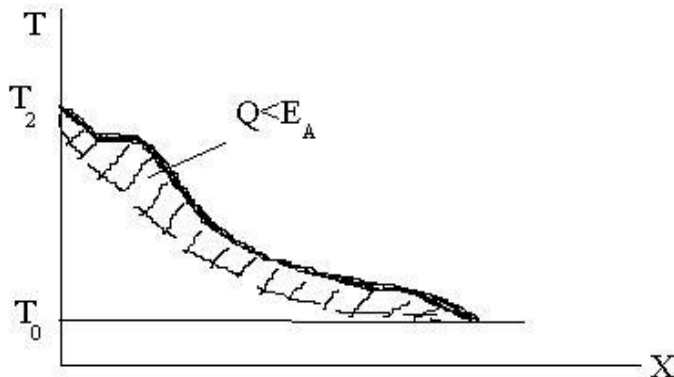
1



Распространение тепла от
источника поджигания:

В инертной среде:
в данном случае теплота просто отводится в холодную инертную среду с температурой T_0 ;

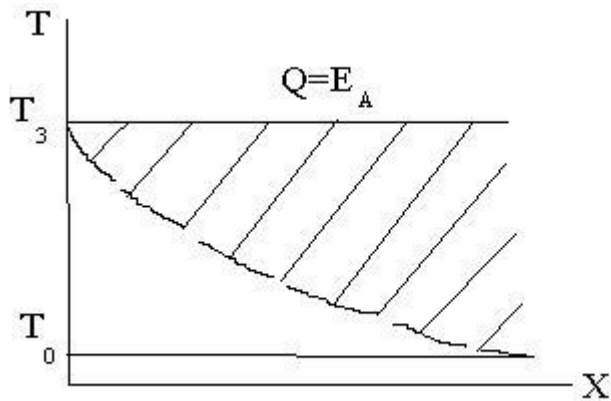
2



В среде, способной к экзотермической реакции,
но T_2 недостаточна для возникновения прогрессивного процесса разогрева и самоускорения реакции, т.е. принесенная энергия меньше энергии активации.

Схема теплового воспламенения по Вант-Гоффу

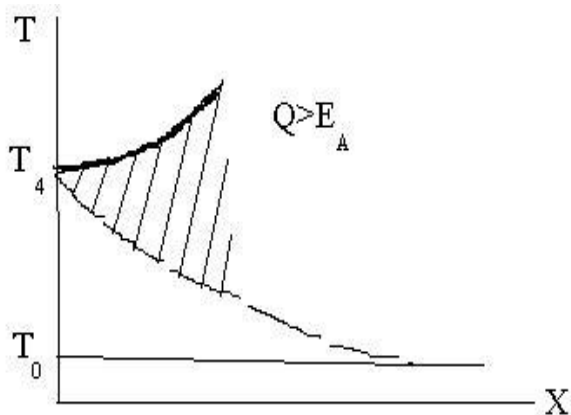
3



В горючей смеси,

когда T_3 достаточна для самоускорения реакции и воспламенения, т.е. внесенная энергия равна энергии активации. При этих условиях формируется очаг горения. $T_3 = T_{\text{зажигания}}$ – предел определяющий область воспламенения от медленно затухающей реакции

4



В горючей смеси,

когда $T_4 > T_{\text{зажигания}}$. Скорость реакции крайне быстро возрастает, самоускоряется и приводит к взрыву.

