

СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТИ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Способы сжигания топлива. Подготовка к сжиганию твёрдых ТОПЛИВ

Преподаватель: Кафедра «Энергетики» , PhD доктор,
ассоциированный профессор Онгар Булбул

b.ongar@satbayev.university

Введение

- 1 Основы теории горения;
- 2 Горючее вещество;
- 3 Горение топлива;
- 4 Гомогенное топлива;
- 5 Гетерогенное топлива;
- 6 Горение твердого топлива;
- 7 Горение жидкого топлива;
- 8 Расчеты горения топлива;
- 9 Продукты горения топлива;
- 10 Температура сгорания;
- 11 Способ сжигания топлив.

Основы теории горения

Горение - процесс быстрого химического соединения горючих элементов топлива с окислителем (кислород воздуха), сопровождающийся выделением теплоты и света.

Типы горения:

- гомогенное - происходит в газовом объеме (система «газ+газ»);
- Гетерогенное - горение твердых и жидких горючих (система "твердое тело+газ" или "жидкость+газ").

Основы теории горения

Факел - один из видов пламени при струйной подаче топлива и воздуха.

В факеле происходят единовременно процессы непосредственно горения, подогрева смеси до температуры воспламенения и перемешивания.

Воспламенение смеси горючего газа и воздуха возможно только при их определенном соотношении - т.н. концентрационные пределы (верхний и нижний).

Для H_2 ~ 4,1...75%; CO ~ 12,5...75%; CH_4 ~ 5,3...14%; коксовый газ ~ 5,6...30,4%, природный газ ~ 4...13%

- **Пламя** – это светящиеся продукты горения.

Для возникновения горения необходимы:

- Наличие горючей смеси;
- Инициация реакции между горючим и окислителем.

Основные факторы для возникновения реакции горения:

- Нагрев горючей смеси до температуры самовоспламенения;
- Воздействие внешнего источника зажигания.

Горючее вещество

- **Горючее вещество** – это вещество способное к горению.
- **Горючесть** – способность вещества или материала к распространению пламенного горения или тления.

Материалы подразделяются:

- Негорючие(не горят на воздухе);
- Трудногорючие(загораются на воздухе от источника зажигания, но не способны самостоятельно гореть: полихлорвинил, древесина)
- Горючие вещества(древесина, уголь, нефть и др.)

Горючее вещество

Исходя из процессов, которые вызывают взрыв различают:

- физический,
- химический,
- ядерный взрывы.

Горючее вещество

- **Пожаром** называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб.
- **Взрыв** – это крайне быстрое химическое или физическое превращение вещества, сопровождающееся выделением большого количества газов, тепловой энергии и, как следствие, резким повышением давления и возникновением ударной (взрывной) волны, что приводит в итоге к пожарам, разрушениям и травмам людей.

Горение топлива

Горение – химический процесс соединения окислителя (O_2) с горючими элементами топлива, сопровождающийся интенсивным выделением теплоты и значительным повышением температуры.

Особенности горения топлива: реакция горения протекает очень быстро. Поэтому для обеспечения непрерывности протекания процесса горения требуется обеспечить :

- бесперебойный подвод окислителя к топливу и их интенсивное перемешивание
- отвод образующихся продуктов горения.

Различают *полное горение* (реакция полного окисления горючих компонентов топлива) и *неполное горение* (эти реакции не завершены).

Для обеспечения полного горения этот процесс ведется с некоторым **избытком воздуха** сверх теоретического (стехиометрического) из-за несовершенства процесса смесеобразования топлива с окислителем.

По характеру протекающих при горении топлива физико-химических явлений различают *гомогенное* и *гетерогенное горение*.

Гомогенное – когда топливо и окислитель находятся в одинаковом фазном состоянии (газообразном). **Гетерогенное** – между веществами с разным агрегатным состоянием (горение твердых и жидких топлив).

Гомогенное горение

Скорость гомогенного горения (частота столкновения молекул) зависит от концентрации реагирующих веществ, температуры и давления.

Молекулы должны обладать **энергией активации**, достаточной для разрушения внутримолекулярных связей, которая должна быть не ниже некоторого предела E (кДж/моль). Для каждой химической реакции существует своя энергия активации. Чем она меньше, тем легче начинается процесс горения.

Большинство горючих газов окисляется по схеме **разветвленной цепной реакции**. Их отличительной особенностью является то, что они происходят взрывоподобно со скоростями, значительно превосходящими скорости обычной химической реакции.

