

СЖИГАНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ПЫЛЕВИДНОМ СОСТОЯНИИ

Лекция № 9

Особенности сжигания твердого топлива в пылевидном состоянии

На современных тепловых электрических станциях твердое топливо при сжигании в камерных топках предварительно измельчают и в виде пыли в смеси с воздухом вдувают в топочную камеру, где оно сгорает, находясь в потоке газов во взвешенном состоянии. Для превращения крупных кусков влажного топлива в пригодную для сжигания сухую угольную пыль твердое топливо подвергают процессу подготовки в системе пылеприготовления, заключающемуся в предварительном грубом дроблении на куски в несколько десятков миллиметров, подсушке и дальнейшем размоле до пылевидного состояния с размером частиц в несколько десятков или сотен микрометров.

Превращением кускового топлива в угольную пыль достигается многократное увеличение поверхности реагирования. Так, если кусочек угля диаметром 15 мм раздробить на частицы размером 50 мкм, то суммарная площадь поверхности полученных частиц в 300 раз будет больше поверхности исходной частицы. При увеличении поверхности реагирования существенно улучшаются условия сжигания, так как горение топлива является гетерогенным процессом (топливо и окислитель находятся в разных агрегатных состояниях – соответственно в твердом и газообразном), происходящим на поверхности частиц топлива.

Основными преимуществами сжигания твердого топлива в пылевидном состоянии являются следующие:

- возможность сжигания с достаточно высоким КПД любого топлива, включая малореакционные антрациты, а также высоковлажные и высокозольные угли и отходы углеобогащения;
- практически неограниченная по условиям сжигания топлива единичная мощность котла;
- полная механизация топочного процесса, легкость регулирования, возможность полной автоматизации топочного процесса;
- отсутствие подвижных деталей в топке, что повышает эксплуатационную надежность агрегата.

Недостатками сжигания топлива в пылевидном состоянии являются:

- сложность, громоздкость и в большинстве случаев высокая стоимость оборудования пылеприготовления;
- значительный расход электроэнергии на приготовление пыли, например, для антрацита составляющий 25...30 кВт·ч/т;

- низкие ($0,1...0,3 \text{ МВт/м}^3$) объемные плотности тепловыделения в топке при факельном сжигании твердого топлива, что объясняется малой массовой концентрацией топлива в единице объема топки ($20...30 \text{ г/м}^3$), а также неблагоприятными условиями подвода окислителя к поверхности реагирования и отвода продуктов сгорания вследствие низкой относительной скорости горящих частиц в газоздушном потоке.

Технологическая схема пылеприготовления

Поступающее на электростанцию твердое топливо имеет обычно куски размером до 200 мм и более и до подачи его в углеразмольные мельницы претерпевает ряд подготовительных операций собственно перед процессом размола.

Первичная обработка топлива заключается в удалении из него металлических предметов и щепы, далее следуют грохочение и дробление. Удаление металлических предметов (болтов, гаек, железнодорожных костылей и т.д.) необходимо для предотвращения поломки механизмов системы пылеприготовления с помощью магнитных сепараторов. С помощью щепоуловителей удаляют из топлива древесную щепу, попадающую в уголь в процессе его добычи, что предотвращает забивание элементов системы пылеприготовления получающейся из щепы «древесной ватой».

При поступлении высоковлажных топлив наблюдается потеря его сыпучести, что приводит к «замазыванию» пылеприготовительных механизмов, заключающемуся в налипании сырого топлива на их стенки. Для предупреждения этого явления производят частичную подсушку топлива, снижая содержание его внешней влаги на 4...6 %. В зимних условиях наблюдается смерзание влажного топлива и примерзание его к стенкам топливоподающих устройств. Для борьбы со смерзанием применяют отопление помещений всего тракта топливоподачи от разгрузочного сарая, куда поступает топливо при разгрузке железнодорожных вагонов, до бункеров сырого угля у мельниц.

Освобожденный от металлических предметов уголь подвергается грохочению для отделения крупных кусков топлива от мелких. Для этого топливо пропускают сквозь качающиеся сита-решетки с размером отверстий 10...15 мм. Куски более 10...15 мм направляются в дробилки, а куски меньшего размера – мимо дробилок. Качество дробления определяют путем отсева дробленого топлива на сите с размером ячеек 5x5 мм по величине остатка на сите в процентах от начальной массы пробы, обозначаемого R_5 (здесь индекс «5» указывает на размер отверстия в сите в миллиметрах).

Обычно дробление проводят так, чтобы остаток на сите с указанными ячейками составлял не более 20 %.

Для дробления топлива используют молотковые или валковые дробилки. В первом случае дробление топлива происходит за счет удара вращающихся молотков, шарнирно укрепленных на валу ротора. Валковые дробилки выполняют в виде вращающихся навстречу один другому валков с насаженными на них шипами – зубьями.

Из дробилки топливо поступает в систему пылеприготовления, где подвергается интенсивной подсушке и размолу, в результате чего получается угольная пыль, которая пневмотранспортом подается к горелкам котельного агрегата.

Физические свойства угольной пыли

Тонкость помола и зерновая характеристика угольной пыли

Угольная пыль представляет собой сухой тонкий порошок с размерами частиц от самых мелких пылинок крупностью 0,1 мкм до более крупных (300...500 мкм). Тонкость помола характеризуется остатками на стандартных ситах с ячейками размером 50; 90; 200; 500 и 1000 мкм. Остаток на сите обозначается обычно буквой R. Так, запись $R_{90} = 10\%$ означает, что остаток на сите с размером ячеек 90 мкм составляет 10 % исследуемой порции пыли, а вся остальная пыль проходит через ячейки этого сита.

Представление о фракционном составе пыли дает зерновая характеристика (рис. 7.1), для построения которой выполняют определение остатков на ситах с разным размером ячеек.



Рис.7.1. Зерновая характеристика пыли

Целесообразная тонкость помола топлива зависит от вида топлива, его стоимости, реакционной способности, конструкции топки и горелочных устройств и т.д., и определяется на основе технико-экономических расчетов. Уменьшение частиц пыли приводит к росту общей реакционной

ее поверхности, что благоприятствует сжиганию топлива, однако связано с увеличением расхода энергии на пылеприготовление. С огрублением помола расход электроэнергии на пылеприготовление уменьшается, однако увеличиваются потери теплоты от механической неполноты сгорания. При выборе наиболее целесообразной тонкости помола в каждом конкретном случае сравнивают затраты на пылеприготовление $Z_{\text{пыл}}$, руб., с дополнительными затратами, связанными с потерей топлива от механической неполноты сгорания $Z_{\text{т}}$, руб. По суммарной кривой этих затрат (рис. 7.2) определяют оптимальную тонкость помола, соответствующую минимальным затратам.

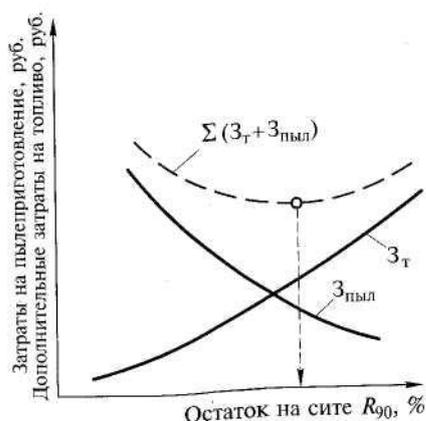


Рис. 7.2. Графики, используемые для определения оптимальной тонкости помола топлива

$Z_{\text{пыл}}$ – затраты на пылеприготовление; $Z_{\text{т}}$ – дополнительные затраты, связанные с потерей топлива от механической неполноты сгорания

Оптимальные числовые значения R_{90} , полученные по данным испытаний, зависят от вида мельниц. При размоле топлив в шаровых барабанных мельницах для угля марки АШ $R_{90} = 6... 7 \%$, для угля марки Т $R_{90} = 8... 10 \%$ и для каменных углей $R_{90} = 20... 25 \%$. При размоле топлив в молотковых мельницах для бурых углей $R_{90} = 55...60 \%$, для каменных углей $R_{90} = 25...30\%$, для сланцев $R_{90} = 35...40 \%$.