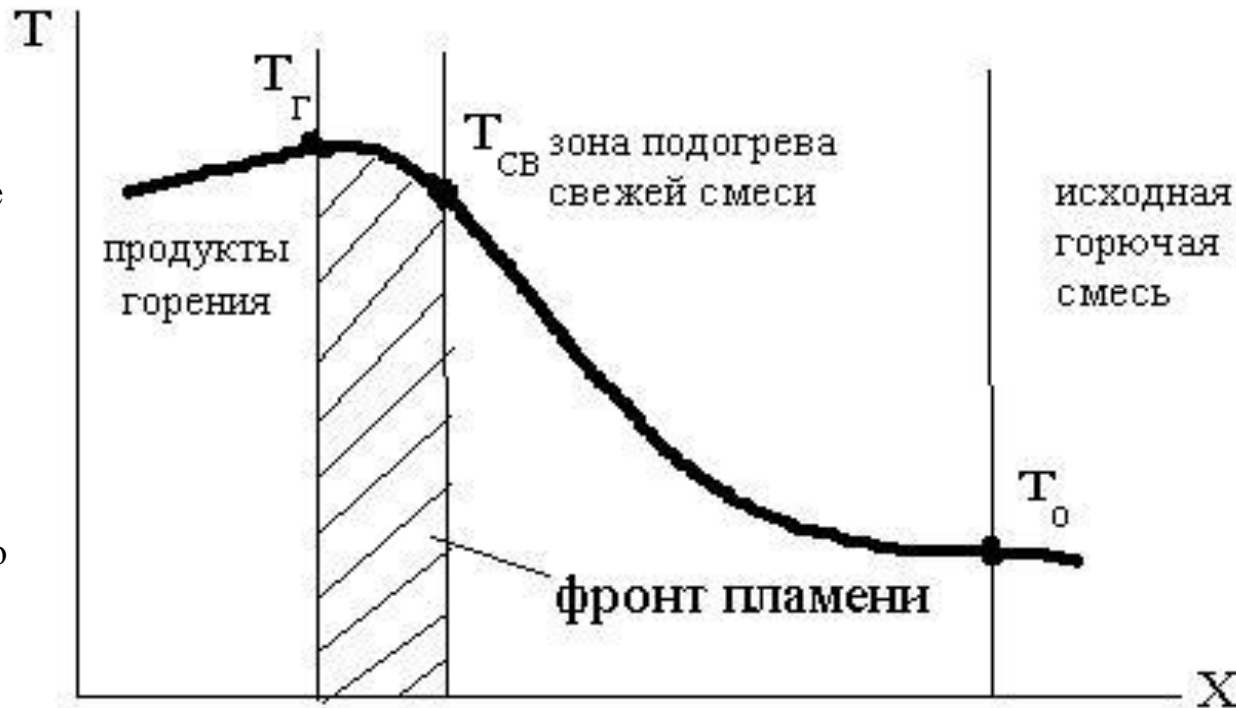
Распространение пламени



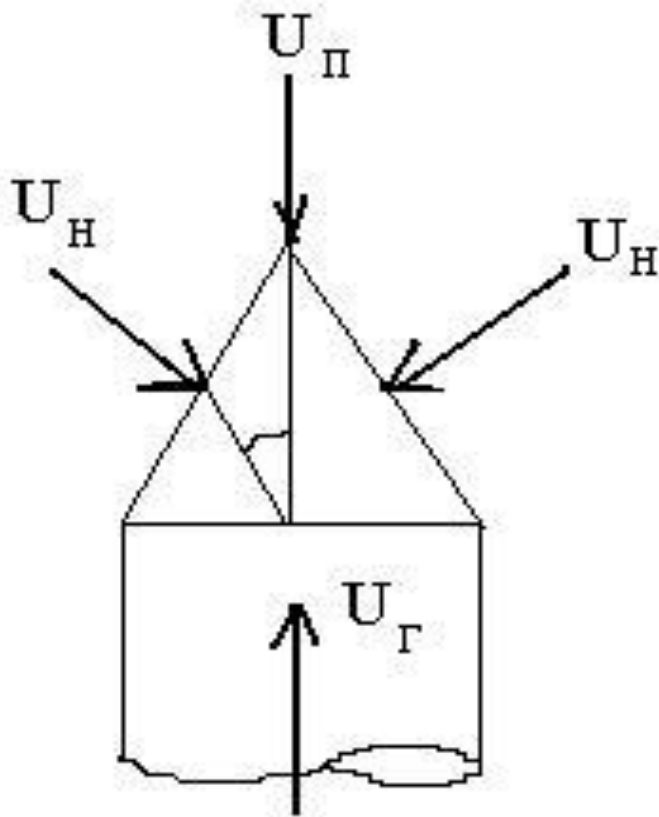
Тепловая теория горения

Согласно тепловой теории горения, разработанной советскими учеными: Я.Б. Зельдовичем и Д.А. Франк-Каменецким, распространение пламени происходит путем передачи тепла от продуктов горения к несгоревшей (свежей) смеси.

- Распределение температур в газовой смеси с учетом тепловыделения от химической реакции и теплопроводности



Теоретическое обоснование условий распространения пламени



горелка

$$U_{\text{н}} = U_{\text{пл}} * \sin\varphi.$$

$$q = U_{\text{пл}} c\rho(T_{\Gamma} - T_0), \quad q = \lambda * (T_{\dot{A}} - \dot{O}_0) * \delta,$$

$$U_{\text{пл}} = \lambda / c\rho\delta = a / \delta,$$

$$U_{\text{пл}} = b \exp(-E / RT_{\Gamma}),$$

$$v_P = Ke^{-E/RT}$$

где: λ - коэффициент теплопроводности;
 δ - ширина фронта пламени.

c - удельная теплоемкость;
 ρ - плотность смеси.

$a = \lambda \setminus c\rho$ - коэффициент температуропроводности.

b - показатель, зависящий от свойств смеси, \dot{n} , ρ , λ .

Горение в замкнутом объеме

. Сжигание в замкнутом сосуде связано с ростом давления. Это имеет большое значение для решения задач взрывобезопасности. Повышение давления при сгорании в замкнутых аппаратах, а также в помещениях, может приводить к разрушениям и авариям.

Горение в замкнутом объеме

- При горении без тепловых потерь (адиабатическом горении) в замкнутом объеме в результате повышения температуры с T_0 до температуры горения T_2 и изменения числа грамм-молекул при реакции давление возрастает с P_0 до P_2 :

$$D_{\tilde{A}(\tilde{a}\tilde{c}\tilde{d})} = \frac{D_0 * O_{\tilde{A}}}{O_0} * \frac{n}{m},$$

где: m, n – число молей веществ до и после взрыва стехиометрического состава смеси.