Схема разветвленной цепной реакции окисления (горения) водорода:

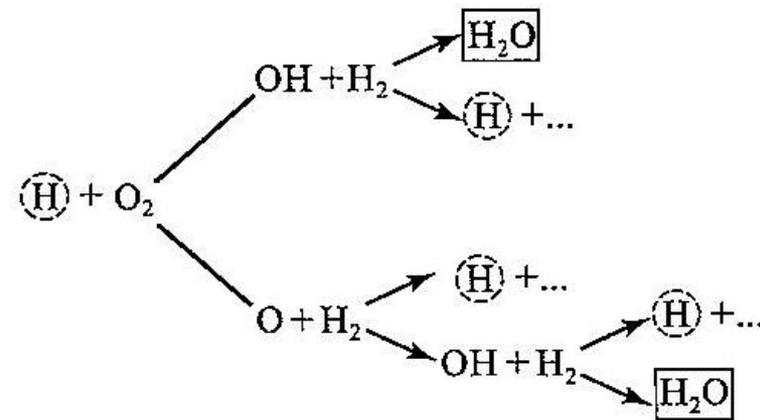
Условные обозначения:

○ — возбудитель цепи;

□ — конечный продукт

Активными центрами горения обычно являются свободные атомы (H, O и др.) и радикалы (OH), которые легко вступают в реакции. От их образования зависит скорость горения.

Окисление углеводородов $C + O_2 = CO_2$ протекает сложнее из-за их склонности к термическому разложению и идет с образованием промежуточных соединений.

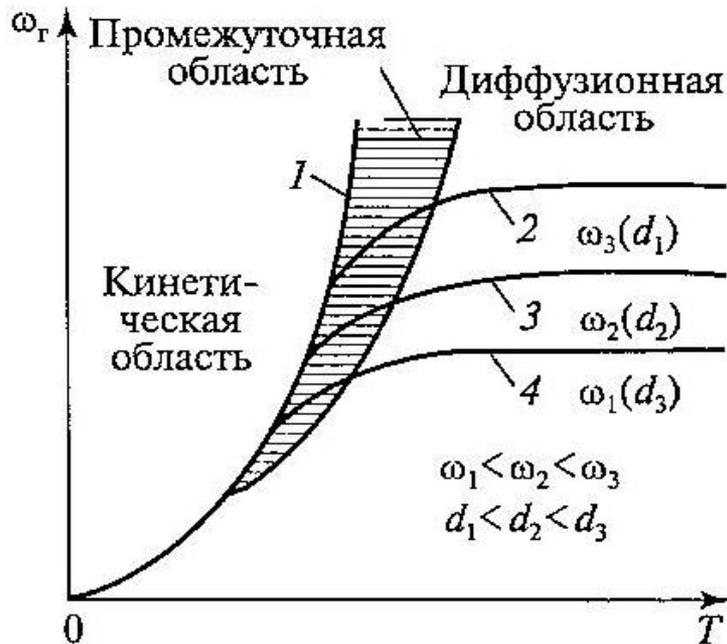


Гетерогенное горение

Скорость гетерогенного горения определяется полным временем сгорания топлива, состоящего из двух частей: $\tau_{\Pi} = \tau_{\phi} + \tau_{\chi}$

τ_{ϕ} – физическая стадия достижения контакта топлива с окислителем (смесеобразования); τ_{χ} – химическая стадия процесса горения.

Различают две области процесса горения – *диффузионную* и *кинетическую*.



Изменение скорости горения твердого топлива в зависимости от температуры

Кинетическое горение – при $\tau_{\phi} \ll \tau_{\chi}$. Оно возникает при предварительном смешении топлива с воздухом до подачи смеси в камеру сгорания.

Диффузионное горение – при $\tau_{\phi} \gg \tau_{\chi}$. Оно наступает, когда топливо и окислитель поступают в камеру сгорания отдельно.

1 – кривая, ограничивающая кинетическую область; 2 ... 4 – кривые, ограничивающие диффузионную область при различных скоростях потока и размерах частиц