Плотность пыли

Различают виды плотности пыли, $\text{кг}/\text{м}^3$: насыпную $p_{\text{нас}}$, кажущуюся (объемную) $p_{\text{каж}}$ и истинную $p_{\text{ист}}$, которые определяются из следующих соотношений:

$$p_{\text{нас}} = G/V_{\text{общ}}; p_{\text{каж}} = G/V_{\text{каж}}; p_{\text{ист}} = G/V_{\text{ТВ}}, \quad (7.1)$$

где G – масса пыли, кг; $V_{\text{общ}}$ – общий объём пробы пыли, м^3 :

$V_{\text{общ}} = V_{\text{ТВ}} + V_{\text{пор}} + V_{\text{возд.пром}}$; $V_{\text{ТВ}}$ – объём твёрдой фазы угольных частиц, м^3 ; $V_{\text{пор}}$ – суммарный объём пор внутри частиц, м^3 ; $V_{\text{возд.пром}}$ – объём воздушных промежутков между частицами, м^3 ; $V_{\text{каж}} = V_{\text{ТВ}} + V_{\text{пор}}$

Величина насыпной плотности используется при расчете емкости пылевых бункеров, производительности пылепитателей, забирающих угольную пыль из пылевого бункера и подающих ее в пылепроводы к горелкам.

Величина кажущейся плотности применяется при расчете пылевых циклонов, пылеугольных сепараторов, пневмотранспортных устройств подачи пыли.

Угольная пыль энергично адсорбирует воздух, вследствие чего насыпная плотность всегда меньше единицы. Пыль не выдерживает сосредоточенной нагрузки, поэтому в пылевом бункере можно утонуть. При проведении работ в бункере (ремонт уровнемера и др.) должны соблюдаться меры предосторожности.

Насыпная плотность свеженасыпной пыли находится в пределах $500 \dots 700 \text{ кг/м}^3$, а уплотнённой $800 \dots 900 \text{ кг/м}^3$.

Поверхность угольной пыли

Характеристикой дисперсности (тонины помола) является удельная поверхность пыли, т.е. суммарная поверхность частиц 1 кг пыли $F_{\text{пл}}$, $\text{м}^2/\text{кг}$. Поверхность $F_{\text{пл}}$ колеблется для пыли разных марок в значительных пределах, от $2000 \text{ м}^2/\text{кг}$ для пыли АШ при нормативной тонкости помола $R_{90} = 7 \%$ до $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ для пыли бурого угля при нормативной тонкости помола $R_{90} = 60 \%$.

Влажность пыли

Важной характеристикой угольной пыли является ее влажность $W_{\text{пл}}$, %. Чем больше подсушена пыль, т.е. чем меньше $W_{\text{пл}}$, тем легче воспламеняется и лучше протекает процесс горения.

В процессе размола уголь подсушивается за счет теплоты горячего воздуха или топочных газов до величины, близкой к аналитической (гигроскопической) влажности топлива, т.е. влажности топлива, получаемой при подсушке до равновесного состояния в воздушной среде при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности $65 \pm 5 \%$.

Более глубокая подсушка не допускается из условий взрывобезопасности и самовозгорания пыли. В то же время недостаточная подсушка угля затрудняет транспортирование пыли по трубам системы пылеприготовления и подачу ее к горелкам и резко ухудшает процесс размола, ведет к снижению производительности мельниц и увеличению расхода энергии на размол.

Взрываемость пыли

Угольная пыль почти всех топлив, за исключением АШ, обладает склонностью к образованию вместе с воздухом взрывоопасной смеси. Наиболее взрывоопасными являются пылевидные частицы размером менее 0,2 мм торфа и сланца, менее 0,15 мм бурых углей и менее 0,12 мм каменных углей.

Взрыв угольной пыли может быть следствием воспламенения выделяющихся при нагревании пыли летучих горючих газов, вступающих в реакцию с кислородом газовой среды, в которой пыль находится.

На взрывоопасность угольной пыли влияет процентное содержание кислорода в пылевоздушной среде, величина выхода летучих V^e , температура сушильного агента за мельницей t_m'' , влажность W^p и зольность A^p рабочей массы топлива, влажность пыли, тонкость помола, концентрация пыли в пылевоздушной смеси.

Чем больше выход летучих, тем больше опасность взрыва. Лишь при выходе летучих менее 8 % топливо является взрывобезопасным. Такими топливами, например, являются донецкий антрацит АШ ($V^e = 3,5 \%$), полуантрацит ПА ($V^e = 7,5 \%$). Чем выше температура сушильного агента за мельницей, тем больше опасность взрыва, поэтому температура t_m'' для большинства топлив не должна превышать 70...80 °С, а для тощих углей – $t_m'' \leq 130 \text{ °С}$.

Чем больше влажность и зольность рабочего топлива, тем меньше опасность взрыва.

Чем пыль тоньше, тем больше ее поверхность и тем быстрее она прогревается, и опасность взрыва возрастает.

Транспортные свойства угольной пыли

Угольная пыль хорошо транспортируется потоком воздуха или продуктами сгорания. Пылевоздушная смесь образует весьма подвижную эмульсию, обладающую свойствами жидкости, и легко перекачивается по трубам. В индивидуальных системах пылеприготовления, располагаемых

непосредственно у котельных агрегатов, концентрация пыли в воздушной смеси сравнительно невелика и составляет обычно 0,5-1 кг пыли на 1 кг воздуха.

При наличии центрального пылезавода транспортировка пыли из бункеров пылезавода к бункерам котлов осуществляется при высоких ее концентрациях (порядка 30...35 кг пыли/кг воздуха) по трубопроводам малого сечения перекачиваемыми насосами, в которых пыль смешивается со сжатым воздухом, имеющим давление 0,5...1 МПа. Перекачка высококонцентрированной пылевоздушной смеси может проводиться на большие расстояния, порядка нескольких сотен метров.

Коэффициент размолоспособности топлива

Процесс размола топлива как хрупкого материала подчиняется закону Риттингера: затраты энергии на измельчение материала пропорциональны величине образующейся поверхности пыли.

В связи с трудностями определения расхода энергии на размол на практике пользуются так называемым лабораторным относительным коэффициентом размолоспособности топлива $K_{л.о}$. Последний может быть определен как отношение удельных расходов электроэнергии при размоле в стандартной лабораторной мельнице эталонного наиболее твердого топлива (например, донецкого антрацитового штыба марки АШ) и исследуемого i -го топлива при условии, что оба топлива размалывают при влажности воздушно-сухого состояния от одинакового начального размера частиц до одинаковой тонкости помола.

По методу ВТИ коэффициент размолоспособности $K_{л.о}$ определяется с помощью стандартной шаровой барабанной мельницы, в которую загружается проба воздушно-сухого топлива в количестве 500 г и ведется размол в течение 15 мин. Продукт размола рассеивают на сите 90 мкм, определяя величину остатка R_{90} . По отношению величин R_{90} для исследуемого i -го топлива и эталонного определяется $K_{л.о}$.

В качестве примера приведены числовые значения $K_{л.о}$ для углей некоторых марок ряда месторождений: Липовецкий Д – 0,7; Анадырский Д – 0,9; Назаровский Б – 1,1; Ирша-Бородинский Б – 1,2; Челябинский Б – 1,3; Воркутинский Ж – 1,5; Подмосковный Б – 1,7; Донецкий Т – 1,8; Ленинградский сланец – 2,5.

Абразивность топлива

Процесс размола топлив сопровождается износом поверхности мелющих органов. Степень износа последних и длительность кампании мельниц зависят в основном от абразивности топлива и износостойкости материала мелющих органов.

Абразивные свойства угля характеризуются коэффициентом абразивности, под которым понимают удельную величину износа мелющих органов, выполненных из стали марки Ст 3.

Отношение коэффициента абразивности данного топлива к соответствующему значению для взятого за эталон условного топлива называется относительным коэффициентом абразивности. Далее приводятся числовые значения относительного коэффициента абразивности для некоторых углей: антрацитовый штыб АШ – 1; Черемховский Д – 2,2; Воркутинский ПЖ – 1,43; Ангренский Б – 1,1; Подмосковский Б – 0,9...1,0; Кемеровский Т – 0,8; Канский Б – 0,57.