- При адиабатическом сжатии от давления p_0 до давления p рост температуры от T_0 до T определяется уравнением Пуассона

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{P}{P_0}\right)^{(\gamma-1)/\gamma},$$

где: $\gamma = c_p/c_v$. – показатель адиабаты (чаще обозначается «к»).

Движение газов при горении

Рассмотрим горение стационарного фронта пламени в открытой трубе, изображенной на рисунке

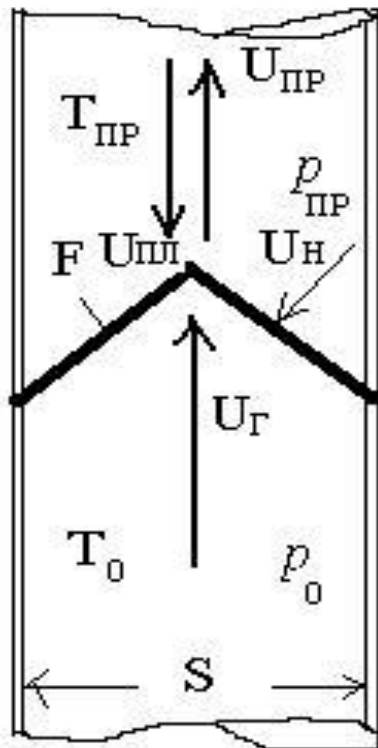
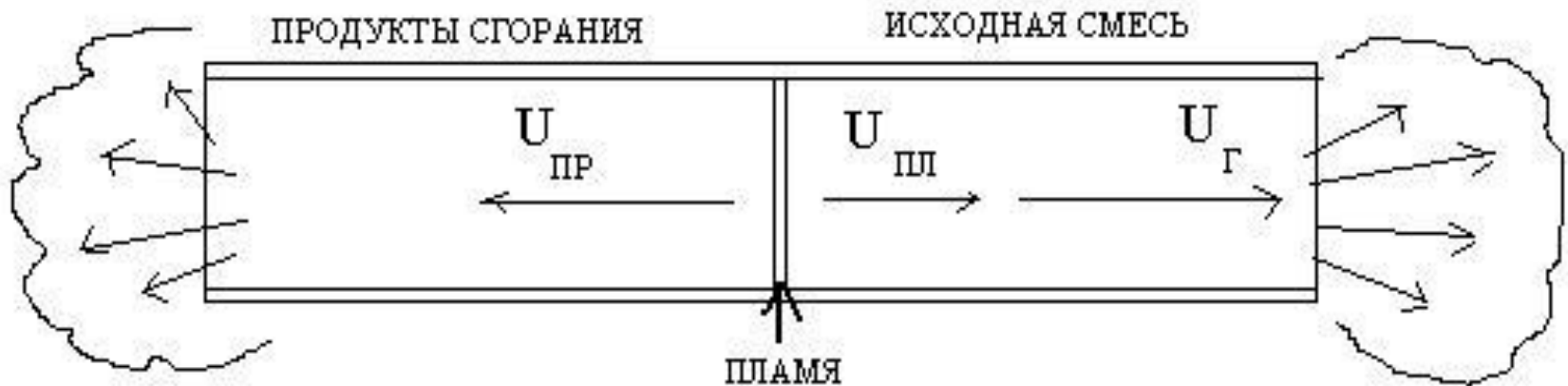


Схема пояснения закона площадей:

S – сечение трубы, F – поверхность фронта пламени, ω – скорость исходной горючей смеси, T_0 , ρ_0 – температура и плотность исходной смеси, U_H – нормальная скорость горения, $U_{ПЛ}$ – скорость распространения пламени, $U_{ПР}$ – скорость продуктов горения, $T_{ПР}$, $\rho_{ПР}$ – температура и плотность продуктов горения.

Движение газов при горении

Если рассматривать неподвижную горючую смесь, то при распространении фронта пламени резко нагретые газы не успевают расширяться, и в зоне горения резко повышается давление, которое «распирает» и выталкивает газы в обе стороны от пламени, причем выталкиваются не только продукты горения, но и возникает движение исходной смеси впереди фронта пламени, как на рисунке :



УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЗРЫВА

- Взрыв состоит из трёх стадий:
 - превращение химической энергии реакции в тепловую энергию
 - превращение тепловой энергии в энергию сильно сжатого газа
 - распространение сжатого газа в виде ударной волны

Условия возникновения взрыва

- Основными условиями протекания химической реакции в виде взрыва являются:
 - Экзотермичность
 - Образование газов
 - Высокая скорость реакции и ее способность к самораспространению и самоускорению.