Горение твердого топлива

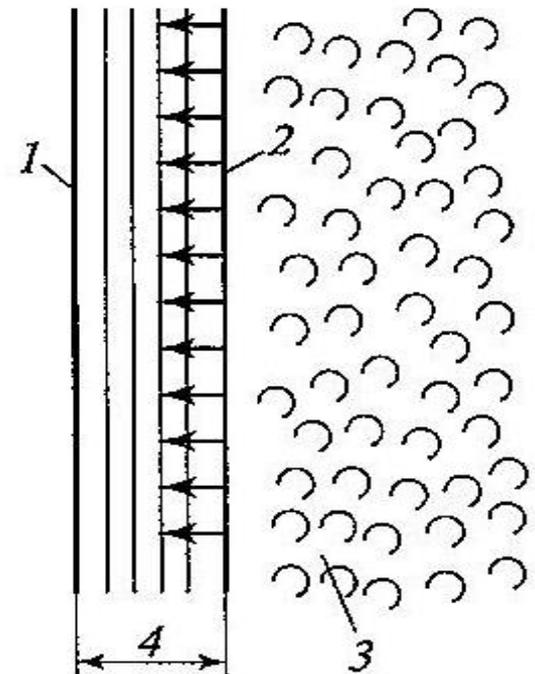
Процесс *горения твердого топлива* относится к *гетерогенному* и состоит из ряда последовательных этапов:

- тепловая подготовка топлива (прогрев частиц топлива, испарение влаги и выделение летучих веществ);
- горение твердого углерода (кокса) – происходит с образованием на его поверхности двух газов: CO и CO₂.

Скорость реакции зависит не только от температуры, давления, концентрации реагирующих веществ, но и от размера площади поверхности топлива и скорости диффузии окислителя через пограничный слой.

Эта скорость определяется коэффициентом газообмена β . Ее увеличение приводит к уменьшению пограничного слоя. Скорость диффузионного горения растет с увеличением скорости газового потока и уменьшением размеров частиц топлива.

Схема взаимодействия твердого топлива с окислителем при горении:
1 – поверхность твердого топлива;
2 – диффузия молекул окислителя;
3 – окислитель (воздух);
4 – пограничный слой



Горение жидкого топлива

При *горении жидкого топлива* существенное значение имеет процесс его предварительного испарения. Горение происходит *в парогазовой фазе*.

Распыливание (пультверизация) жидкого топлива улучшает его нагрев за счет многократного увеличения площади его поверхности.

Жидкое топливо состоит из углеводородов, горение которых идет с образованием промежуточных соединений и зависит от содержания окислителя в горючей смеси и температуры:

- простейших углеводородов, легко окисляющихся в CO_2 и H_2O – при температурах до $500\dots600\text{ }^\circ\text{C}$;
- трудносжигаемого сажистого углерода и тяжелых высокомолекулярных углеводородов.

Сжигание твердых и жидких топлив **сопряжено с вредными выбросами** продуктов сгорания: твердых остатков в виде мелкодисперсной золы (в котлоагрегатах и промышленных печах) и окислов серы (SO_2) и азота (NO_x) – во всех случаях.

Расчеты горения топлива

При проведении расчетов горения топлив и теплового расчета топливосжигающих установок на основании элементарного состава исходного (сжигаемого) топлива определяют *характеристики и величины*:

- *теоретический* V_0 и *действительный* $V_{\text{д}}$ расходы воздуха, необходимые для сгорания 1 кг твердого и жидкого или 1 м³ газообразного топлива;
- состав и объем продуктов сгорания $V_{\text{Г}}$ (дымовых газов);
- *калориметрическую* $t_{\text{к}}$, *теоретическую* $t_{\text{Т}}$ и *действительную* $t_{\text{д}}$ температуры сгорания топлива;
- коэффициент избытка воздуха $\alpha_{\text{Т}}$;
- энтальпию (теплосодержание) дымовых газов $i_{\text{Г}}$ при требующихся температурах и коэффициентах избытка воздуха – для определения тепловых потерь с уходящими газами.

Для полного сгорания топлива требуется некоторый избыток воздуха против теоретического расхода. Он характеризуется **коэффициентом избытка воздуха $\alpha_{\text{Т}}$** , который зависит от вида и способа сжигания топлива, качества смесеобразования топливо/воздух и др.

$$\alpha_{\text{Т}} = V_{\text{д}} / V_0 = 1,05 \dots 1,5$$

Продукты горения топлива

При горении топлива выделяются **продукты горения**:



При этом: $O_2 = 0$ – если нет избытка воздуха; $CO = 0$ – при хорошем перемешивании; при высоких температурах образуются NO , NO_2 , NO_x .

Объем продуктов сгорания определяется:

$$V_{\Gamma} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2}$$

Для целей химического анализа содержание $CO_2 + SO_2 = RO_2$.

Тогда:
$$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O} = V_{c.\Gamma} + V_{H_2O}$$

где $V_{c.\Gamma}$ – объем сухих дымовых газов ($V_{c.\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}$).