Схемы пылеприготовления

Для размола топлива применяют центральные и индивидуальные системы пылеприготовления.

Принципиальная схема центральной системы пылеприготовления приведена на рис. 7.3, а. Предварительно подготовленное топливо из бункера 1 сырого дробленого угля поступает в сушилку 2, далее в мельницу 3, а затем в центральный бункер 4 готовой пыли. Насосом 5 пыль подается в расходные пылевые бункера 6 котлов. Из бункеров пыль подают в топочную камеру 8. Одновременно в камеру подается воздух вентилятором 7.

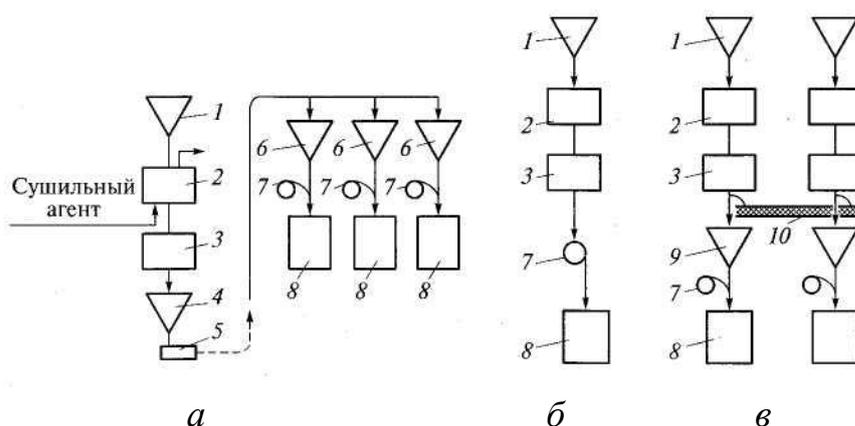


Рис. 7.3. Принципиальные схемы систем пылеприготовления:
 а – центральная; б – индивидуальная с прямым вдуванием; в – индивидуальная с промежуточным пылевым бункером; 1 – бункер сырого дробленого угля; 2 – сушилка; 3 – мельница; 4 – центральный бункер готовой

пыли; 5 – насос для пыли; 6 – расходные бункера; 7 – вентиляторы; 8 – топочные камеры котлов; 9 – промежуточный бункер; 10 – шнек для пыли

Положительной особенностью центральной схемы пылеприготовления является независимость работы размольных установок от работы котла. Мельница может работать периодически, но с полной нагрузкой, когда расход электроэнергии на пылеприготовление получается наименьшим. В топку котла пыль подается подсушенной до заданной влажности.

Центральные схемы пылеприготовления всегда разомкнуты по сушке, т.е. отработанный сушильный агент вместе с некоторым количеством неуправляемого топлива сбрасывается в атмосферу. Центральная система пылеприготовления, представляющая собой фактически пылезавод, применяется в настоящее время для блоков мощностью более 500...800 МВт.

В индивидуальной системе пылеприготовления предусмотрено приготовление пыли непосредственно у котельной установки с использованием для сушки топлива и его пневмотранспортировки горячего воздуха или продуктов сгорания, образующихся в котле. Различают индивидуальные системы пылеприготовления с прямым вдуванием и с промежуточным пылевым бункером.

Индивидуальная система пылеприготовления с прямым вдуванием (рис. 7.3, б) отличается жесткой связью мельничного оборудования с котлом. Изменение нагрузки котла требует изменения и режима работы мельничного оборудования. При работе котла со сниженной нагрузкой мельница оказывается недогруженной. В то же время при уменьшении производительности мельничного оборудования снижается и нагрузка котла.

В индивидуальной системе пылеприготовления с промежуточным пылевым бункером (рис. 7.3, в) работа пылеприготовительного оборудования не зависит от работы котла, что является основным достоинством этой системы. Наличие промежуточного пылевого бункера 9 повышает надежность установки. Этому способствует связь мельничных устройств отдельных котлов, обеспечивающая возможность с помощью пылевого шнека 10 передавать пыль в случае необходимости от одного котла другому. В индивидуальной схеме пылеприготовления с промежуточным бункером также имеется возможность наиболее полно загружать мельничное оборудование.

Индивидуальная система пылеприготовления с прямым вдуванием находит применение при сжигании высокорекреационных бурых и каменных углей, допускающих наиболее грубый помол. Индивидуальная система пылеприготовления с промежуточным бункером применяется для мощных

котлов при работе на тощих и малореакционных топливах, требующих тонкого помола.

Работа системы пылеприготовления при пониженной нагрузке приводит к существенному увеличению удельного расхода электроэнергии на размол твердого топлива и затрат энергии на собственные нужды электростанции или котельной.

Сушка топлива перед его сжиганием

Для улучшения размола топлива, хранения и транспортирования пыли, а также для интенсификации ее зажигания и горения топливо подсушивают.

Сушка топлива может осуществляться по замкнутой и разомкнутой схемам. При замкнутой схеме отработавший в системе пылеприготовления сушильный агент вместе с пылью направляют в топку. При разомкнутой схеме отработавшие сушильные газы сбрасывают в атмосферу. Примером разомкнутой схемы является центральная система пылеприготовления (см. рис. 7.3, а), а примером замкнутой схемы являются индивидуальные схемы пылеприготовления (см. рис. 7.3, б и в).

Для относительно сухих углей при внешней влажности, не превышающей 10%, сушку топлива ведут одновременно с размолем в мельничном устройстве путем подачи внутрь мельницы горячего воздуха или продуктов сгорания.

Для влажных топлив с внешней влажностью 15...20 % частичная предварительная подсушка может осуществляться по замкнутой схеме непосредственно перед мельничным устройством в коротких сушильных трубах. Окончательная подсушка топлива выполняется в мельнице в процессе размола.

Для высоковлажных топлив с внешней влажностью более 20 % возможно применение предварительной сушки топлива в отдельном сушильном устройстве с разомкнутой схемой сушки, т.е. с выбросом отработавшего сушильного агента с водяными парами в атмосферу.

Для предварительной подсушки топлива перед мельницей применяют различные типы сушилок: газовые барабанные, паровые трубчатые, пневматические (трубы-сушилки), с кипящим слоем и т.д.

Значительно интенсивнее, чем в обычных сушилках, протекает сушка при совмещении ее с размолем топлива, что связано с резким увеличением при этом поверхности угля.

Значение конечной влажности пыли определяется по условиям самовозгорания и взрывобезопасности. Так, например, влажность

подсушенной пыли АШ должна быть 0,5...1 %, подмосковного угля – 11...16 %, торфа – 35...40 %.

Мельницы для приготовления пыли

Шаровая барабанная мельница

Тихоходная шаровая барабанная мельница ШБМ (рис. 7.4) представляет собой цилиндрический барабан диаметром 1,5...4 м при длине 2,5...12 м, выложенный внутри волнистыми броневыми плитами 5 из марганцевистой стали толщиной около 100 мм.