Ударные волны в инертном газе

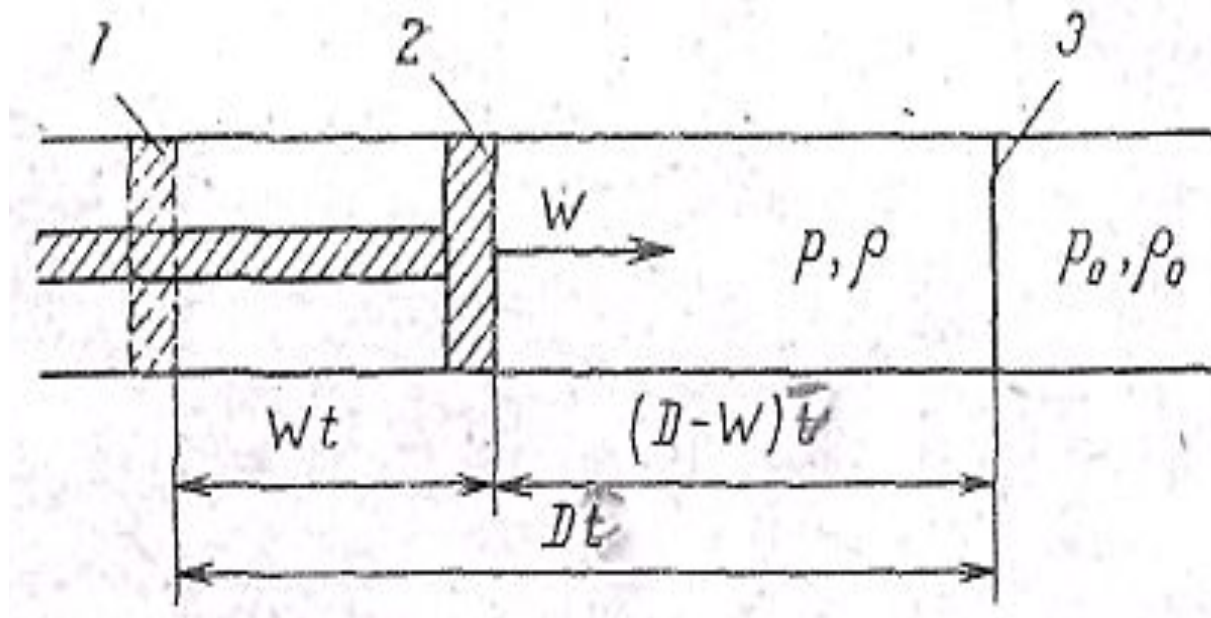


Схема движения волны сжатия: 1 – исходное положение поршня; 2 – положение поршня в момент времени τ ; 3 – положение фронта ударной волны в момент времени τ .

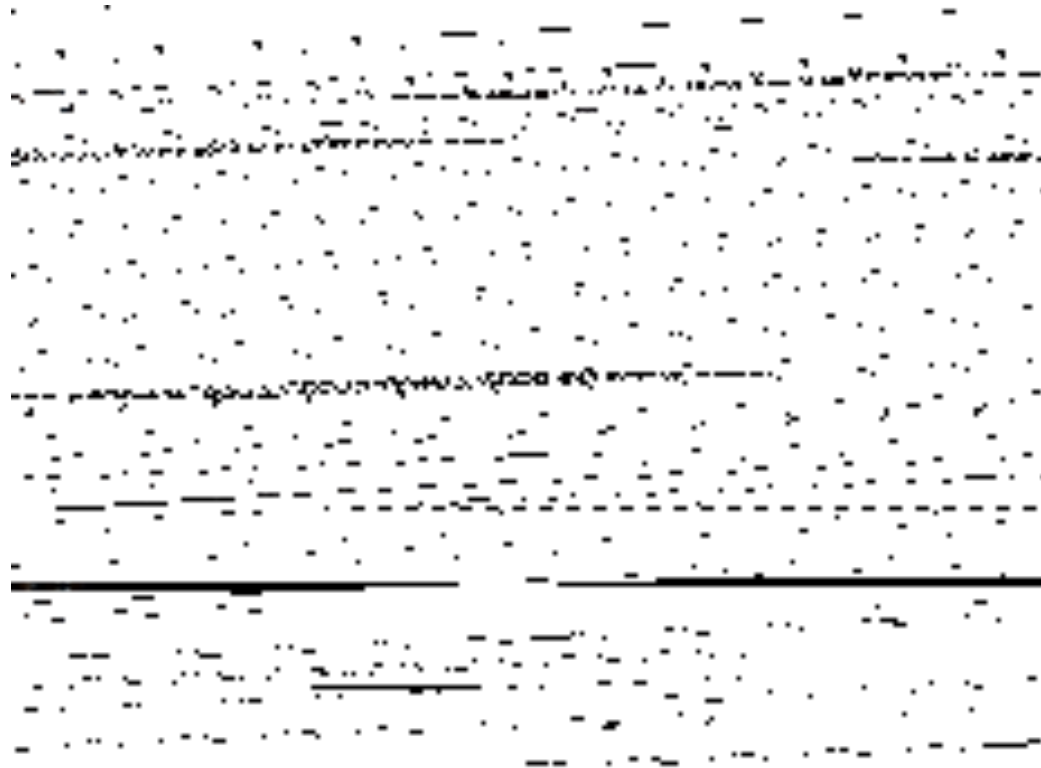
Адиабата Гюгонио

- Ударное сжатие необратимо и потому неизоэнтропично, часть энергии сжатия расходуется на необратимое нагревание газа. Разделим ударное сжатие от P_0 до P_2 на два этапа:

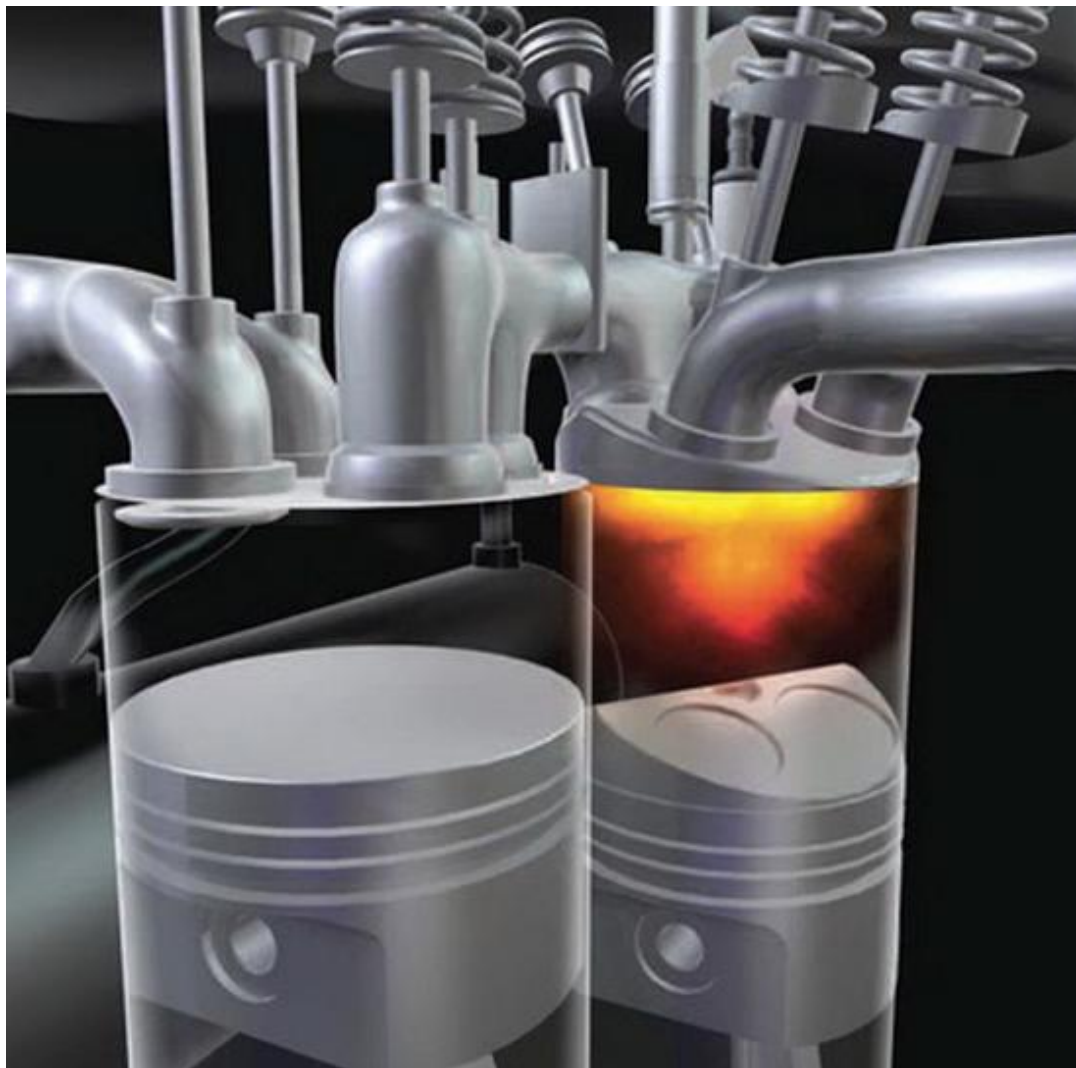
первая ударная волна
сжимает газ от P_0 до $P_1 < P_2$

вторая – от P_1 до P_2

Адиабата Гюгонио



Возникновение детонации



Ускорение горения в трубах

Для возникновения детонации необходима сильная ударная волна, в которой происходит достаточное нагревание взрывчатой среды. Такая волна может создаваться внешним инициирующим импульсом, например, при взрыве заряда взрывчатого вещества.