При $\alpha_T > 1$
$$V_{c.\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha_T - 1) V_0$$

$V_{N_2}^0$ – теоретический объем азота (при $\alpha_T = 1$); V_0 – объем избыточного воздуха

Удельная энтальпия продуктов сгорания: $i = i_{\Gamma}^0 + (\alpha_T - 1) i_{\text{возд}}^0$

Сумма энтальпий продуктов сгорания: $i_{\Gamma}^0 = c_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma} \cdot V_{c.\Gamma}$ [кДж/м³]

Температура сгорания

При расчетах различают *калориметрическую* t_k и *теоретическую* t_T температуры сгорания топлива.

Калориметрическая – это температура, до которой нагрелись бы газы при полном сгорании топлива, если бы вся теплота, выделенная в топке, пошла на нагрев газов:

$$t_k = \frac{Q_H^p + i_{\text{возд}} + i_T}{V_T c_T}$$

где: $i_{\text{возд}} = \alpha_T V^0 c_{\text{вл}}^{\text{возд}} t_{\text{возд}}$ – энтальпия воздуха, кДж/(м³); $i_T = c_T t_T$ – энтальпия топлива, кДж/(ед.топл.); $t_{\text{возд}}$, t_T – температуры воздуха и топлива, °С.

Теоретическая – это температура, рассчитанная с учетом эндотермических реакций диссоциации углекислого газа и воды:

$$t_T = \frac{Q_H^p + i_{\text{возд}} + i_T - Q_{\text{дис}}}{V_T c_T}$$

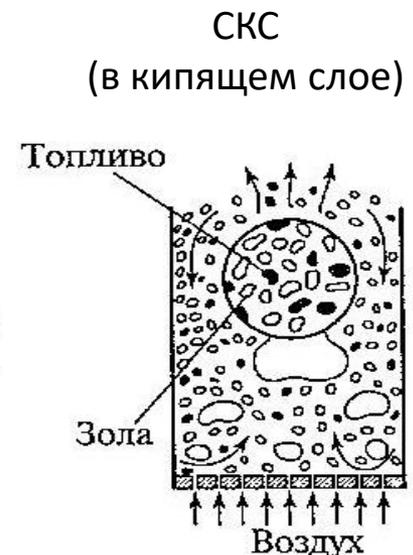
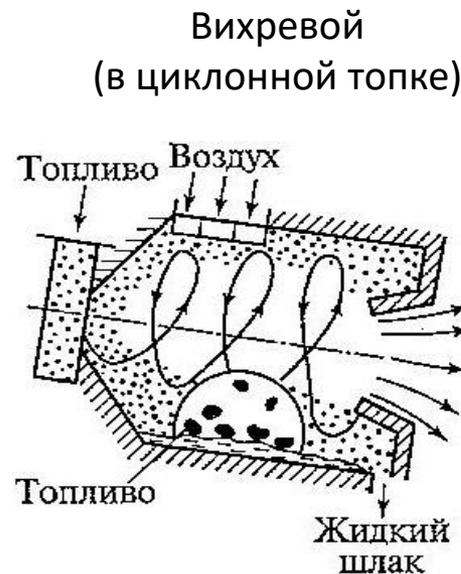
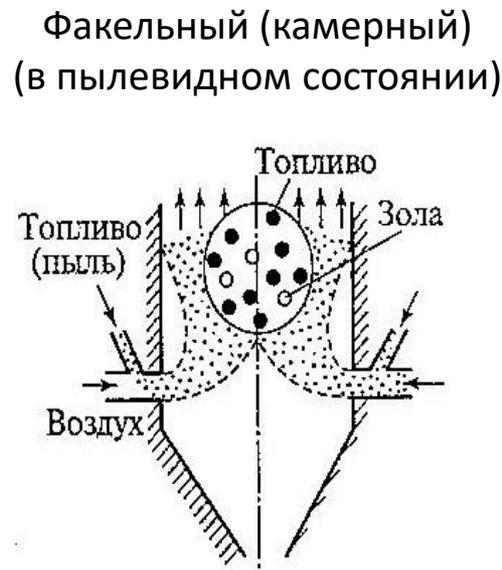
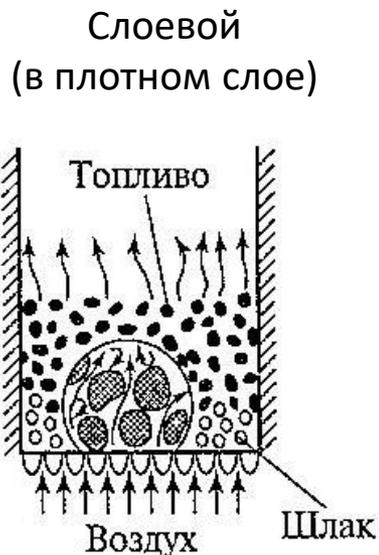
На практике **действительная** температура горения топлива всегда ниже калориметрической и теоретической и определяется *пирометрическим коэффициентом*:

$$\eta_{\text{пир}} = t_d / t_k = 0,6 \dots 0,8$$

Способы сжигания топлив

Топочное устройство (топка) является основным элементом котельного агрегата и служит для сжигания топлива наиболее экономичным способом и превращения его химической энергии в тепло.