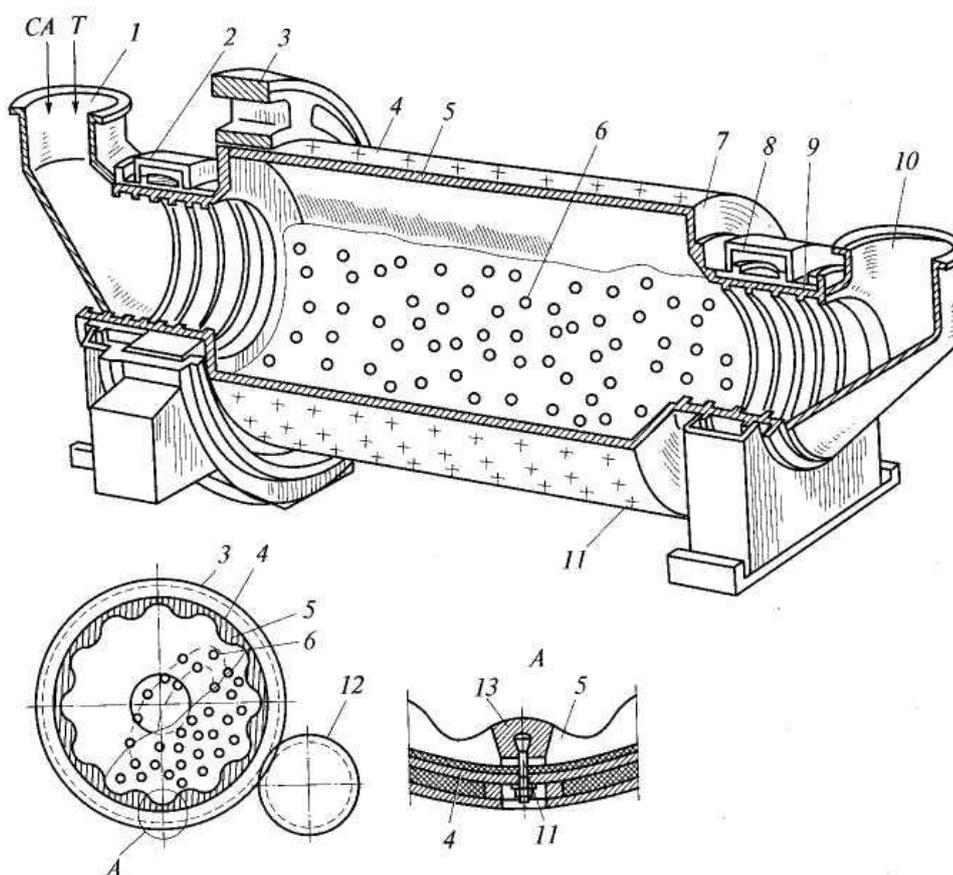


Рис. 7.4. Шаровая барабанная мельница ШБМ:

1 – углеподающий патрубок; 2 – опорно-упорный подшипник; 3 – зубчатый венец (зубчатое колесо); 4 – обечайка; 5 – броневые плиты; 6 – шары; 7 – торцевая стенка; 8 – опорный подшипник; 9 – цапфа; 10 – пылевыдающий патрубок; 11 – болты; 12 – зубчатое колесо; 13 – клиновидная вставка; СА – сушильный агент; Т – топливо

Барабан заполняется на 15...30% своего объема стальными шарами диаметром от 25 до 70 мм. Между барабаном и броневыми плитами для

уменьшения шума прокладывается слой асбеста толщиной 10... 15 мм. Снаружи барабан покрывается слоем войлока толщиной 40...70 мм, выполняющим роль тепловой и звуковой изоляции.

Торцевые стенки 7 конической формы с цапфами 9 опираются на опорно-упорный 2 и опорный 8 подшипники. Уголь поступает в барабан вместе с сушильным агентом (СА) по патрубку 7, а готовая пыль по патрубку 10 отводится к сепаратору и далее к котлу. Размол топлива в мельнице ШБМ осуществляется в основном по принципу удара, а также частично раздавливанием и истиранием кусков в слое. При вращении барабана шары поднимаются на определенную высоту, затем падают и разбивают кусочки угля. По мере износа шары добавляются в мельницу по специальному трубопроводу у углеподающего патрубка.

Мельница получает вращение от электродвигателя через редуктор, приводную шестерню и зубчатый венец 3. Неподвижные углеподающий 1 и пылевыводящий 10 патрубки соединяются с вращающимися полыми цапфами 9 барабана через сальниковые уплотнения. Поступающий в мельницу сушильный агент (воздух или смесь воздуха с продуктами сгорания с температурой не выше 450 °С) вентилирует внутренний объем мельницы и выносит готовую пыль. В процессе вентиляции мельницы происходит грубая сепарация пыли, а более полное отделение крупных частиц происходит в сепараторах. В системах с ШБМ наиболее распространены центробежные сепараторы (рис. 7.5).

Поступающая по патрубку 4 в пространство между наружной обечайкой 8 и внутренним конусом 7 пылевоздушная смесь тормозится и из нее при уменьшении скорости выпадают крупные частицы, которые скапливаются в нижней части и скатываются по патрубку 5 в мельницу. Остальная пыль по кольцевому зазору поступает в закручивающий аппарат с поворотными лопатками 2, имеющими привод 3. В закрученном пылевом потоке более крупные частицы под действием центробежных сил прижимаются к внутренним стенкам конуса 7 и выпадают в патрубок 6 и далее передаются в мельницу, а оставшаяся мелкая пыль с транспортирующим агентом по выходному патрубку 1 поступает к горелкам котла.

Положительной особенностью ШБМ является ее универсальность, т.е. пригодность для размола с одновременной сушкой как мягких топлив с повышенной влажностью, так и твердых топлив, например, типа АШ. В ШБМ можно получать пыль любой тонкости помола; возможно достижение большой единичной мощности агрегата; отсутствует опасность аварии при попадании в мельницу вместе с углем механических предметов.

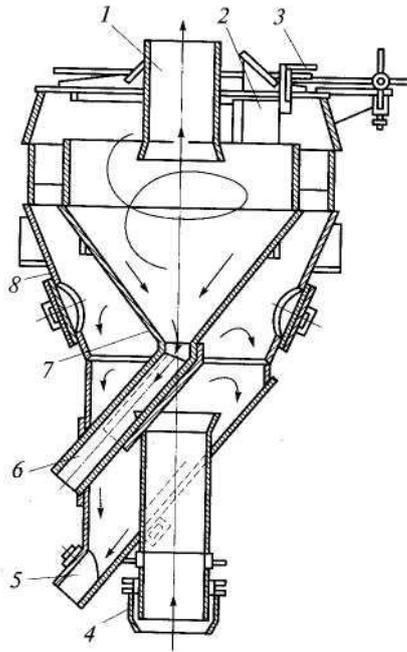


Рис. 7.5. Центробежный сепаратор ШБМ:

1, 4 – выходной и входной патрубки; 2 – лопатка; 3 – привод лопаток; 5, 6 – патрубки отвода уловленной пыли; 7 – внутренний конус; 8 – наружная обечайка (корпус); стрелками показано движение пылевоздушной смеси.

К недостаткам ШБМ относятся громоздкость и сложность оборудования, значительный удельный расход электроэнергии на пылеприготовление – 25...35 кВт·ч/т пыли при работе на антрацитовом штыбе АШ. В связи с высоким коэффициентом холостого хода, характеризующим затраты энергии на вращение барабана без топлива и достигающим для ШБМ 95 %, потребляемая мельницей мощность практически не зависит от нагрузки. Поэтому для снижения удельного расхода электроэнергии ШБМ следует использовать на режиме максимально высокой производительности.

Шаровая барабанная мельница наиболее целесообразна для размола малореакционных трудноразмалываемых топлив: антрацитового штыба АШ, тощих, твердых каменных углей и отходов углеобогащения для котлов производительностью более 30 т/ч.

Промышленностью выпускаются ШБМ производительностью по антрацитовому штыбу АШ 4...70 т/ч. Наибольшее применение находят ШБМ в индивидуальных системах пылеприготовления с промежуточным бункером.

Шаровая и валковая среднеходные мельницы

Среднеходные мельницы выполняются шаровыми (МШС), либо валковыми (МВС). Измельчение топлива в среднеходных мельницах происходит

раздавливанием кусков угля на вращающемся радиальном столе под действием сил раздавливания прижимаемых к столу вращающихся стальных шаров в МШС и конических валков в МВС.

Среднеходная шаровая мельница МШС (рис. 7.6, а) состоит из нижнего кольца 5, вращающегося с частотой $100...300 \text{ мин}^{-1}$, неподвижного верхнего кольца 3 и размалывающих стальных шаров 4 диаметром $190...270 \text{ мм}$. Шары укладываются между кольцами с зазором $15...20 \text{ мм}$. Давление шаров на топливный слой осуществляется за счет массы шаров, верхнего кольца и главным образом за счет действия трех или четырех пружин 8, нажимающих на верхнее кольцо.

Тарельчатым питателем 2 по течке топливо подается на вращающуюся нижнюю тарелку и под действием центробежной силы частицы топлива отжимаются к шарам.

Поступающий в нижнюю часть мельницы через патрубок 6 горячий воздух захватывает пыль и направляет ее в сепаратор 1, откуда крупные частицы возвращаются обратно на размол, а мелкие частицы по патрубку 10 направляются к горелкам котельного агрегата.