Ускорение горения в трубах

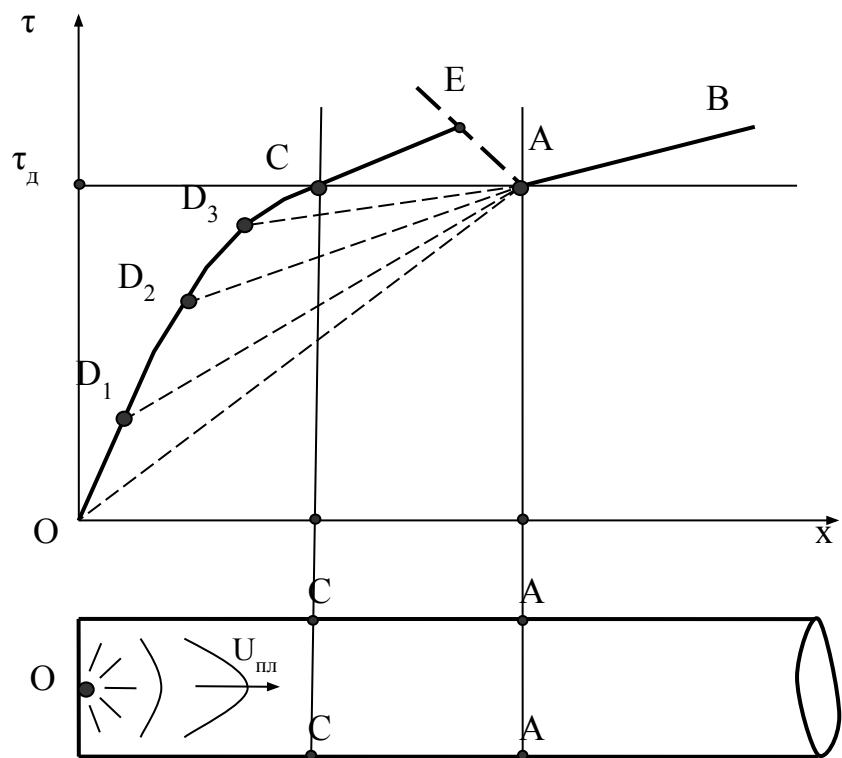


Схема возникновения детонации: OE – участок ускоряющегося пламени; OA ; D_1A ; D_2A ; D_3A – последовательно отходящие ударные волны; AB – детонация.

Когда фронт горения находится в точке C , возникает детонация в точке A . Вправо линия AB – распространение детонационной волны, AE – ретонационная волна (по продуктам горения).

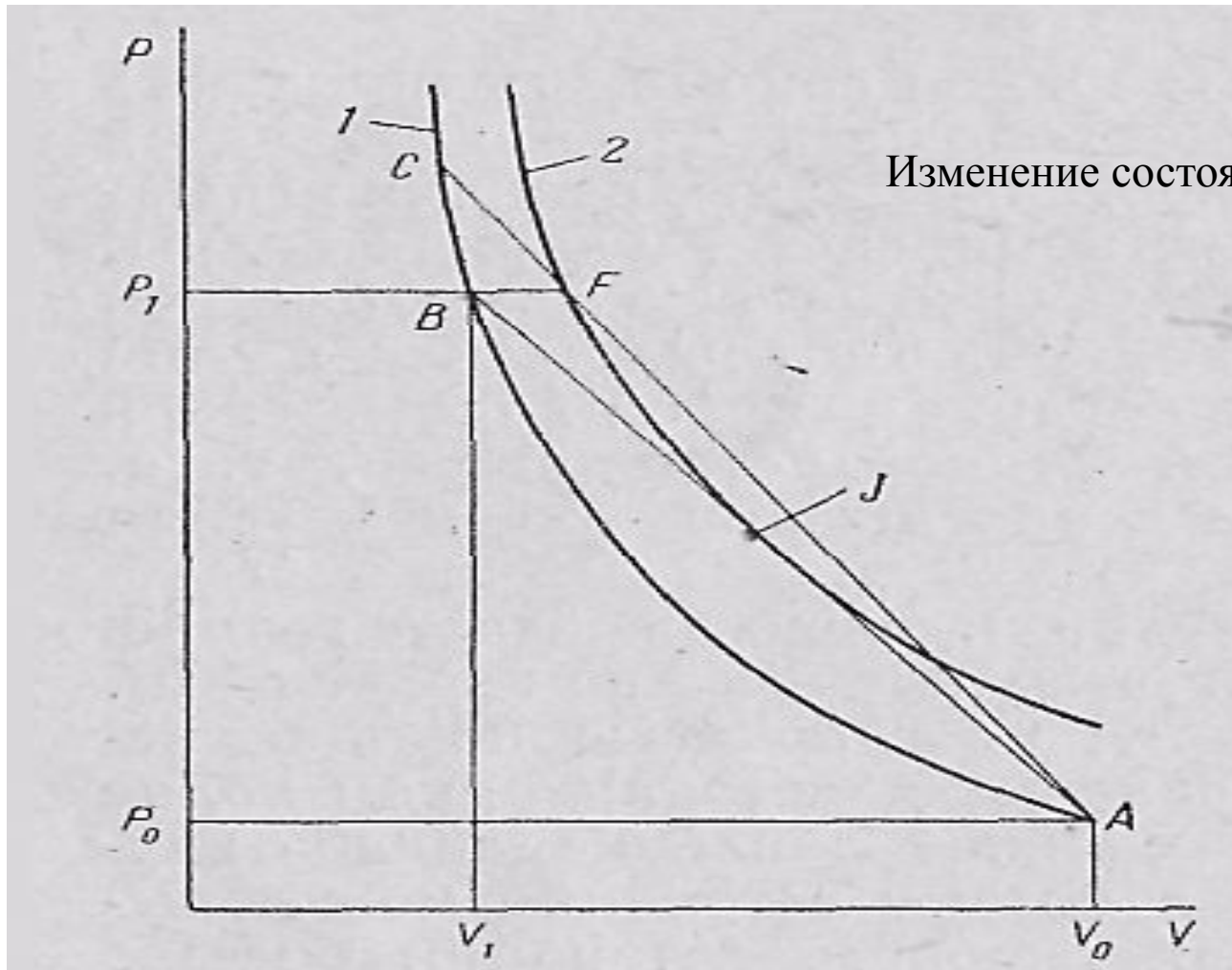
Стационарный режим распространения детонации