В топочной технике – основные **способы сжигания твердого** топлива:



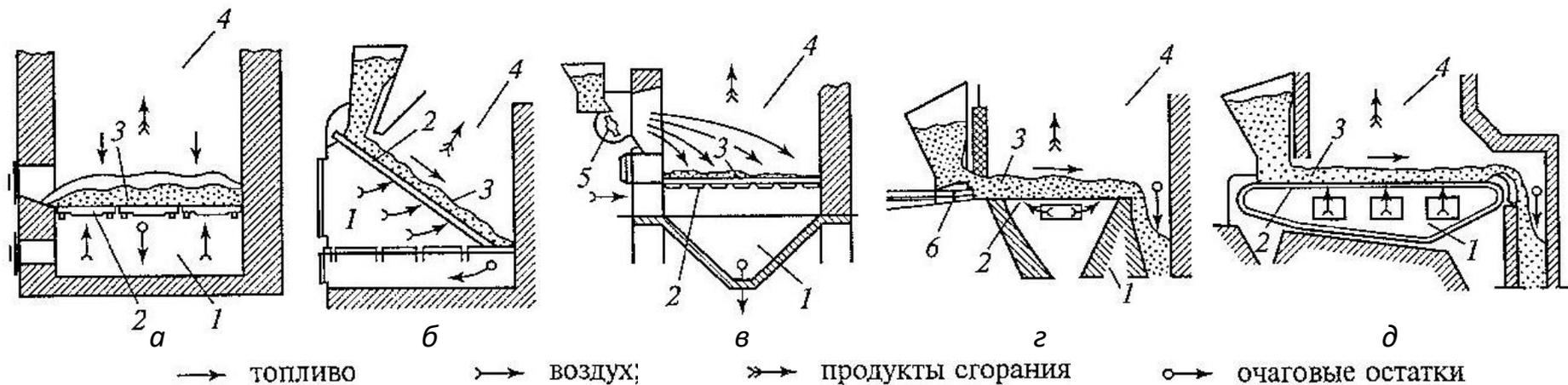
Каждый из этих способов имеет свои особенности, касающиеся основных принципов организации *аэродинамических процессов*, протекающих в топочной камере.

Для сжигания *жидких и газообразных* топлив применяется только *факельный* способ.

Слоевой способ

Процесс сжигания **слоевым способом** осуществляют в слоевых топках разнообразных конструкций. Этот способ сжигания является *устаревшим*.

Слоевые топki получили широкое применение в котлах малой и средней мощности.



Топки для сжигания твердого топлива в плотном слое:

а – с ручной горизонтальной колосниковой решеткой; *б* – с наклонной решеткой; *в* – с забрасывателем топлива на решетку; *г* – с шурующей планкой; *д* – с цепной механической решеткой; 1 – зольник; 2 – колосниковая решетка; 3 – слой топлива; 4 – топочная камера; 5 – забрасыватель топлива; 6 – планка

В зависимости от способа обслуживания бывают топki с ручным обслуживанием, немеханизированные, полумеханизированные и механизированные.

Топки можно разделить на 3 группы: 1. с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижно лежащим на ней плотным, фильтрующимся воздухом, слоем топлива (*а*, *в*); 2. с неподвижной колосниковой решеткой и перемещающимся по ней слоем топлива (*б*, *г*); 3. с движущимся вместе с цепной колосниковой решеткой слоем топлива (*д*).