Производительность МШС составляет $3,5...50 \text{ т/ч}$.

Мельница валковая среднеходная МВС приведена на рис. 7.6, б. Размалываемое топливо поступает на вращающийся плоский стол 12, по которому перекатываются два конических валка 11, прижимаемые пружинами 8 к столу. Попадая под валки, топливо раздавливается, подхватывается горячим (до $350 \text{ }^\circ\text{C}$) воздухом и выносится в сепаратор. Из сепаратора крупные фракции топлива возвращаются на размольный стол, а подсушенная угольная пыль направляется к горелкам.

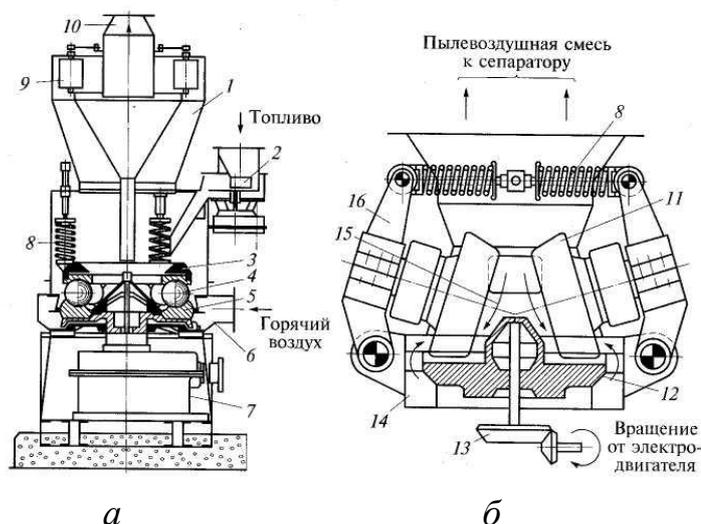


Рис. 7.6. Среднеходная шаровая МШС (а) и среднеходная валковая МВС (б) мельницы:

1 – сепаратор пыли; 2 – питатель; 3 – верхнее неподвижное кольцо; 4 – шары; 5 – подвижное нижнее кольцо; 6 – патрубок для подачи воздуха; 7 – приводной механизм; 8 – пружина; 9 – лопатка; 10 – патрубок выдачи пыли; 11 – валки конические; 12 – вращающийся стол; 13 – редуктор; 14 – подвод воздуха; 15 – подача топлива; 16 – рычаги.

МВС имеют производительность 3,8... 14 т/ч.

При работе среднеходных мельниц недопустимо попадание с топливом металлических включений и предметов повышенной прочности, так как раздавливание при этом существенно ухудшается, увеличивается доля крупных кусков, вынос пыли уменьшается, т.е. производительность мельницы резко падает. Влажные зольные угли в этих мельницах слипаются и спрессовываются под размольными органами, в результате чего их размол ухудшается. Поэтому предпочтительнее использовать эти мельницы для относительно сухих малозольных топлив.

Молотковые мельницы

Мельницы данного типа относятся к классу быстроходных. Частота вращения ротора находится в пределах 735...980 мин⁻¹. Они устанавливаются непосредственно у топок в индивидуальных системах пылеприготовления с прямым вдуванием. Схема действия такой мельницы показана на рис. 7.7. Мельница состоит из стального корпуса б толщиной 10...15 мм, покрытого изнутри гладкими броневыми плитами толщиной 20...30 мм. Топливо через течку 5 поступает в мельницу на быстро вращающиеся била 4, которыми оно размалывается и выбрасывается в шахту 1. Одновременно с размолем ведется подсушка топлива, для чего в мельницу подается сушильный агент – воздух или газоздушная смесь. Тонкая пыль вместе с воздухом поступает в вертикальную шахту 1, а затем через амбразуру 2 сепарирующей шахты пыль поступает в топку 3, а крупные частицы выпадают из потока и снова попадают в мельницу. В молотковую мельницу подается 60...80% общего расхода воздуха; остальной (вторичный) воздух подают непосредственно в топку под углом к выходящему пыле-воздушному потоку. Шахта над мельницей является простейшим гравитационным сепаратором, где отвеивание пыли происходит под действием силы тяжести. Скорость потока в сечении шахты составляет 3...4 м/с. Изменение расхода воздуха, подаваемого в шахту, приводит к изменению скорости воздуха, а следовательно, и степени измельчения пыли, поступающей из мельниц в топку.

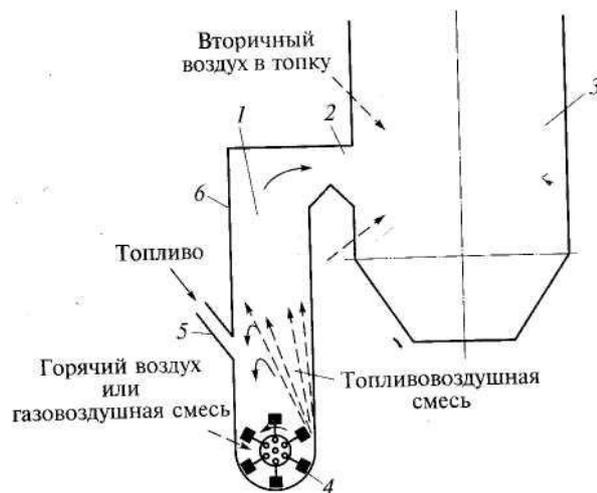


Рис. 7.7. Схема действия молотковой мельницы и ее компоновки с топкой котла:

1 – шахта; 2 – амбразура; 3 – топка; 4 – била; 5 – течка для подачи топлива; 6 – корпус.

Кроме реализации принципа гравитационной сепарации пыли в шахте (см. рис. 7.7) в системе молотковых мельниц применяют также инерционные и центробежные сепараторы, обеспечивающие более тонкий помол. Инерционные сепараторы применяют при размоле бурых углей и сланцев, а центробежные сепараторы в сочетании с молотковыми мельницами большой производительности – для бурых и каменных углей. В молотковые мельницы допускается подача сушильного агента при температуре 350...450 °С.

В зависимости от способа подвода горячего сушильного агента к мельнице различают: молотковые мельницы аксиальные ММА (с аксиальным подводом воздуха вдоль оси ротора с торцов мельницы), тангенциальные ММТ (с тангенциальным подводом воздуха вдоль одной из продольных стенок корпуса мельницы по касательной к окружности ротора), с комбинированным подводом воздуха ММАТ (одну часть воздуха подают тангенциально, а другую – аксиально).

Молотковые аксиальные мельницы характеризуются более значительной, чем в тангенциальных, самовентиляцией мельницы, меньшей склонностью к завалу топливом при перегрузке. Молотковые тангенциальные мельницы более компактны, отличаются меньшим удельным расходом энергии на помол и более равномерным износом бил.

На рис. 7.8 приведена молотковая мельница ММА с аксиальным (осевым) подводом сушильного агента. Корпус 1 мельницы защищен съемной броней. Воздух подводится к мельнице аксиально по патрубкам 3 с

двух сторон. Ротор 4 мельницы представляет собой вал, на котором на шпонках укреплен ряд дисков, дистанционируемых по длине вала установочными втулками. К. дискам на шарнирах свободно подвешиваются билодержатели, к другим концам которых шарнирно крепятся била 2 (молотки). Опорами вала служат два самоустанавливающихся роликовых подшипника качения. Подшипник со стороны электродвигателя 5 является опорно-упорным и вал расширяется в противоположную сторону. Производительность мельниц ММА по бурому углю 2,7...24 т/ч.

Основными недостатками молотковых мельниц является сравнительно быстрый износ бил и необходимость их замены через 300...600 ч работы. Расход электроэнергии на 1 т помола 5...12 кВт · ч.