Уравнение $P = P_0 + \frac{D^2}{v_0}(v_0 - v)$ справедливо для любых систем. В любой точке зоны реакции стационарной детонационной волны соблюдается зависимость

описывающая (в $P - v$ координатах) так называемую прямую Ми-хельсона – одного из создателей теории детонации.

Обозначим индексами 0, 1 и 2 соответственно состояния газа до сжатия в ударной волне, непосредственно после сжатия, но до начала реакции, и после завершения реакции.

Стационарный режим распространения детонации



Изменение состояния газа при детонации.

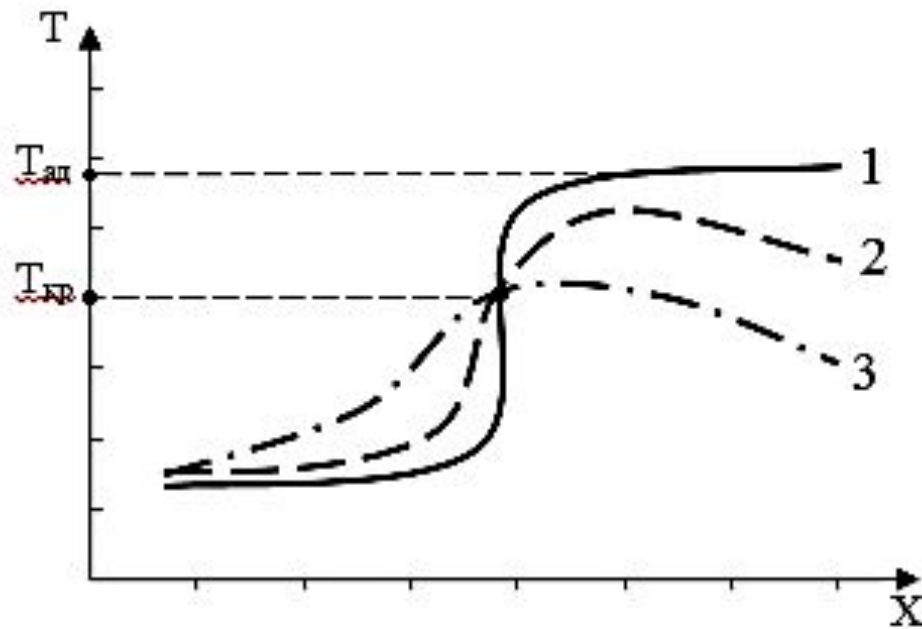
Критический диаметр гашения

- Для ориентировочных оценок можно привести следующие примерные значения критического диаметра гашения (в мм) наиболее опасных воздушных и кислородных смесей метана, водорода и ацетилена при 1 ат:

Горючее	Воздушные смеси	Кислородные смеси
CH₄	4,1	0,35
H₂	0,80	0,30
C₂H₂	0,85	0,08

Концентрационные пределы распространения пламени.

Изменение распределения температуры во фронте пламени под влиянием тепловых потерь: 1 – адиабатическое горение; 2, 3 – горение с тепловыми потерями ($q_2 < q_3$).



Концентрационные пределы распространения пламени.

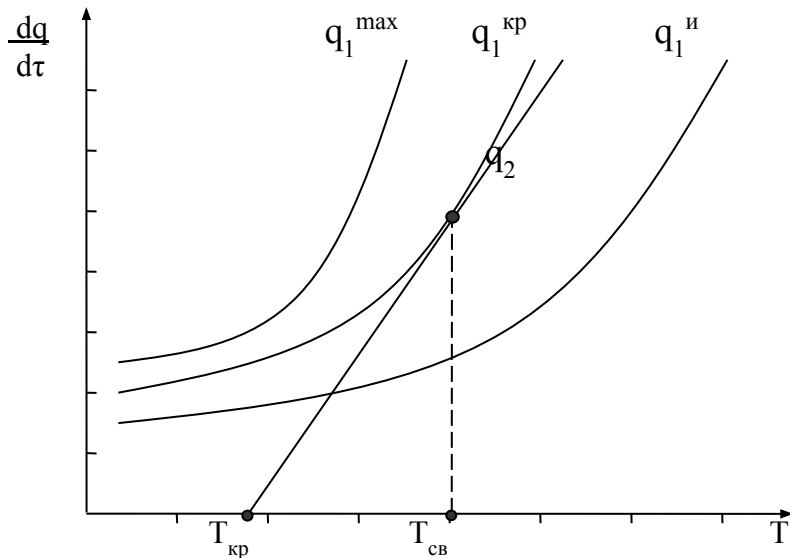
Скорость выделения тепла, как и скорость пламени изменяется по уравнению:

$$\frac{dq_1}{d\tau} = KQVc^n e^{-E/RT}$$

в котором существенную роль играет тепловой эффект реакции (Q) и концентрация веществ (c).