Факельный способ

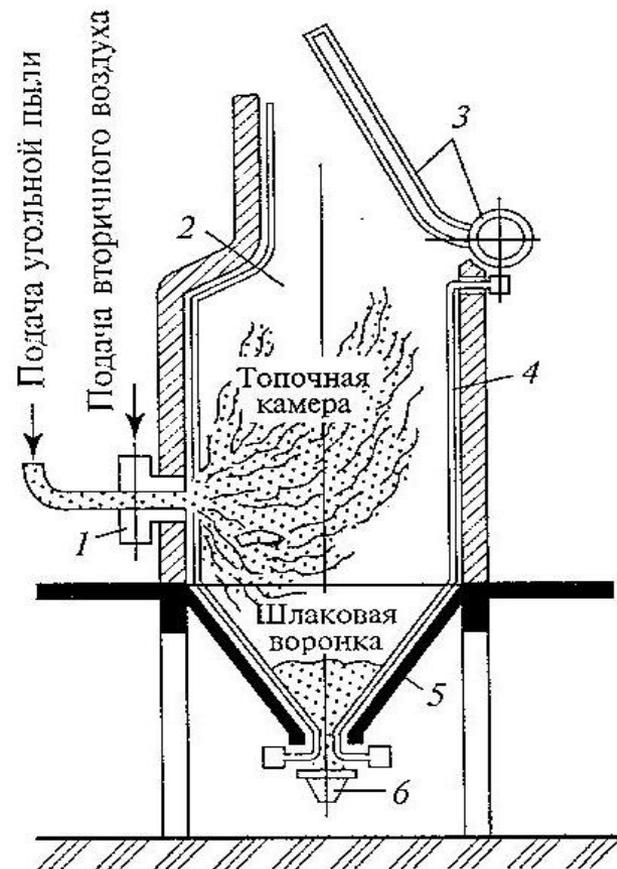
Процесс сжигания **факельным способом** характеризуется непрерывностью движения в топочном пространстве частичек топлива вместе с потоком воздуха и продуктов сгорания, в котором они находятся во взвешенном состоянии.

Твердое топливо размалывается до пылевидного состояния до **размеров менее 90 мкм**. *Жидкое* топливо предварительно распыливается в форсунках в очень мелкие капли. *Газообразное* подается в топку через горелки и не требует особой подготовки.

Достоинства: возможность создания мощных топок; возможность экономичного сжигания зольных, влажных и отбросных топлив.

Недостатки: высокая стоимость оборудования системы пылеприготовления; расход э/э на размол; низкие удельные тепловые нагрузки и большой объем топочных пространств.

Камерная топка с факельным сжиганием пылевидного топлива:
1 – горелка; 2 – топочная камера; 3 – кипяtilьные трубы и нижний барабан; 4 – трубы заднего экрана; 5 – шлаковая воронка; 6 – устройство для удаления шлака и золы



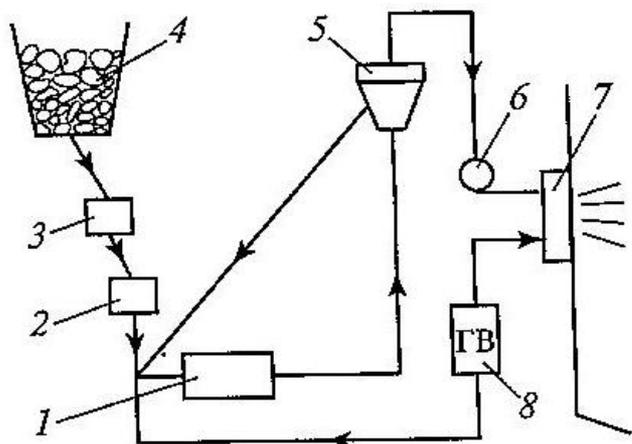
Схемы пылеприготовления

Твердые топлива перед сжиганием предварительно размельчается в **системе пылеприготовления** и в виде пыли вдувается в топку.

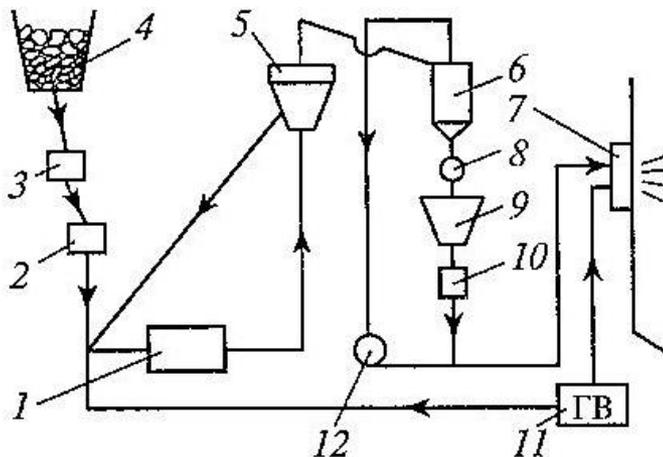
Пылеприготовление из кускового топлива состоит из следующих операций:

- удаление из топлива металлических предметов магнитными сепараторами;
- дробление крупных кусков топлива в дробилках;
- сушка и размол топлива в специальных мельницах.