Мельница-вентилятор

На рис. 7.9 приведена так называемая мельница-вентилятор, посредством которой осуществляются наряду с размолотом топлива подсос сушильного агента и транспортировка пылевоздушной смеси к горелкам. Мельница имеет стальной корпус 2, покрытый изнутри броневыми плитками. Ротор состоит из мелющего колеса-вентилятора 3 с лопатками. К лопаткам мелющего колеса крепятся броневые била. Для повышения производительности мельниц, экономичности размолот, уменьшения износа лопаток и диска используется двухступенчатый размол топлива с предвключенной бильной частью 5. Последняя представляет собой несколько рядов молотков, расположенных на валу мельницы-вентилятора. Под действием центробежных сил частично размолотое в первой ступени топливо отбрасывается к наружной поверхности бильной части корпуса и с сушильным агентом по кольцевому зазору поступает равномерно по всей окружности приемной части вентилятора. Благодаря этому лопатки вентиляторного колеса равномерно нагружаются, т.е. предотвращается концентрированный удар массы топлива о диск.

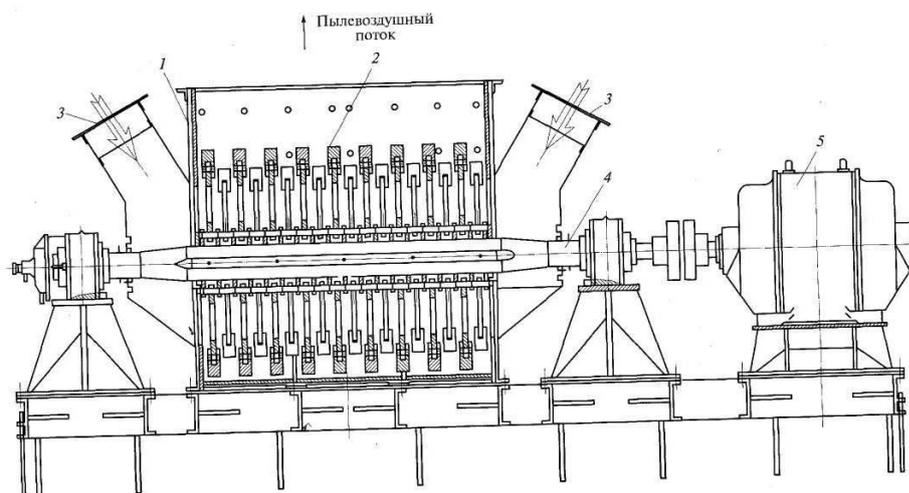


Рис. 7.8. Молотковая мельница ММА с аксиальным подводом сушильного агента:

1 – корпус; 2 – била; 3 – патрубки для подвода сушильного агента; 4 – ротор; 5 – электродвигатель

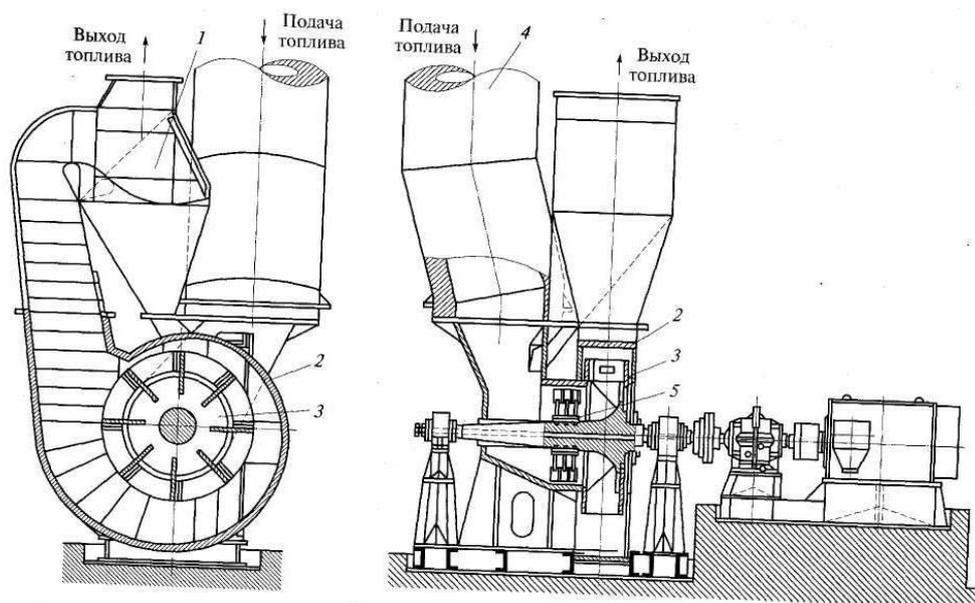


Рис. 7.9. Мельница-вентилятор с предвключённой бильной частью:

1 – инерционный сепаратор; 2 – корпус; 3 – мелющее колесо-вентилятор; 4 – канал подвода топлива и горячего воздуха (сушильного агента); 5 – предвключённая бильная часть.

Топливо, поступающее в мельницу по каналу 4, засасывается на бильные элементы ротора вместе с сушильным агентом (обычно — топочными газами с температурой 950...1100 °С). В расположенной перед мельницей-вентилятором нисходящей шахте происходит интенсивная сушка топлива с удалением большой доли его внешней влаги. Размолотый продукт

с охлажденным сушильным агентом нагнетается крыльчаткой агрегата в инерционный сепаратор 1, из которого крупные частицы возвращаются в мельницу, а мелкие газовым потоком выносятся по пылепроводам к горелкам.

Температура сушильного агрегата за сушильной камерой, т.е. перед самой мельницей, не должна превышать 450...500 °С. Содержание O₂ с учетом испарения влаги должно быть не ниже 15...16 %, что делает установку взрывобезопасной.

Суммарный напор, развиваемый мельницей-вентилятором, составляет 1...2 кПа (100...200 мм вод. ст.). Напор расходуется на преодоление сопротивления сушильного тракта, находящегося под разрежением, и сопротивления сепаратора, пылепроводов и горелок на нагнетательной стороне.

Мельницы-вентиляторы применяются для размола мягких влажных бурых углей и фрезерного торфа. Единичная производительность мельницы-вентилятора на буром угле более 100 т/ч. Расход энергии на помол 6... 10 кВт·ч/т.

Пылеугольные горелки и схемы их расположения в топке

Пылеугольные горелки служат для организованного ввода угольной пыли и воздуха в топку. С помощью горелок и рациональной их компоновки в значительной мере организуется топочный процесс: достигаются устойчивое зажигание факела, смесеобразование, интенсивное выгорание пыли и бесшлаковочная работа котла.

Для сжигания угольной пыли применяют два основных типа горелок: вихревые и прямоточные. Вихревыми называют горелки, у которых первичный или вторичный воздух закручиваются специальными завихрителями. Закручивание потоков достигается при помощи улиток, устанавливаемых на входе в горелку, или лопаток, устанавливаемых в горелке аксиально или тангенциально в потоке первичного или вторичного воздуха. Принципиальные схемы вихревых горелок приведены на рис. 7.10. Наименование горелки отражает способ ввода первичного (с пылью) и вторичного воздуха. Так, в вихревой пылеугольной горелке ОРГРЭС (рис. 7.11), выполненной по типу прямоточно-улиточной, первичный воздух с пылью подается через центральную трубу прямоточно без закручивания. Вторичный воздух, подаваемый в топку через горелку, закручивается улиткой б. Аэросмесь поступает в топку через центральную трубу, имеющую на конце чугунный наконечник 3 в виде конуса-рассекателя, который может перемещаться и тем самым обеспечивает хорошее «раскрытие»

пылевоздушной смеси, а также подсос горячих топочных газов к корню факела, что интенсифицирует воспламенение топлива. Вторичный воздух, подаваемый через улитку, выходит в топку завихренным через кольцевое пространство, образуемое наконечником и обмуровкой. Для растопки, а также при необходимости подсвечивания пылеугольного факела в корпусе горелки имеется отверстие 8 для установки мазутной форсунки.