Концентрационные пределы распространения пламени.

- Схема соотношения между теплоотводом q_2 и теплоприходом q_1 при трех разных составах q_1^{\max} , $q_1^{\text{кр}}$ и $q_1^{\text{и}}$ показана на рис.:



Соотношение между теплоприходом и теплоотводом в горючих смесях при $q_1^{\max} > q_1^{\text{кр}} > q_1^{\text{и}}$.

Концентрационные пределы распространения пламени

Горючее вещество		Воздушные смеси		Кислородные смеси	
Название	Формула	π_{\min}	π_{\max}	π_{\min}	π_{\max}
Водород	H ₂	4.0	7.5	4.0	94
Окись углерода	CO	12.5	74	15.5	94
Метан	CH ₄	5.3	14	5.1	61
Пропан	C ₃ H ₈	2.2	9.5	2.3	55
Бутан	C ₄ H ₁₀	1.9	8.5	1.8	49

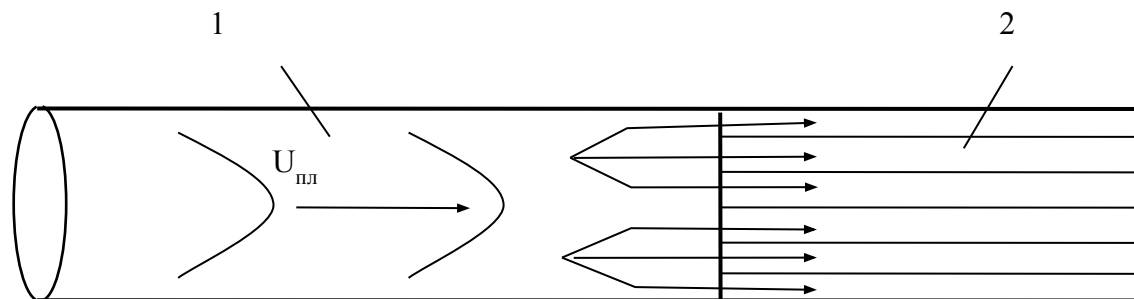
Затухание пламени в узких каналах.

Интенсивность теплоотвода q_2 можно определить по закону теплопередачи Ньютона. Для единицы объема охлаждаемого газа:

$$q_2 = \alpha(T_{\Gamma} - T_o) \frac{S}{V}$$

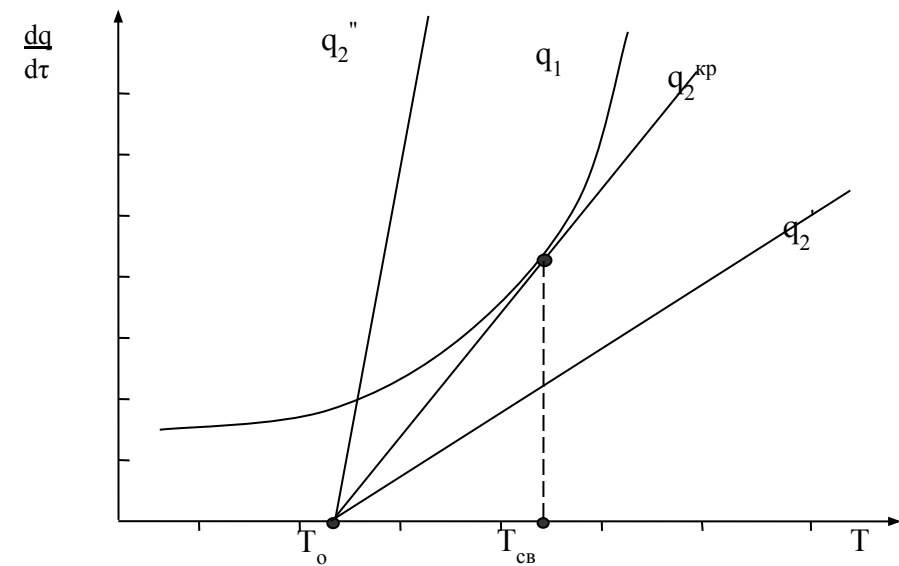
где S/V – отношение поверхности теплоотдачи к величине объема охлаждаемого газа.

Принцип распространения пламени в трубе с переходом в узкие каналы



При переходе горения в узкие каналы поверхность теплоотдачи S резко возрастает и соответственно теплотери к стенкам каналов за счет резкого усиления теплопроводности. В достаточно узких каналах возможны теплотери, приводящие к гашению даже наиболее быстрогорящих взрывчатых смесей.

Затухание пламени в узких каналах.



- Соотношение между теплоприходом и теплоотводом: $q_2' < q_2^{кр} < q_2''$ – теплотери канала соответственно при $d_1 > d_{кр} > d_2$.



"Настаиваем на
дальнейшем
сотрудничестве"