Размол топлива – до пылинок размером 0 ... 500 мк. Основная характеристика пыли – тонкость помола (по ГОСТ 3584 – 53): остаток на ситах с ячейками R90 и R200 (в %).



а – индивидуальная;

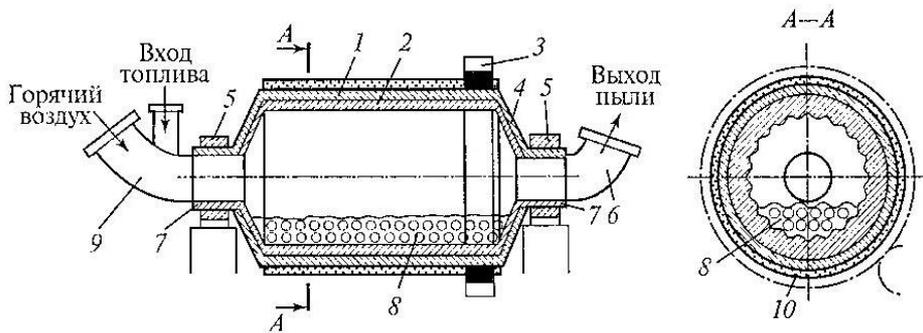


б – с промежуточным бункером

1 – мельница; 2 – питатель сырого угля; 3 – весы; 4 – бункер сырого угля; 5 – сепаратор пыли; 6(а) – мельничный вентилятор; 7(а) – горелка; 8(а) – короб горячего воздуха; 6(б) – пылевой циклон; 7(б) – горелка; 8(б) – мигалка; 9 – промежуточный бункер пыли; 10 – пылепитатель; 11 – короб горячего воздуха; 12 – мельничный вентилятор

Размол топлива

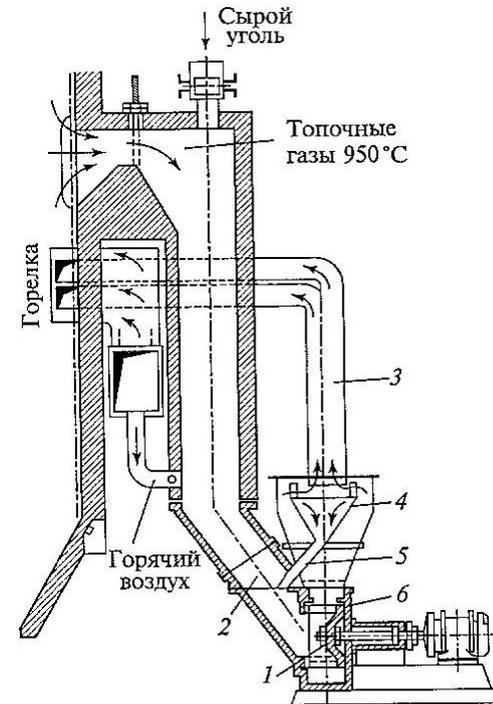
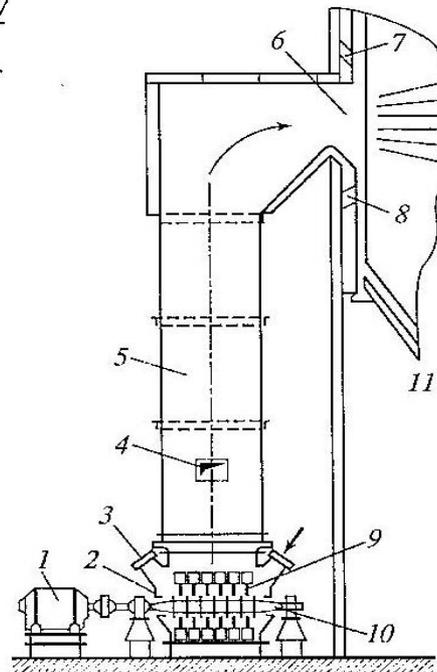
Для размола топлива применяют **мельницы** различных типов (*тихоходные* или *быстроходные*) в зависимости от размольных характеристик топлива, выхода летучих веществ и влажности топлива.