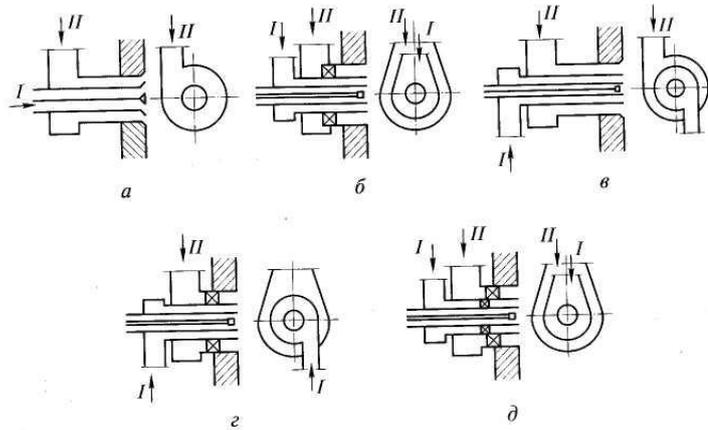


Рис. 7.10. Принципиальные схемы пылеугольных вихревых горелок: а – прямоточно-улиточная; б – прямоточно-лопаточная; в – двухулиточная; г – улиточно-лопаточная; д – лопаточно-лопаточная; I – поток первичного воздуха с угольной пылью; II – поток вторичного воздуха.

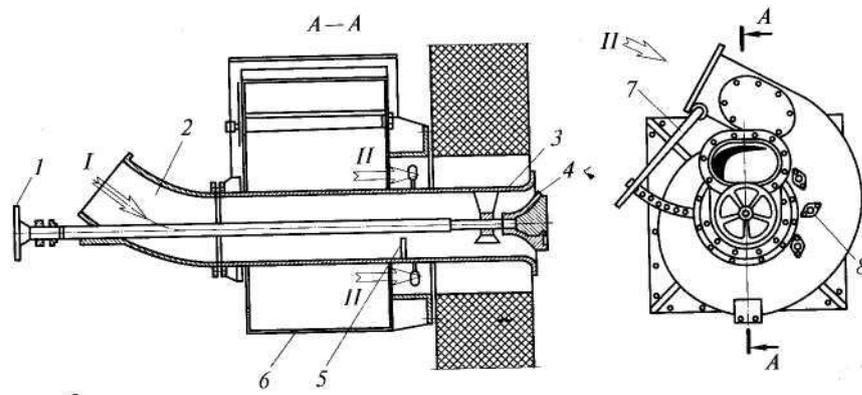


Рис. 7.11. Вихревая пылеугольная горелка ОРГРЭС: 1 – штурвал управления конусом; 2 – входной патрубок первичного воздуха; 3 – наконечник; 4 – конус-рассекатель; 5 – порог; 6 – улитка вторичного воздуха; 7 – рукоятка языкового шибера; 8 – отверстие для мазутной форсунки; I, II – потоки первичного и вторичного воздуха.

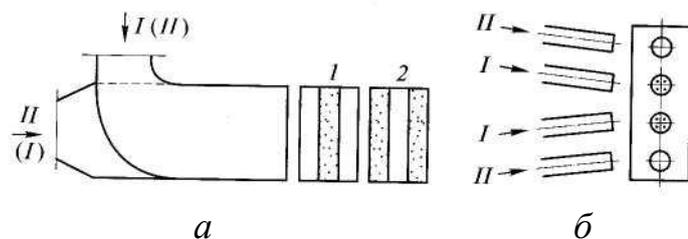


Рис. 7.12. Принципиальная схема прямоточных горелок:

а – прямоточно-щелевая горелка; б – прямоточно-сопловая горелка; 1, 2 – внешний и внутренний ввод вторичного воздуха соответственно; I – аэросмесь; II – вторичный воздух

В прямоточно-щелевых горелках (рис. 7.12, а) подача в топку аэросмеси и вторичного воздуха осуществляется отдельно через узкие щели. Такие горелки выполняются с внешним 1 и внутренним 2 вводом вторичного воздуха. В прямоточно-сопловых горелках (рис. 7.12, б) ввод аэросмеси и вторичного воздуха осуществляется отдельно через круглые сопла. Полнота сгорания топлива, условия эксплуатационно-надежной работы топки в значительной степени определяются размещением пылеугольных горелок. Наибольшее распространение для камерных топков получили способы фронтального, встречного и углового расположения горелок (рис. 7.13).

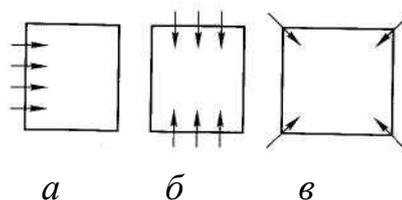


Рис. 7.13. Способы расположения горелок в топочной камере:

а – фронтальное; б – встречное; в – угловое.

При фронтальном расположении горелок (рис. 7.13, а) газовые струи развиваются первоначально самостоятельно, а затем сливаются в общий поток. При ударе факела о заднюю стенку может произойти ее ошлакование. В связи с этим при фронтальном расположении горелок наиболее целесообразно применение вихревых горелок с относительно коротким широким факелом.

При встречном расположении (рис. 7.13, б) горелки могут располагаться на противоположных боковых, а также на фронтальной и задней стенках. Возможны встречно-лобовая и встречно-смещенная их

компоновки. При встречно-смещенной компоновке горелок горячие потоки взаимно проникают один в другой. При этом имеет место лучшее заполнение факелом топочного объема, обеспечивается принудительный подвод теплоты к корню факела, улучшается сгорание топлива при бесшлаковочном режиме работы экранов. В случае применения встречно-смещенной компоновки целесообразно использовать щелевые горелки.

При угловом расположении горелок (рис. 7.13, в) возможны следующие схемы их установки: диагональная, блочная, тангенциальная. При таком размещении горелок возникает ряд конструктивных сложностей и возможно ошлакование стенок.

При большом числе горелок вне зависимости от схемы их установки по высоте топки горелки могут располагаться в несколько ярусов.

Топки для пылеугольного сжигания твердого топлива с твердым шлакоудалением

В пылеугольных топках поведение шлакозолового остатка оказывает решающее влияние на производительность, надежность и экономичность топочного устройства. В отличие от слоевого сжигания твердого топлива, при котором более 80 % золы остается в слое и только незначительная часть ее попадает в объем топочной камеры, а затем уносится газовым потоком в газоходы, при факельном сжигании основная масса золы (85...95 %) уносится с газовым потоком, а меньшая часть (5...15 %) выпадает в топочной камере.

Температура пылеугольного факела, особенно его ядра, превышает температуру плавления золы. При выгорании горючего зола топлива плавится и в виде мельчайших капелек в жидком состоянии уносится с газообразными продуктами горения. Расплавленный шлак, попадая на кирпичные стенки топочной камеры, зашлаковывает их и способствует ускоренному их износу. При попадании на холодные конвективные поверхности нагрева котла расплавленный шлак оседает на трубах, постепенно образуя шлаковые наросты. При этом резко возрастает сопротивление газового потока, а также ухудшается передача теплоты поверхностям нагрева.

Широкое применение пылесжигания стало возможным лишь при установке в топочной камере охлаждаемых водой экранов, обеспечивающих защиту как стенок топки от разрушающего воздействия высокой температуры, зашлаковывания и химического взаимодействия с жидким шлаком, так и конвективных поверхностей нагрева от зашлаковывания. Топочные экраны воспринимают радиационное действие теплоты газа и частиц, т.е. снижают температуру их теплового излучения до такого уровня, что на входе в

конвективные элементы частицы шлака находятся уже в затвердевшем состоянии и не налипают на трубы.

Пылеугольные топки, в которых выпадающая зола удаляется в твердом (гранулированном) виде, называются топками с твердым шлакоудалением. Для охлаждения оседающих в топке жидких шлаковых частиц нижнюю часть топки выполняют в виде холодной воронки (рис. 7.14, а), имеющей сплошное экранирование стен. Наклон стенок воронки к горизонту составляет около 60 % для обеспечения самопроизвольного сползания гранулированного шлака в шлаковую шахту.

Серьезным недостатком пылеугольных топок с твердым шлакоудалением является вынос из топочной камеры в газоходы агрегата основной массы золы топлива, что приводит к истиранию конвективных поверхностей нагрева, особенно при увеличении скорости потока. Холодная воронка неблагоприятно влияет также и на процесс горения, так как зона пониженной температуры оказывается при этом в непосредственной близости от горелок.