- молотковые мельницы с аксиальным (ММА) или тангенциальным (ММТ) подводом сушильного агента – быстроходные, для бурых углей, сланцев, фрезерного торфа и каменных углей с выходом летучих более 30%;
- мельница-вентилятор (МВ) - быстроходные, для высоковлажных бурых углей и фрезерного торфа, для котлов средней паропроизводительности с мелющим органом – массивной крыльчаткой (частота вращения 380...1470 об/мин)

Типы мельниц:

- шаровые барабанные (ШБМ) – тихоходные, для антрацитов и каменных углей, для котлов средней и большой паропроизводительности;



Вихревой способ и СКС

Процесс сжигания **вихревым способом** (в циклонных топках) предназначен для сжигания мелкодробленого топлива и грубой пыли (частицы до 5 мм). Воздух подают с огромной скоростью (до 100 м/с) по касательной к образующей циклона.

Вихревой способ характеризуется большими значениями коэффициентов массоотдачи между потоком и частицами, развитием температур, близких к адиабатным (до 2000 °С), расплавлением золы в жидкий шлак, получением тепловой мощности 40...60 МВт.

Используется в основном в технологических топочных камерах (для сжигания серы и получения SO₂ и далее H₂SO₄; для плавления и обжига руд и нерудных материалов).

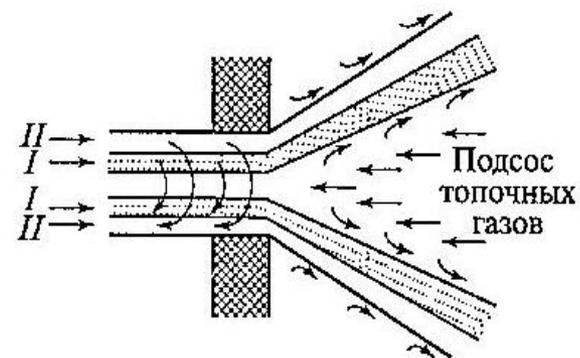
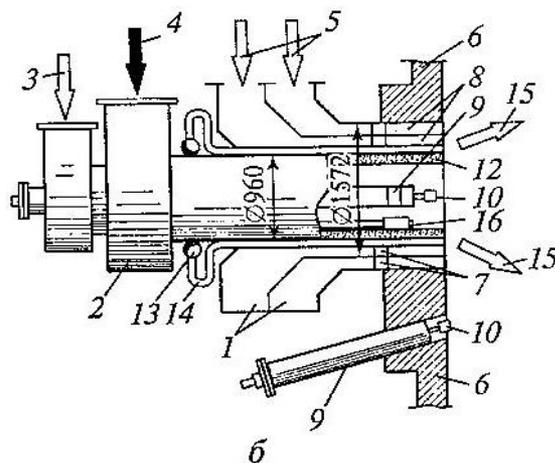
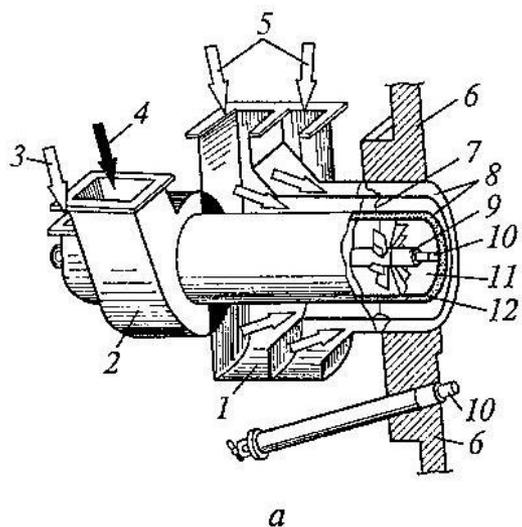
Способ сжигания **в псевдоожиганном (кипящем)** слое предназначен для сжигания мелкозернистого материала, продуваемый снизу вверх воздухом со скоростью не выше предела устойчивости плотного слоя, но недостаточной для выноса частиц из слоя.

СКС характеризуется интенсивностью циркуляции частиц и проходом воздуха в виде пузырей, что дает сходство с кипящей жидкостью. Его преимущество – сжигание довольно мелких кусочков пыли (5...10 мм) при скорости воздуха 0,1...0,5 м/с и при более низких температурах (750...950 °С), что уменьшает образование токсичного NO.

Используется в промышленности (для сжигания колчеданов и получения SO₂; обжига различных руд и их концентратов (цинковых, медных, никелевых, золотосодержащих).

Горелочные устройства

Для сжигания пылевидного топлива применяют круглые и щелевые горелки.



Турбулентные пылевые горелки ЦКТИ-ТКЗ:
а – пылеугольная; *б* – пылегазовая

Схема смесеобразования на выходе из круглой горелки:
I – пылевоздушная смесь;
II – вторичный воздух

Благодарю за внимание!