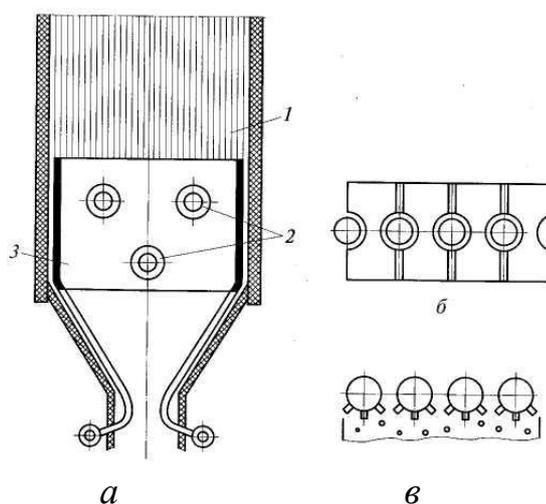


Рис. 7.14. Топка (а) с зажигательным поясом из огнеупорных фасонных кирпичей (б) и из огнеупорной обмазки (в):
1 – топочные экраны; 2 – горелки; 3 – зажигательный пояс.

При значительном экранировании топочной камеры воспламенение топлива вообще затрудняется. Особенно это относится к малореакционным углям типа АШ. Для интенсификации зажигания, а также повышения устойчивости горения малореакционных углей применяют зажигательный пояс, представляющий собой часть топочных экранов, утепленную огнеупорным покрытием в области горелок. Применяют два типа зажигательных поясов: с покрытием гладких экранных труб фасонными

кирпичами (рис. 7.14, б) и обмазкой ошипованных труб огнеупорной карборундовой или хромитовой массой (рис. 7.14, в).

Топки с жидким шлакоудалением

В топках с жидким шлакоудалением температуру в нижней части топочной камеры поддерживают такой, чтобы обеспечить не только полное расплавление, но и надежное удаление шлаков в жидком виде из топки.

В однокамерной открытой топке (рис. 7.15, а) пылевидное топливо через горелки поступает в камеру, стенки которой в нижней части покрыты ошипованными футерованными экранными трубами. В связи с этим в камере при горении топлива развивается достаточно высокая температура, обеспечивающая плавление шлака. Расплавленный и уловленный здесь шлак через летку стекает в ванну (на рисунке не показана), где гранулируется водой, а затем охлаждается. Степень улавливания золы в такой топке составляет 15...30 % общего содержания золы, поступившей с топливом. Следует, однако, отметить, что для такой открытой топки в области перехода от «горячей» зоны к не утепленной «холодной», где температура снижается и шлак теряет текучесть, наблюдается интенсивное ошлаковывание экранных поверхностей нагрева.

В однокамерной полуоткрытой топке (рис. 7.15, б) в результате специально выполненного пережима зона плавления и зона охлаждения в значительной степени разделены. В камере горения экранные трубы ошипованы и покрыты огнеупорной обмазкой, в связи с чем температура там составляет 1700...1800 °С. В камере улавливается 30...40 % золы топлива, которая удаляется в жидком состоянии через летку. В верхней части топки расположены открытые экранные поверхности, обеспечивающие охлаждение газа и уносимой золы.

В двухкамерной топке с жидким шлакоудалением (рис. 7.15, в) камера горения топлива с жидким шлаком и камера охлаждения разделены шлакосепарационной решеткой, выполненной из ошипованных экранных труб 4, на поверхность которых нанесена огнеупорная обмазка.

Основная доля расплавленного шлака улавливается в камере горения. Дополнительно уловленный в шлакосепараторе шлак стекает на подину топки, откуда через летку он поступает в водяную ванну для грануляции. В двухкамерной топке улавливается до 70 % всей золы.

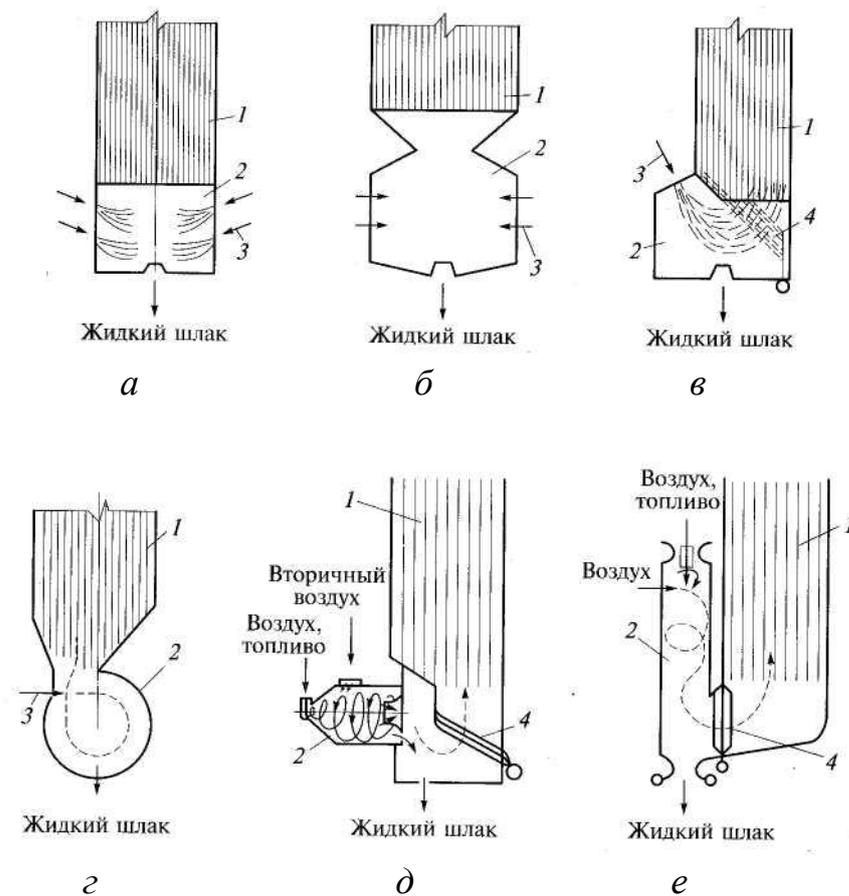


Рис. 7.15. Схемы пылеугольных факельных топков с жидким шлакоудалением:

а – однокамерная открытая топка; б – то же, полуоткрытая; в – двухкамерная топка; г – вихревая топка с пересекающимися струями ЦКТИ; д – горизонтальная циклонная топка; е – то же, вертикальная; 1 — холодная радиационная поверхность; 2 – поверхность топки, покрытая огнеупорной обмазкой; 3 – подача топлива; 4 – шлакоулавливающий пучок труб, покрытых гарнисажной футеровкой.

В вихревых топках с пересекающимися струями (рис. 7.15, г) благодаря соответствующей конфигурации нижней части топки и способу подвода пылевоздушной смеси со скоростью примерно 80 м/с создается вихревое движение с горизонтальной осью вращения. Горячие топочные газы пересекают пылевоздушный поток, обеспечивая его интенсивное воспламенение.

Значительная интенсификация процесса горения мелкодробленого топлива или грубой топливной пыли, а также максимальное улавливание золы в пределах топочной камеры достигаются в циклонных топках. В промышленности применяют различные типы горизонтальных (или малонаклонных) и вертикальных циклонных топков.

Принципиальные схемы циклонных топок с жидким шлакоудалением приведены на рис. 7.15, д, е.

Топливо в циклонную камеру подают с первичным воздухом по ее оси. Вторичный воздух поступает в камеру через тангенциальные сопла с большой скоростью (более 100 м/с), обеспечивая движение частиц топлива к стенкам камеры за счет центробежных сил.

В циклонной камере происходит интенсивное смесеобразование и горение топлива как в объеме, так и на его стенках. Развиваемая в циклонной камере высокая температура (1700...1800 °С) приводит к расплавлению золы и образованию на стенках шлаковой пленки. Жидкий шлак вытекает из камеры через летку. Отбрасываемые на стенки свежие частицы топлива прилипают к шлаковой пленке, где они интенсивно выгорают при обдувании их воздушным потоком.

В выходной части циклонной камеры имеется пережим, через который продукты горения поступают в камеру дожигания. Наличие пережима приводит к уменьшению уноса. Циклонные камеры работают с высокими плотностями тепловыделения: $q_v \approx 1,5...3 \text{ МВт/м}^3$ при малом коэффициенте избытка воздуха в циклоне $\alpha = 1,05...1,1$.